

Szenarien für die steirische Energie- und Klimastrategie, Update 2023

Bericht/Endbericht v1.02

Verfasser:innen: Rohrer Michael
Felber Bernhard
Pauritsch Günter
Schwarz Corina

Auftrageber:innen: Amt der Steiermärkischen Landes-
regierung, Abteilung 15, Fachabteilung
für Energie und Wohnbau

Ort, Datum: Wien, 18.09.2023

Impressum

Herausgeberin: Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency, ZVR 914305190

Mariahilfer Straße 136, 1150 Wien

Telefon: +43 1 586 15 24, Fax-Durchwahl 340, office@energyagency.at, energyagency.at

Für den Inhalt verantwortlich: DI Franz Angerer | Gesamtleitung: Michael Rohrer

Lektorat: Gabriele Möhring | Layout: Gabriele Möhring

Herstellerin: Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency | Verlagsort und Herstellungsort: Wien

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier.

Nachdruck nur auszugsweise und mit genauer Quellenangabe gestattet.

Die Österreichische Energieagentur hat die Inhalte der vorliegenden Publikation mit größter Sorgfalt recherchiert und dokumentiert. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte können wir jedoch keine Gewähr übernehmen.

Kurzfassung

Die Klimakrise ist die größte Herausforderung unserer Zeit. Um sie zu bewältigen, muss das zukünftige Energiesystem weltweit ohne fossile Energieträger wie Kohle, Öl und Gas auskommen (Dekarbonisierung). Der notwendige Umbau des Energiesystems erfordert entschlossenes Handeln in allen Staaten und damit auch in Österreich. In Österreich kann die Klimakrise nur gemeinsam durch Bund, Länder und Gemeinden sowie unter Mithilfe aller Wirtschaftssektoren und relevanten Stakeholder bewältigt werden.

Die vorliegende Studie untersucht, was „Klimaneutralität 2040“, „Klimaneutralität 2050“ sowie die verschärften Treibhausgas-Reduktionsziele für 2030 für das Energiesystem in der Steiermark bedeuten. Dazu werden drei Hauptszenarien aufbauend auf den Szenarien des Projektes Grünes Herz (2019 und 2021) betrachtet¹: Hauptszenario 4 setzt das Ziel der Klimaneutralität im Nicht-Emissionshandelsbereich (Non-ETS-Bereich), und im Emissionshandelsbereich (ETS-Bereich) bereits für das Jahr 2040. In Hauptszenario 5 wird das Ziel der Klimaneutralität im Non-ETS-Bereich für das Jahr 2040 beibehalten während es im ETS-Bereich für das Jahr 2050 gesetzt wird. Im Hauptszenario 6 wird die Erreichung der Klimaneutralität im Non-ETS- und im ETS-Bereich für 2050 hinterlegt. Alle Szenarien berücksichtigen bereits das kürzlich auf EU-Ebene für Österreich beschlossene verschärfte Treibhausgas-Reduktionsziel von minus 48 % bis 2030 für den Non-ETS-Bereich.

Das Hauptziel dieser Studie ist es, die Entwicklung der Nachfrage nach erneuerbaren Energieträgern wie erneuerbarem Strom, Biomasse, Biomethan, grünem Wasserstoff und E-Fuels in den Jahren 2030, 2040 und 2050 für die Steiermark zu untersuchen und aufzuzeigen, wie diese Energiemengen bereitgestellt werden können. Zusätzlich werden Zielpfade für die Treibhausgasemissionen in der Steiermark auf sektoraler Ebene mittels EU-Methoden für Nationalstaaten auch auf die Steiermark angewandt. Darüber hinaus werden wesentliche Monitoring-Indikatoren und Indikator-Zielpfade im Gebäude-, Verkehrs- und Energiebereich abgeleitet, da in diesen Sektoren entsprechende Landeskompetenzen vorliegen und diese direkt auf den Energieverbrauch und die Energieaufbringung in der Steiermark wirken.

In der Kurzfassung werden ausgewählte Ergebnisse des Hauptszenarios 4 dargestellt, da dieses die zukünftigen Ziele auf nationaler Ebene - insbesondere das Erreichen der Klimaneutralität bis 2040 - berücksichtigt.

Energieverbrauch

In den Szenarien wird der Energieverbrauch durch Energieeffizienzmaßnahmen stark reduziert. Betrachtet man den gesamten energetischen Endverbrauch (EEV) der Steiermark, so zeigt sich, dass diese Reduktion trotz Wirtschaftswachstum, Bevölkerungswachstum, Komfortsteigerung und Rebound-Effekten erreicht werden kann. Verantwortlich dafür sind vor allem die Elektrifizierungsmaßnahmen im Verkehr, Maßnahmen zur Reduktion des Straßenverkehrs bzw. des Tanktourismus und verstärkte Sanierungsraten. In der Industrie und im Dienstleistungssektor kommt es dagegen zu einem Anstieg des EEV, da hier das Wirtschaftswachstum trotz Effizienzmaßnahmen zu einem kontinuierlich steigenden Energieverbrauch führt. Insgesamt kompensieren die Effizienzsteigerungen in den Haushalten und im Verkehr den Anstieg des EEV im Dienstleistungs- und Industriesektor.

¹ Wichtig ist hierbei die Unterscheidung zwischen dem Nicht-Emissionshandelsbereich und dem Emissionshandelsbereich. Der Nicht-Emissionshandelsbereich umfasst die Sektoren Verkehr, Gebäude, Landwirtschaft, Abfall, F-Gase sowie Energie und Industrie für Anlagen, die nicht vom Emissionshandel erfasst sind, während der Emissionshandelsbereich Energie- und Industrieunternehmen mit hohen THG-Emissionen sowie den europäischen Luftverkehr umfasst.

Darüber hinaus müssen fossile Energieträger in den Sektoren Industrie, Haushalte, Dienstleistungen und Landwirtschaft durch erneuerbare Energien bzw. erneuerbare Wärme ersetzt werden. Hier gehen die Szenarien von einer weitgehenden Elektrifizierung dieser Sektoren aus. Diese Elektrifizierung geht zu einem großen Teil mit einer verstärkten Nutzung von Umgebungswärme durch den Einsatz von Wärmepumpen einher. Auch Biomasse und Biomethan leisten in den Szenarien einen wichtigen Beitrag zur Dekarbonisierung. Wasserstoff wird in den Szenarien vor allem zur Stromerzeugung in KWK-Anlagen und in der Zementindustrie eingesetzt. Der hinterlegte Dekarbonisierungspfad der Stahlindustrie in der Steiermark entspricht der Strategie der Voestalpine bis 2027 (Einsatz eines Elektrolichtbogenofens und Importe von Eisenschwamm) und der Annahme, dass diese Strategie nach 2030 auch auf die verbleibende Eisen- und Stahlproduktion in der Steiermark übertragen wird.

Um die österreichischen Klimaneutralitätsziele zu erreichen, müssen auch im Verkehrssektor fossile Kraftstoffe vollständig durch erneuerbare Energieträger ersetzt werden. Dies wird in den Szenarien vor allem durch die Substitution von Verbrennungsmotoren durch elektrische Antriebe, insbesondere durch batterieelektrische Fahrzeuge in allen Verkehrssektoren erreicht. Der Flugverkehr wird durch Sustainable Aviation Fuels (SAFs) dekarbonisiert. Der Einsatz von Elektroantrieben führt unter anderem zu hohen Energieeffizienzgewinnen gegenüber Verbrennungsmotoren. Geringe Mengen an Wasserstoff für Brennstoffzellen-Elektroantriebe werden auch im Verkehrssektor für Pkw, leichte Nutzfahrzeuge (LNF), Busse und Lkw angenommen. Der Einsatz von E-Fuels wird in separaten Varianten für die Hauptszenarien untersucht.

Ohne Energieeffizienzsteigerungen oder andere Einschränkungen des Energieverbrauchs könnte der EEV in der Steiermark aufgrund von Bevölkerungswachstum, Wirtschaftswachstum und Komfortsteigerung bis 2050 auf ca. 70 TWh ansteigen. Durch Effizienzmaßnahmen kann der EEV um 18 TWh auf 42 TWh reduziert werden (siehe Abbildung 1 für Hauptszenario 4)

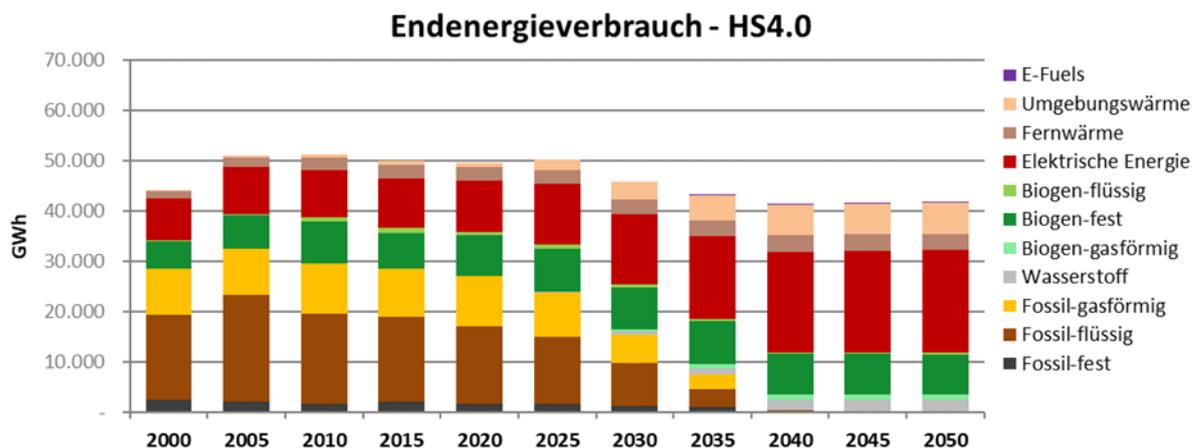


Abbildung 1: Hauptszenario 4 – energetischer Endverbrauch nach Energieträgern 2000–2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA

Stromaufbringung

Ein wesentliches Element der Dekarbonisierung des Energiesystems ist der Ersatz fossiler Energieträger durch Erneuerbare in der Stromerzeugung. In welchem Ausmaß die erneuerbare Stromerzeugung in der Steiermark bis 2030, 2040 und 2050 ausgebaut werden kann, hängt wesentlich von den jeweiligen technisch-wirtschaftlichen Potenzialen, der Akzeptanz der jeweiligen Technologien in der Bevölkerung sowie den rechtlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen auf Bundes- und Landesebene ab. Der Stromverbrauch

muss insgesamt durch inländische Erzeugung und Stromimporte gedeckt werden. Die Hauptszenarien für die Steiermark beinhalten eine stetige Reduktion der Stromimporte (bilanziell, regional, als Anteil am Bruttostromverbrauch) auf 20 % im Jahr 2030, 10 % im Jahr 2040 und 0 % im Jahr 2050 sowie eine stetige Erhöhung der Wasserstoffimporte auf 25 % im Jahr 2030, 50 % im Jahr 2040 und 75 % im Jahr 2050, und entsprechender relativer Reduktion der Erzeugung von Wasserstoff in der Steiermark. Die Ergebnisse für das Hauptszenario 4 sind in Abbildung 2 grafisch dargestellt.

Das Potenzial für den weiteren Ausbau der Wasserkraft ist in der Steiermark bereits weitgehend ausgeschöpft. Das Bundesland verfügt über ein verbleibendes realisierbares Ausbaupotenzial für Wasserkraft von 0,8 TWh Jahreserzeugung, wovon in den Szenarien insgesamt 0,4 TWh bis 2030 und die restlichen 0,4 TWh bis 2040 genutzt werden.

Bei Windkraft und Photovoltaik (PV) ist vor allem die Akzeptanz der Bevölkerung in Verbindung mit den rechtlichen Rahmenbedingungen der limitierende Faktor. Frühere Analysen gingen von einer Stromerzeugung aus Windkraft von 2,1 TWh im Jahr 2030 und 3,5 TWh im Jahr 2040 in der Steiermark aus. Im Entwurf des integrierten österreichischen Netzinfrastukturplans (NIP) wurde für die Steiermark eine Windstromerzeugung von 2,8 TWh für 2030 und 3,5 TWh für 2040 angenommen. Dies wurde in einer eigenen Variante untersucht, ebenso wie eine mögliche weitere Steigerung der Stromerzeugung aus Windkraft nach 2030. Eine hohe Stromproduktion durch Windkraftanlagen wird empfohlen, um die regionale Stromproduktion im Winterhalbjahr zu erhöhen und damit die Versorgungssicherheit zu verbessern und die benötigten Stromnetzkapazitäten und damit die Endkundenpreise zu reduzieren.

Die Photovoltaik kann einen wesentlichen Beitrag zur Dekarbonisierung der Stromerzeugung leisten. Die von Oesterreichs Energie veröffentlichte PV-Potenzialstudie (Fechner, 2020) und die aktuelle Studie zu Ausbauszenarien des Umweltbundesamtes (UBA, 2023b) zeigen, dass für den von der Bundesregierung geplanten PV-Ausbau bis 2030 die vorhandenen Dachflächen in Österreich nicht ausreichen. Die Nutzung von Freiflächen, Deponieflächen und Verkehrsflächen für PV-Anlagen ist daher notwendig. Die Studie „Klima- und Energiestrategien der Länder“ (AEA, 2021) schätzte auf Basis der Analyse von Oesterreichs Energie die Verteilung der PV-Potenziale auf die Bundesländer ab. Daraus ergab sich für die Steiermark ein zusätzlich realisierbares PV-Dachflächenpotenzial von ca. 0,6 TWh bis 2030 und ein langfristiges technisches PV-Gebäudepotenzial von 1,8 TWh. Die aktuellere Analyse des Umweltbundesamtes geht statt von 4 TWh von 8,4 TWh realisierbarem Dachflächenpotenzial in Österreich bis 2030 aus. Damit erhöht sich das zusätzlich realisierbare PV-Dachflächenpotenzial in der Steiermark von 0,6 TWh auf 1,3 TWh bis 2030. Das Gesamtpotenzial für PV inklusive PV-Freiflächen reicht somit aus, um die zusätzlich benötigte erneuerbare Stromerzeugung in den Jahren 2030, 2040 und 2050 in der Steiermark bereitzustellen.

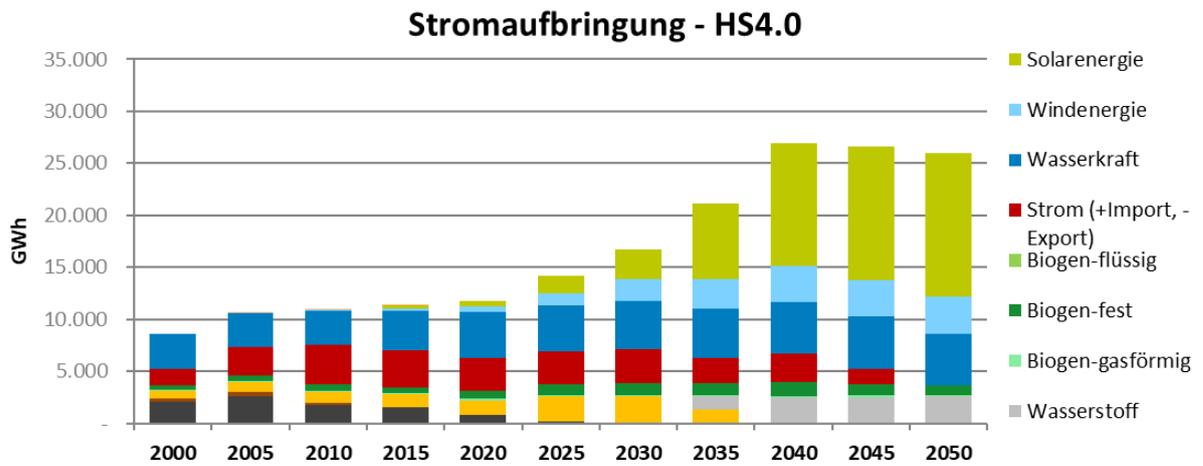


Abbildung 2: Hauptszenario 4 – Stromaufbringung 2000–2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022), Berechnungen AEA

Die Deckung des in den Hauptszenarien steigenden Fernwärmeverbrauchs erfolgt durch Biomasse, Biomethan, Wasserstoff, Wärmepumpen und Geothermie, siehe Abbildung 3. Geothermie wird in den vorliegenden Szenarien erstmals für die Fernwärmeaufbringung als wichtige Energiequelle mitberücksichtigt, da sie laut derzeitigem Erkenntnisstand eine wichtige Rolle für die Dekarbonisierung der Fernwärme in der Steiermark spielen kann. Der Ausstieg aus Erdgas in der Fernwärmeerzeugung, vor allem in KWKs, welche auch weiterhin eine hohe Relevanz sowohl für die Fernwärme als auch für die Versorgungssicherheit von Strom haben werden, wird ca. jeweils zur Hälfte durch den Einsatz von Wasserstoff und Biomethan bewerkstelligt.

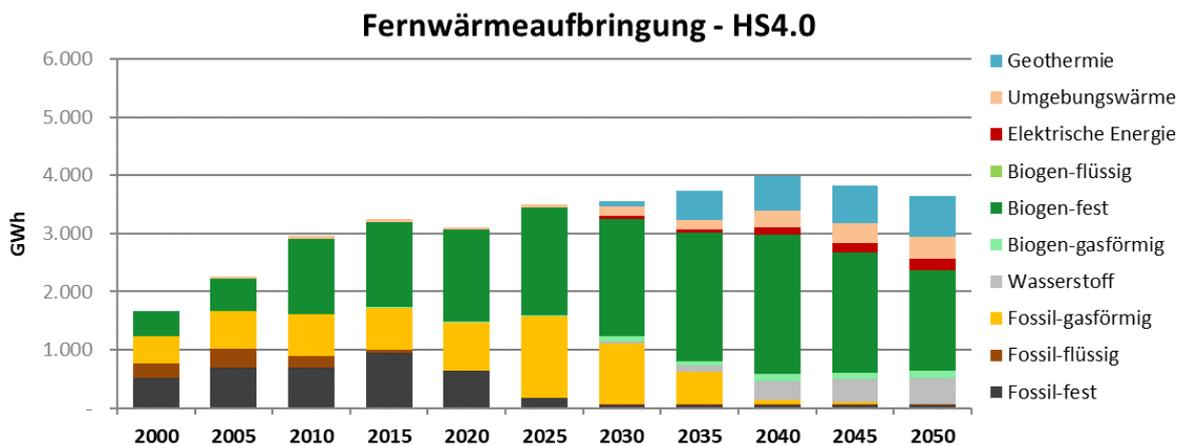


Abbildung 3: Hauptszenario 4 – Fernwärmeaufbringung 2000–2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022), Berechnungen AEA

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	9
2	Energie- und Klimaziele	12
2.1	Klimaziele.....	12
2.1.1	Kurzfristige Klimaziele bis 2030	12
2.1.2	Langfristige Klimaziele nach 2030	15
2.1.3	CO ₂ -Senken und LULUCF	17
2.1.4	Sektor-Ziele im Non-ETS-Bereich.....	18
2.2	Ziele für den Energieverbrauch	21
2.3	Ziele für erneuerbarer Energie	22
3	Energetischer Endverbrauch	24
3.1	Steiermark gesamt.....	24
3.2	Industrie	27
3.3	Verkehr	30
3.4	Haushalte.....	35
3.5	Dienstleistungen.....	36
3.6	Landwirtschaft	37
4	Energieaufbringung	39
4.1	Szenario-Varianten	39
4.2	Stromaufbringung	42
4.2.1	Hauptszenarien.....	42
4.2.2	Szenario-Varianten	48
4.3	Fernwärmeaufbringung.....	53
4.4	Wasserstoff.....	54
4.5	E-Fuels	56
4.6	Biomasse und Bio-Methan	59
4.7	Erneuerbaren-Anteile in den Hauptszenarien.....	60
5	Treibhausgasemissionen	67
5.1	Treibhausgasemissionen HS4	67
5.2	Treibhausgasemissionen HS5	69
5.3	Treibhausgasemissionen HS6	70
6	Monitoring-Indikatoren	71
6.1	Gebäude	72
6.1.1	Fossile Heizkessel	72
6.1.2	Sanierung.....	73
6.1.3	Wohnfläche	74
6.2	Verkehr	74
6.2.1	Emissionsfreie Fahrzeuge	74
6.2.2	Verkehrsleistung.....	76
6.3	Energie.....	77
6.3.1	Stromerzeugung	77
7	Anhang I – Beschreibung der Methodik	80
7.1	Relevante Sektoren	80
7.2	Energetische Treibhausgasemissionen.....	80
7.2.1	Treibhausgas-Emissionsfaktoren	82
7.3	Nicht-energetische Treibhausgasemissionen	82

8	Anhang II – Beschreibung der Industrie-Maßnahmenwirkungen.....	84
9	Änderungen	90
10	Literaturverzeichnis	91
	Abbildungsverzeichnis	97
	Tabellenverzeichnis	101
	Abkürzungsverzeichnis	103

1 Einleitung

Die Klimakrise ist die größte Herausforderung unserer Zeit. Die Folgen der Klimakrise sind in der Steiermark bereits deutlich spürbar und messbar. Die Klimakrise kann nur gemeinsam bewältigt werden. Um ein gemeinsames Vorgehen zu koordinieren, gibt es bereits globale, europäische, österreichische und steirische Vereinbarungen über Ziele zur Reduktion von Treibhausgasen (THG). Das Übereinkommen von Paris sieht vor, den Ausstoß von Treibhausgasen weltweit zu begrenzen, um den globalen Temperaturanstieg auf deutlich unter 2° Celsius, möglichst 1,5° Celsius, zu begrenzen. Auf EU-Ebene wurde aktuell eine Reduktion der Treibhausgase um mindestens 55 % bis 2030 (gegenüber 1990) beschlossen. Für Österreich bedeutet dies eine Reduktion von minus 48 % bis 2030 im Non-ETS-Bereich.²

Die Klimakrise in Österreich kann nur gemeinsam durch Bund, Länder und Gemeinden sowie unter Mithilfe aller Wirtschaftssektoren und relevanten Stakeholder bewältigt werden. Im aktuellen Regierungsprogramm 2020-2024 der österreichischen Bundesregierung ist die Erreichung der Klimaneutralität bis 2040 als Ziel verankert. Die Steiermärkische Landesregierung hat in der Klima- und Energiestrategie Steiermark aus dem Jahr 2017 (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2017) die für Österreich verbindlichen Treibhausgasreduktionsziele von -36 % (gegenüber 1990) direkt übernommen. Die vorliegende Studie berücksichtigt in allen drei Hauptszenarien bereits das neue, aktualisierte und für Österreich rechtlich verbindliche Treibhausgasreduktionsziel von minus 48 % im Non-ETS Bereich, welches auf EU-Ebene in der Effort Sharing Regulation im Frühjahr 2023 fixiert wurde.

Mit der Umsetzung der beschlossenen Klima- und Energiemaßnahmen in der Steiermark wurden bereits wichtige Schritte in Richtung Klimaneutralität gesetzt. Die vorliegende Studie berücksichtigt daher unter anderem die Arbeiten der Steiermärkischen Landesregierung der letzten Jahre. Dazu zählen insbesondere die wesentlichen Berichte wie die „Klima- und Energiestrategie Steiermark 2030“, der „Aktionsplan 2022-2024“ und die „Landesstrategie Elektromobilität Steiermark 2030“.³ Zur Erreichung der verschärften Ziele sind jedoch zusätzliche Maßnahmen erforderlich. Wesentliche Indikatoren für das Monitoring werden definiert und die den Szenarien zugrundeliegenden Zielpfade für diese Indikatoren beschrieben.

Um der Klimakrise zu begegnen, muss die zukünftige Energieversorgung ohne fossile Energieträger wie Kohle, Öl und Erdgas auskommen. Derzeit liegt der Anteil erneuerbarer Energieträger am Energieverbrauch in der Steiermark bei rund 33 % und damit leicht unter dem österreichischen Durchschnitt (36 %). Der Umstieg auf eine 100 % erneuerbare Energieversorgung in den nächsten 17 bis 27 Jahren stellt eine große Herausforderung dar. Vor diesem Hintergrund untersucht die vorliegende Studie in Szenarien mögliche Entwicklungen des steirischen Energiesystems bis 2040/2050. Der Fokus liegt dabei auf der Beantwortung der Frage, welche Mengen an Strom, Biomasse, Biomethan und Wasserstoff notwendig sind, um eine zu 100 % erneuerbare Energieversorgung in der Steiermark zu erreichen.

² Wichtig ist hierbei die Unterscheidung zwischen dem Nicht-Emissionshandelsbereich und dem Emissionshandelsbereich. Der Nicht-Emissionshandelsbereich umfasst die Sektoren Verkehr, Gebäude, Landwirtschaft, Abfall, F-Gase sowie Energie und Industrie für Anlagen, die nicht vom Emissionshandel erfasst sind, während der Emissionshandelsbereich Energie- und Industrieunternehmen mit hohen THG-Emissionen sowie den europäischen Luftverkehr umfasst.

³ (Amt der Steiermärkischen Landesregierung 2017), (Amt der Steiermärkischen Landesregierung 2019), (Amt der Steiermärkischen Landesregierung 2020), (Land Steiermark 2016)-

In Kapitel 2 werden die THG-Zielpfade für die Steiermark vor dem Hintergrund der verschärften europäischen Ziele für das Jahr 2030 und österreichischen THG-Reduktionsziele bis 2040/2050 sowie aus unterschiedlichen österreichischen Quellen abgeleitete sektorale THG-Zielpfade betrachtet. Zusätzlich werden bestehende und mögliche Ziele für den Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung dargestellt.

Kapitel 3 analysiert in Zielerreichungsszenarien die Verbrauchssektoren Industrie, Verkehr, Haushalte, Dienstleistungen und Landwirtschaft und wie diese dekarbonisiert werden können. Mit den Zielerreichungsszenarien wird dargestellt, welche Auswirkungen die Zielerreichung bei Treibhausgasen und Energieverbrauch auf die zugrundeliegenden Energieträger und den dafür notwendigen Energieeinsatz (siehe Kapitel 4) in der Steiermark haben kann. Die hier dargestellten Szenarien stellen plausible mögliche Pfade zur Zielerreichung dar und sind daher keine Prognosen. Im Industriesektor wird ein Schwerpunkt auf die Dekarbonisierung der Eisen- und Stahlindustrie gelegt und dazu die Strategie der Voestalpine hinterlegt. Im Verkehrssektor werden diesmal auf Wunsch des Auftraggebers mehrere Varianten zum Einsatz von E-Fuels im Straßenverkehr berechnet und Sustainable Aviation Fuels und E-Fuels für den Flugverkehr berücksichtigt.

In Kapitel 4 werden die Auswirkungen der Dekarbonisierung der Verbrauchssektoren und des Ausstiegs aus fossilen Energieträgern in der Strom- und Fernwärmeerzeugung auf den Energieverbrauch in der Steiermark untersucht. Der Fokus liegt dabei auf der Ermittlung der benötigten Mengen an erneuerbarem Strom, dekarbonisierter Fernwärme, Biomasse, Biomethan und Wasserstoff in der Steiermark. Bei der Fernwärme wird in dieser Aktualisierung der Szenarien die Geothermie berücksichtigt. Weiters werden die Auswirkungen auf das steirische Energiesystem bei unterschiedlichen Strom- und Wasserstoffimporten anhand von Szenarien untersucht. Diese Untersuchungen dienen als Entscheidungshilfe, wie viel Strom und Wasserstoff in Zukunft in der Steiermark erzeugt und wie viel jeweils importiert werden soll.

Kapitel 5 beschreibt die Entwicklung der energetischen und nichtenergetischen THG-Emissionen (aus Landwirtschaft und industriellen Prozessen) der Hauptszenarien, die im Wesentlichen auf den oben beschriebenen Analyseschritten beruhen. Diese Entwicklung wird für jeden Sektor anhand der berechneten sektoralen Emissionen und der indikativen sektoralen Zielpfade dargestellt.

In Kapitel 6 werden Monitoring-Indikatoren und Indikator-Zielpfade beschrieben, die die Entwicklung von Maßnahmen, die Steuerung der Zielerreichung und die Anpassung von Maßnahmen unterstützen sollen. Die konkrete Ausgestaltung der zur Zielerreichung notwendigen Maßnahmen wird in diesem Bericht nicht beschrieben. Die Monitoring-Indikatoren und Indikator-Ziel-Pfade können jedoch bei der Maßnahmenentwicklung und möglichen Nachsteuerungen bei Indikator-Ziel-Pfad-Abweichungen unterstützen, da sie auch in den hier dargestellten Zielerreichungsszenarien hinterlegt sind.

In den Anhängen werden technische Details zur angewandten Methodik und zu den getroffenen Annahmen beschrieben.

Für die Erstellung dieses Berichtes wurden zahlreiche Abstimmungsgespräche mit Vertretern des Landes und Experten aus der Steiermark geführt. Zuerst wurde eine Reihe von fachlichen Vorgesprächen mit Mitarbeiter/innen verschiedener Abteilungen des Landes organisiert, um grundlegende Annahmen und Zielsetzungen zu besprechen. Dazu wurden mehrere themenspezifische Besprechungen mit Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Abteilung 15 - Energie, Wohnbau, Technik, der Abteilung 16 - Verkehr und Landeshochbau, der Abteilung 17 – Landes- und Regionalentwicklung, und der Abteilung 10 - Land- und Forstwirtschaft geführt. In weiterer Folge fanden politische Abstimmungsgespräche statt, in denen die zu berücksichtigende Ausrichtung der Klima- und Energiestrategie des Landes Steiermark bestätigt wurde. Diese

konstruktiven Besprechungen und die daraus gewonnen wertvollen Informationen und Entscheidungen bildeten eine gute Grundlage für die Erstellung der vorliegenden Studie.

2 Energie- und Klimaziele

2.1 Klimaziele

2.1.1 Kurzfristige Klimaziele bis 2030

Die rechtlich verbindlichen Klimaziele für Österreich bis 2030 wurden im Frühjahr 2023 durch die Verschärfung der Ziele in der EU Effort Sharing Regulation (ESR) auf minus 48 % für den Non-ETS-Bereich (Basis 2005) erhöht (EU, 2023a). Die ESR legt für jeden Mitgliedstaat ein nationales Ziel zur Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2030 für die Sektoren Verkehr (ohne internationalen Flugverkehr), Gebäude, Landwirtschaft, Kleinindustrie und kleine Energieerzeugung sowie Abfall und F-Gase fest. Die ESR enthält nicht nur Ziele für das Jahr 2030, sondern definiert auch, wie Zielpfade für den Zeitraum 2021-2030 für die zulässigen Treibhausgasemissionen der EU-Mitgliedstaaten berechnet werden sollen. Es gibt in der ESR allerdings ebenfalls eine Reihe von spezifisch definierten Optionen, die Abweichungen vom Zielpfad ermöglichen:

- Banking - die Übertragung von Klimaschutz-Zertifikaten in zukünftige Jahre,
- Borrowing - das Ausleihen von Klimaschutz-Zertifikaten aus zukünftigen Jahren,
- Trading - der Kauf von Klimaschutz-Zertifikaten aus anderen EU-Mitgliedstaaten oder
- die Nutzung von Flexibilitäten mit anderen Sektoren, z. B. die Möglichkeit, dass erhöhte THG-Einsparungen im ETS- und LULUCF-Bereich zu reduzierten Zielen im Non-ETS-Bereich führen.

Sollte es trotz der Nutzung dieser Möglichkeiten zu Zielabweichungen kommen, ist die Einleitung eines Vertragsverletzungsverfahrens auf EU-Ebene möglich. Sowohl eine mögliche Strafzahlung nach einem Vertragsverletzungsverfahren als auch der mögliche Ankauf von Klimaschutz-Zertifikaten stellen Budgetrisiken für Österreich und die Bundesländer dar, die in der Budgetplanung zu berücksichtigen sind. Die Aufteilung allfälliger Kosten für den Ankauf von Klimaschutz-Zertifikaten ist im Finanzausgleichsgesetz geregelt, das derzeit eine Aufteilung der Kosten zwischen Bund und Ländern im Verhältnis 80:20 und zwischen den Ländern nach Bevölkerungszahl vorsieht. Auch aus diesem Grund ist es wichtig, dass die auf EU-Ebene für Österreich beschlossenen Ziele auch von den Bundesländern übernommen werden.

In der vorliegenden Analyse wird für die Steiermark das minus 48 %-Ziel für den Non-ETS-Bereich angenommen. Dies entspricht der Praxis der Bundesländer, solche nationalen EU-Ziele auch auf Landesebene direkt zu übernehmen. Für die vorliegende Studie wurde mit dem Auftraggeber vereinbart, dass die in der ESR festgelegte Methodik als Berechnungsgrundlage für einen steirischen Zielpfad für den Zeitraum 2021 bis 2030 hinterlegt wird. Dieser Zielpfad ist für alle hier dargestellten Szenarien bis 2030 gleich und ist in Abbildung 4 dargestellt und in Tabelle 1 beschrieben.

Der Zielpfad beginnt für Österreich, entsprechend der methodischen Bestimmungen in der EU Effort Sharing Regulation, und für die Steiermark zeitlich im Abstand von 5/12 zwischen den Jahren 2019 und 2020 auf dem THG-Wert, der den durchschnittlichen THG-Emissionen der Jahre 2016 bis 2018 entspricht. Die zugrunde gelegten THG-Emissionen werden mit GWP AR5 (Global Warming Potential gemäß 5. Sachstandsbericht) Emissionsfaktoren sowohl für das Ziel im Jahr 2030 als auch für die Ausgangsbasis berechnet. Für die Jahre 2021 und 2022 wird noch das alte ESR-Ziel für Österreich von minus 36 % für das Jahr 2030 hinterlegt, ab 2023 das neue Ziel von minus 48 %. Für die Periode 2026 bis 2030 wird der tatsächliche Zielpfad auf Basis der

zukünftig ermittelten Treibhausgasemissionen mit einem Stichtag festgelegt. Daher ist der Zielpfad für diese Periode derzeit nur als Richtwert zu verstehen.

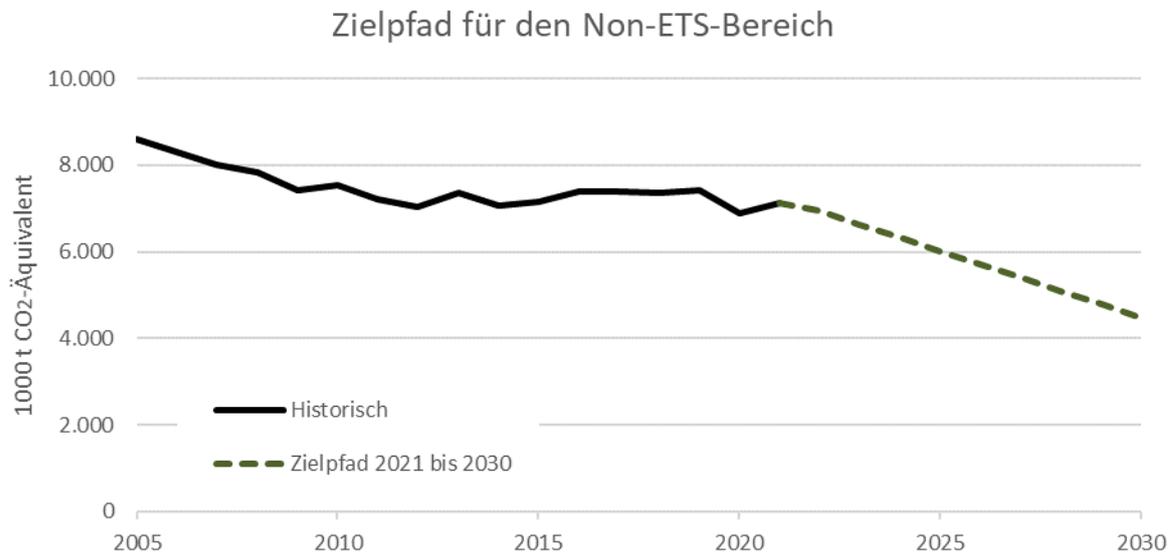


Abbildung 4: Historische steirische THG-Emissionen im Non-ETS-Bereich von 2005 bis 2021 und Zielpfad von 2021 bis 2030 nach ESR-Methodik und mit minus 48 %-Ziel für das Jahr 2030 (auf Basis 2005); Quelle: (UBA, 2023a), (EU, 2023a), Berechnungen AEA

Tabelle 1: Historische steirische THG-Emissionen im Non-ETS-Bereich für 2005, 2020 und 2021 sowie Zielpfad von 2021 bis 2030 nach ESR-Methodik und mit minus 48 %-Ziel für das Jahr 2030 (auf Basis 2005), in 1.000 t CO₂-Äquivalent; Quelle: (UBA, 2023a), (EU, 2023a), Berechnungen AEA

in	2005	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1.000 t CO ₂ -eq												
Historie	8.596	6.894	7.115									
Ziele			7.127	6.946	6.637	6.327	6.018	5.708	5.398	5.089	4.779	4.470

Das EU-Emissionshandelssystem, das seit 2005 für die ETS-Sektoren in Kraft ist, ist ein CO₂-Markt, der auf festen Emissionsobergrenzen und dem Handel mit Emissionszertifikaten für die energieintensive Industrie, den Stromerzeugungssektor und den Luftverkehr für die Europäische Union basiert. Für diese ETS-Sektoren wurden auf EU-Ebene kürzlich ebenfalls verschärfte Ziele von minus 62 % bis 2030 (Basis 2005) beschlossen (EU, 2023b). Diese Ziele sollen durch eine Reduktion der in der Europäischen Union zur Verfügung gestellten ETS-Zertifikate erreicht werden, daher gibt es keine spezifischen und rechtlich verbindlichen Ziele für die einzelnen EU-Mitgliedstaaten. Diese Obergrenze für ETS-Zertifikate wurde per EU-Verordnung für das Jahr 2021 festgelegt und wird gemäß ETS-Verordnung für die Jahre 2022 und 2023 um 2,2 %, für die Jahre 2024 bis 2027 um 4,3 % und für den Zeitraum 2028 bis 2030 kontinuierlich reduziert. Gleichzeitig wird die Anzahl der Gratiszertifikate von 2025 bis 2030 um 48,5 % reduziert, parallel zur Einführung des CO₂-Grenzausgleichsmechanismus (CBAM). Mit der Einführung des CBAM werden Importe bestimmter emissionsintensiver Produkte besteuert oder mit CBAM-Zertifikaten belegt. Damit soll vermieden werden, dass Industrie- und Produktionsaktivitäten in Länder mit niedrigeren Klimaauflagen abwandern.

Der Zielwert von minus 62 % THG-Reduktion im ETS-Bereich wird in allen hier dargestellten Szenarien mit einem indikativen THG-Reduktionspfad bis 2030 hinterlegt, siehe Abbildung 5. Für die Zielpfade wird implizit angenommen, dass die entsprechenden Emissionsreduktionen im ETS-Bereich in der Steiermark erfolgen und nicht durch den Zukauf von ETS-Zertifikaten kompensiert werden.

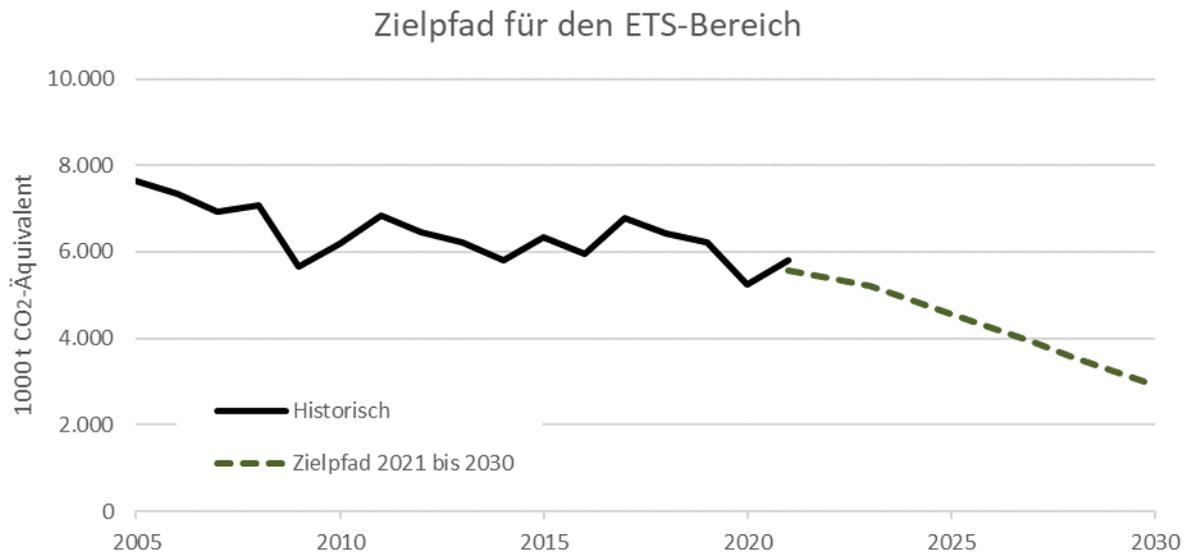


Abbildung 5: Historische steirische THG-Emissionen im ETS-Bereich von 2005 bis 2021 und indikativer Zielpfad von 2021 bis 2030 abgeleitet aus dem minus 62 %-Ziel für das Jahr 2030 (auf Basis 2005); Quelle: (UBA, 2023a), (EU, 2023b), Berechnungen AEA

Tabelle 2 Historische steirische THG-Emissionen im ETS-Bereich für 2005, 2020 und 2021 und indikativer Zielpfad von 2021 bis 2030 abgeleitet aus dem minus 62 %-Ziel für das Jahr 2030 (auf Basis 2005); Quelle: (UBA, 2023a), (EU, 2023b), Berechnungen AEA

in	2005	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1.000 t CO ₂ -eq												
Historie	7.643	5.231	5.818									
Ziele			5.561	5.393	5.224	4.896	4.567	4.239	3.910	3.574	3.237	2.901

Im Zuge der Anpassung des bestehenden Emissionshandelssystems wurde auch ein Emissionshandelssystem für die Sektoren Gebäude und Verkehr (ETS2) geschaffen, das ab 2027 in Kraft treten soll und damit einen EU-weiten CO₂-Preis für die Nutzung fossiler Brennstoffe in diesen beiden Sektoren vorsieht. Trotz der Einführung des neuen Emissionshandelssystems fallen diese beiden Sektoren weiterhin unter die Effort-Sharing-Verordnung und werden im Folgenden als Teil der Non-ETS-Sektoren behandelt.

2.1.2 Langfristige Klimaziele nach 2030

Die hier dargestellten zentralen Szenarien unterscheiden sich erst nach 2030 durch unterschiedliche Annahmen über den Zeitpunkt der Klimaneutralität in den Non-ETS- und ETS-Sektoren:

- Hauptszenario 4 – „Klimaneutralität 2040 ETS und Non-ETS“ (HS4)
- Hauptszenario 5 – „Klimaneutralität 2040 Non-ETS/2050 ETS“ (HS5)
- Hauptszenario 6 – „Klimaneutralität 2050 ETS und Non-ETS“ (HS6)⁴

Klimaneutralität wird als Treibhausgasneutralität (THG-Neutralität) verstanden (wie dies auch auf EU-Ebene und in Österreich der Fall ist). Ziel ist es nicht, überhaupt keine Treibhausgase zu emittieren, sondern jede emittierte Tonne Treibhausgase durch CO₂-Senken (siehe Kapitel 2.1.3) zu kompensieren. Aus diesem Grund können noch geringe Mengen an THG-Emissionen in den Sektoren ausgestoßen werden. HS4 legt die Klimaneutralitätsziele sowohl für den ETS- als auch für den Non-ETS-Bereich für das Jahr 2040 fest und entspricht damit den nationalen Zielen, die u. a. im Entwurf des Nationalen Energie- und Klimaplan (BMK, 2023a) bestätigt wurden. HS5 weicht von diesen nationalen Zielen im ETS-Bereich ab, für den Klimaneutralität für das Jahr 2050 angestrebt wird. Es handelt sich somit um eine Kombination aus nationalen Zielen für den Non-ETS-Bereich und EU-Zielen für den ETS-Bereich. Oberösterreich hat sich solche Ziele in der aktualisierten Klima- und Energiestrategie (OÖ, 2022) gesetzt. HS6 ist ein Szenario, das die alten österreichischen Klimaneutralitätsziele für das Jahr 2050 enthält. Diese Ziele finden sich auf Länderebene in Österreich derzeit nur in den alten Energie- und Klimastrategien, die derzeit überarbeitet bzw. in Kürze überarbeitet werden. Auf EU-Ebene ist nach wie vor das Jahr 2050 als Ziel-Jahr für die Erreichung der Klimaneutralität hinterlegt. Es ist aber davon auszugehen, dass für Österreich – wie auch für andere EU-Mitgliedstaaten mit besseren Ausgangsbedingungen – höhere Ambitionen, also eine frühere Erreichung der Klimaneutralität, notwendig sein werden. Auf EU-Ebene haben die Verhandlungen über Zwischenziele für 2040 bereits begonnen. Die den Szenarien zugrunde liegenden steirischen Ziele für den Non-ETS- und den ETS-Bereich (exkl. Senken) für die drei Szenarien sind in Tabelle 3, bezogen auf das Jahr 2005 (wie auch die EU- und die AT-Ziele), beschrieben. Im Jahr 2040 bzw. 2050 verbleiben noch THG-Emissionen in der Landwirtschaft (hauptsächlich Methanemissionen von Rindern und aufgrund von Wirtschaftsdüngermanagement, Lachgasemissionen durch Kunstdünger) sowie Prozessemissionen in der Industrie (hauptsächlich in der Zementindustrie), welche durch CO₂-Senken kompensiert werden müssen.

Tabelle 3: Ziele für Non-ETS und ETS-Bereich für HS4, HS5 und HS6; Prozent in Minus, bezogen auf das Jahr 2005; Quelle: (EU, 2023a), (EU, 2023b), (Standard, 2021) und Abstimmungsmeetings mit dem Land Steiermark

Non-ETS-Bereich	HS4	HS5	HS6	Basis/Quelle
2030	-48 %	-48 %	-48 %	EU-ESR (EU, 2023a)
2040	-86 %	-86 %	-75 %	KSG-Entwurf (04/2021) (Standard, 2021) für HS4 und HS5, Annahme für HS6
2050	-88 %	-88 %	-88 %	Annahme das ca. 12 % Emissionen in der Landwirtschaft verbleiben

⁴ HS1, HS2 und HS3 wurden für das Land Steiermark im Jahr 2021 berechnet, siehe (AEA, 2021a), (AEA, 2021b).

ETS-Bereich	HS4	HS5	HS6	Basis/Quelle
2030	-62 %	-62 %	-62 %	EU-ETS (EU, 2023b)
2040	-90 %	-82 %	-82 %	Annahme das ca. 10 % an Prozessemissionen verbleiben
2050	-90 %	-90 %	-90 %	

Die THG-Reduktionspfade der Steiermark für die drei Szenarien, basierend auf den oben beschriebenen Annahmen, sind in Abbildung 6 bis Abbildung 8 für den Zeitraum 2020 bis 2050 zusammen mit der historischen Emissionsentwicklung der Steiermark grafisch dargestellt. Alle Szenarien (HS) gehen von einer Verschärfung der THG-Reduktionsziele auf minus 48 % im Non-ETS-Bereich und minus 62 % im ETS-Bereich bis 2030 (auf Basis 2005) aus. Nach 2030 folgen die Szenarien, wie oben beschrieben, unterschiedlichen Zielpfaden. In Abbildung 8 werden die Zielpfade für den Non-ETS- und den ETS-Bereich gemeinsam dargestellt, da die Emissionsberechnung im verwendeten Modell nicht zwischen Non-ETS- und ETS-Emissionen unterscheidet und daher die Emissionen in den Szenarien für den Energie- und Industriesektor für Non-ETS und ETS im Folgenden nur gemeinsam dargestellt werden können. Für 2030 ergibt sich ein kombiniertes THG-Reduktionsziel von minus 55 % für die Steiermark (siehe Tabelle 4).

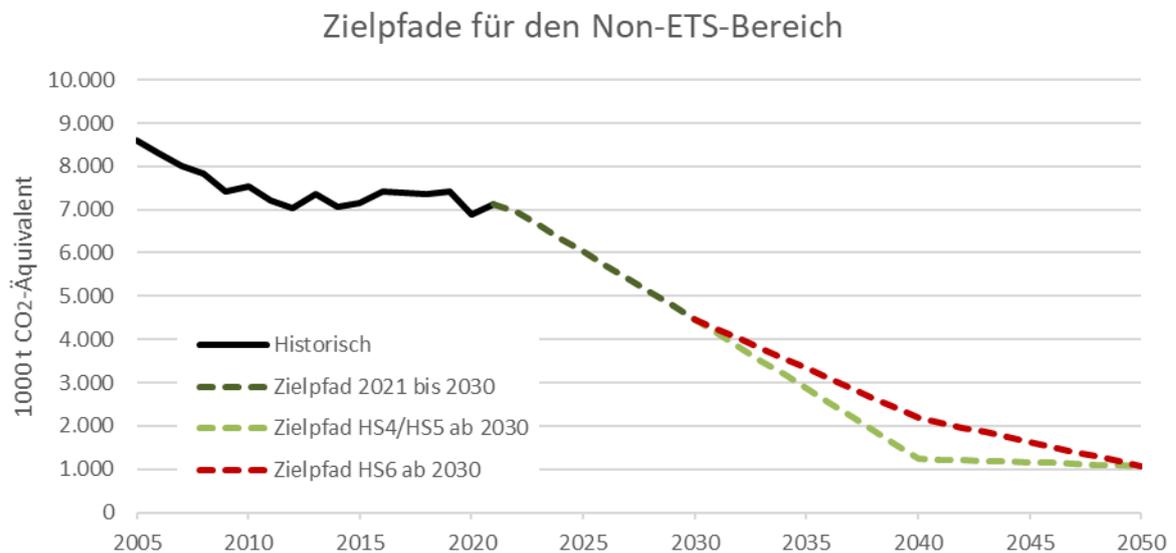


Abbildung 6: Historische steirische THG-Emissionen im Non-ETS-Bereich von 2005 bis 2021 und Zielpfad von 2021 bis 2030 nach ESR-Methodik und mit minus 48 %-Ziel für das Jahr 2030 (auf Basis 2005) und Annahmen für die Zeitperiode 2031 bis 2050; Quelle: (UBA, 2023a), (EU, 2023a), Abstimmungsmeetings mit dem Land Steiermark, und Berechnungen AEA

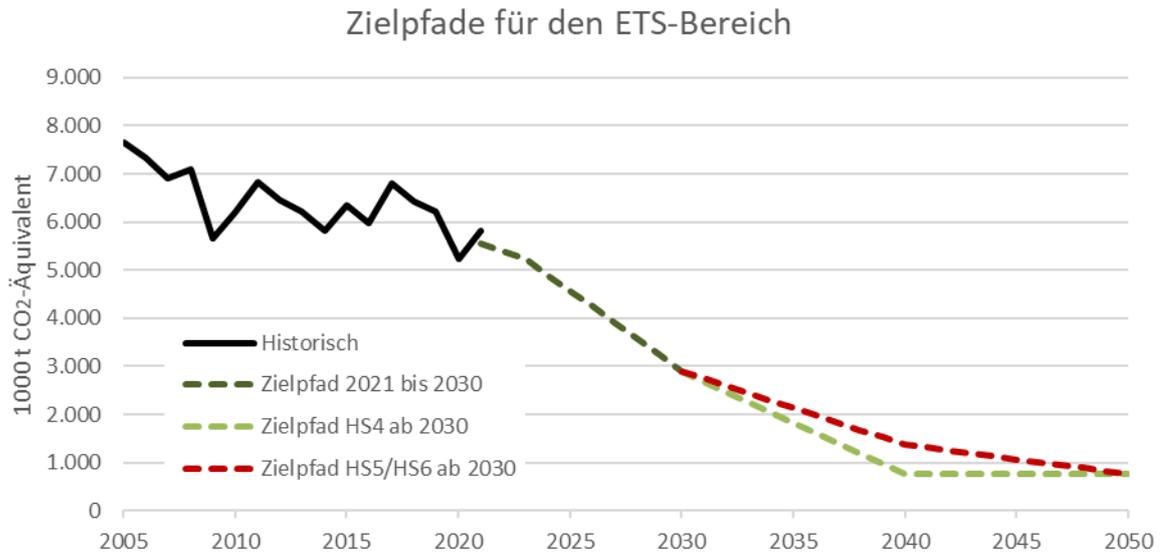


Abbildung 7: Historische steirische THG-Emissionen im ETS-Bereich von 2005 bis 2021 und Zielpfad von 2021 bis 2030 abgeleitet anhand des minus 62 %-Ziels für das Jahr 2030 (auf Basis 2005) und Annahmen für die Zeitperiode 2031 bis 2050; Quelle: (UBA, 2023a), (EU, 2023b), Abstimmungsmeetings mit dem Land Steiermark, Berechnungen AEA

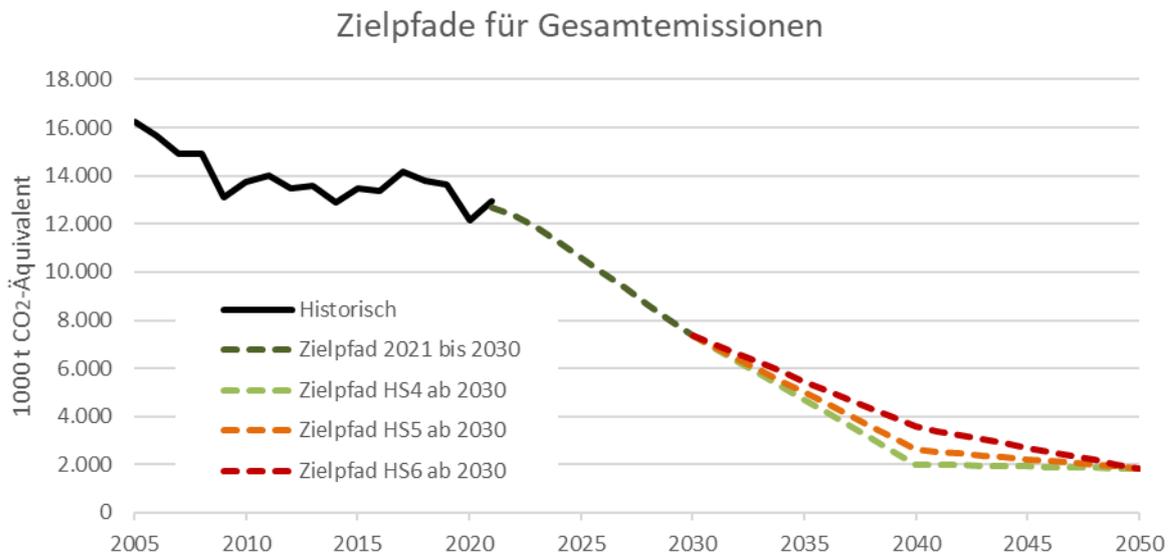


Abbildung 8: Historische steirische gesamte THG-Emissionen von 2005 bis 2021 und kombinierter Zielpfade für ETS und Non-ETS; Quelle: (UBA, 2023a), (EU, 2023a), (EU, 2023b), Abstimmungsmeetings mit dem Land Steiermark, Berechnungen AEA

2.1.3 CO₂-Senken und LULUCF

Um das Ziel der Klimaneutralität im Sinne von Netto-Null-Emissionen zu erreichen, verbleiben langfristig ca. 1,0 bis 1,2 Mio. t CO₂ im Non-ETS-Bereich (v.a. Landwirtschaft) und 0,8 Mio. t CO₂ im ETS-Bereich (v.a. Prozessemissionen) in der Steiermark. Die Berechnung dieser Restmengen erfolgt anhand der in Tabelle 3 angenommenen THG-Reduktionsziele. Dies kann durch CO₂-Senken, im Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft - „LULUCF“, und andere Maßnahmen, z. B. Carbon Capture Utilization and Storage - „CCUS“, kompensiert werden.

Im Jahr 2023 wurden auf EU-Ebene neue LULUCF-Ziele für Österreich in Höhe von 5,65 Mio. t CO₂-Äquivalenten für das Jahr 2030 inklusive Methodik zur Berechnung des Hochlaufpfades, der Möglichkeit des Zukaufs von Zertifikaten und der Nutzung von Flexibilitäten beschlossen. In Österreich wurde in der Vergangenheit die größte Menge CO₂ durch den Holzzuwachs im Wald der Atmosphäre entzogen. Laut Vorgesprächen mit steirischen Waldwirtschafts-Experten besteht derzeit allerdings die Einschätzung, dass das österreichische LULUCF-Ziel nicht erreicht werden kann. Da die Notwendigkeit für die Entfernung von Kalamitäten, der Aufbau von klimafitten Wäldern und die nachhaltige Bewirtschaftung von Wäldern dem Aufbau von CO₂-Senken entgegenwirken. Zusätzlich sind hierzu weitere Abstimmungen zwischen Bund und Ländern hinsichtlich des Aufbaus der Senken und der Anrechenbarkeit der Senkenwirkung auf Länderebene erforderlich, deshalb wird dies in der vorliegenden Analyse nicht näher betrachtet. Aus Sicht der Autoren wäre es langfristig sinnvoll, dass LULUCF-Senken die THG-Emissionen aus der Landwirtschaft kompensieren. Dies könnte sowohl auf österreichischer Ebene als auch auf Ebene der Bundesländer erfolgen, da es die unterschiedlichen strukturellen Möglichkeiten in den Bundesländern weitgehend berücksichtigt.

Die Speicherung von CO₂ mittels Carbon-Capture-and-Storage-Technologien ist derzeit noch weitgehend unerprobt und mit Risiken eines zukünftigen CO₂-Austritts aus den Lagerstätten verbunden. Aus diesem Grund braucht diese Technologie weitere Risiken- und Kostenanalysen und eine Untersuchung, ob für die Vermeidung oder Kompensation von Treibhausgasemissionen nicht bessere und weniger riskante Maßnahmen bzw. Technologien genutzt werden können. Die direkte Nutzung mittels CCU – Carbon Capture and Utilization sollte eine klare Priorität gegeben werden. CCU ist allerdings in geringem Maß höchstwahrscheinlich notwendig, um Prozessemissionen in der Industrie oder THG-Emissionen aus der Abfallverbrennung zu kompensieren, die nicht anderweitig vermieden werden können, oder für Energie- und Industrieanlagen, die nachhaltige Biomasse nutzen können (Bioenergy CCS - BECCS). Dies wurde in den letzten Monaten auch in zwei Strategiepapieren des BMK beschrieben: dem Nationalen Energie- und Klimaplan (NEKP) und dem Integrierten österreichischen Netzinfrastrukturplan (NIP). Die Abscheidung von CO₂-Emissionen führt zu einem zusätzlichen Strombedarf und der Transport des CO₂ zu den CO₂-Lagerstätten erfordert CO₂-Pipelines. Die Höhe des möglichen zusätzlichen Strombedarfs für CCUS und der Zeitpunkt, ab dem CO₂-Pipelines in der Steiermark zur Verfügung stehen könnten, sind derzeit noch unklar. Aus diesem Grund werden diese Technologien im Folgenden nicht näher betrachtet und ihr Energieverbrauch in den Berechnungen nicht berücksichtigt.

2.1.4 Sektor-Ziele im Non-ETS-Bereich

Eine Aufteilung der österreichischen Klimaschutzverpflichtungen außerhalb des Emissionshandels auf die einzelnen Sektoren wurde im Klimaschutzgesetz 2011, zuletzt novelliert 2017, bis 2020 festgelegt. Eine solche sektorale Aufteilung der THG-Reduktionsverpflichtungen auch auf Bundesländerebene kann dazu beitragen, Klarheit für die verantwortlichen Personen, Unternehmen und Organisationen zu schaffen. Darüber hinaus kann eine solche Aufteilung genutzt werden, um transparente Monitoring-Indikatoren und Indikator-Zielpfade (siehe Kapitel 6) zu definieren und kontinuierlich zu überwachen. In der vorliegenden Studie wurden Sektor-Ziele auf nationaler Ebene angenommen, um zu zeigen, wie eine Lastenverteilung zwischen den Sektoren aussehen könnte. Die tatsächlichen Sektor-Ziele Österreichs müssen noch in einem neuen Klimaschutzgesetz festgelegt werden. Da dies noch nicht geschehen ist, können die hier für die Steiermark angenommenen Sektor-Ziele von den tatsächlichen zukünftigen Sektor-Zielen abweichen.

Da die betroffenen Sektoren über unterschiedlich kostenintensive Möglichkeiten zur Emissionsminderung verfügen, ist es nicht sinnvoll, ihnen gleiche Emissionsminderungspflichten aufzuerlegen. Stattdessen kann eine Lastenverteilung entsprechend der jeweiligen Möglichkeiten festgelegt werden. Wichtige Leitfragen sind dabei „Welche THG-Emissionen sind unvermeidbar?“ und „Welcher Sektor/Bereich darf den Rest der erlaubten

Emissionen emittieren?“ statt „Wie viel muss jeder Sektor reduzieren?“. Dies führt häufig dazu, dass bei der Lastenverteilung in den Bundesländern der Sektor Landwirtschaft weniger belastet wird als die anderen Sektoren, da es hier schwieriger ist, Emissionen einzusparen. Die Annahmen für die Non-ETS-Sektoren basieren für 2030 weitestgehend auf dem Entwurf des Nationalen Energie- und Klimaplan (BMK, 2023a), für 2040 auf dem Entwurf des Klimaschutzgesetzes (Standard, 2021) und für 2050 auf Annahmen. Abweichend zum Entwurf des NEKPs wurden die sektoralen THG-Reduktionsziele für 2030 für Energie und Industrie in den Non-ETS-Sektoren angepasst, um insgesamt bis 2030 die erforderliche THG-Reduktion um minus 48 % zu erzielen (siehe Fußnote 5). Für die ETS-Sektoren werden die oben im Text beschriebenen Annahmen verwendet.

Tabelle 4 zeigt die relativen sektoralen THG-Emissionsminderungsziele in den Zeiträumen 2005 bis 2030, 2005 bis 2040 und 2005 bis 2050 für die hier analysierten Szenarien. Tabelle 5 zeigt die verbleibenden absoluten Treibhausgasemissionen für die Jahre 2030, 2040 und 2050 in den Sektoren für diese Szenarien. Auch hier sind die Ziele in den Szenarien bis 2030 gleich und unterscheiden sich erst nach 2030.

Tabelle 4: Annahmen für relativen Treibhausgasemissions-Reduktionsziele für die Sektoren in der Steiermark, Prozent in Minus, bezogen auf das Jahr 2005; Quelle: (BMK, 2023a), (Standard, 2021), Annahmen und Berechnungen AEA

	2005	2005-2030	2005-2040			2005-2050		
	Basis (kt CO ₂ eq)	HS4/HS5/HS6	HS4	HS5	HS6	HS4	HS5	HS6
Energie	2.739							
Energie ETS	2.574	-62 %	-90 %	-82 %	-82 %	-90 %	-90 %	-90 %
Energie Non-ETS ⁵	165	-47 %	-89 %	-89 %	-78 %	-89 %	-89 %	-89 %
Industrie	5.518							
Industrie ETS	5.069	-62 %	-90 %	-82 %	-82 %	-90 %	-90 %	-90 %
Industrie Non-ETS ⁵	449	-47 %	-89 %	-89 %	-78 %	-86 %	-86 %	-86 %
Verkehr	3.762	-48 %	-99 %	-99 %	-86 %	-99 %	-99 %	-99 %
Gebäude	1.878	-66 %	-98 %	-98 %	-85 %	-99 %	-99 %	-99 %
Landwirtschaft	1.396	-22 %	-46 %	-46 %	-42 %	-52 %	-52 %	-52 %
Abfallwirtschaft	701	-50 %	-53 %	-53 %	-53 %	-65 %	-65 %	-65 %
Fluorierte Gase	245	-56 %	-85 %	-85 %	-74 %	-90 %	-90 %	-90 %
Gesamt	16.238	-55 %	-88 %	-84 %	-78 %	-89 %	-89 %	-89 %
KSG	8.596	-48 %	-86 %	-86 %	-75 %	-88 %	-88 %	-88 %
EH	7.643	-62 %	-90 %	-82 %	-82 %	-90 %	-90 %	-90 %

⁵ Wie im Text erwähnt, wurden für die Sektoren Energie und Industrie im Non-ETS-Bereich andere Annahmen getroffen als im NEKP-Entwurf. Die relativen Sektorziele für Energie und Industrie betragen im NEKP-Entwurf minus 40 % für das Jahr 2030. Dieser Wert wurde für das Jahr 2030 auf minus 47 % erhöht, damit die Gesamtziele für den Non-ETS-Sektor mit der Summe der Sektorziele in der Steiermark übereinstimmen.

Tabelle 5: Annahmen für absolute Treibhausgasemissions-Zielwerte für die Sektoren in der Steiermark; Quelle: (BMK, 2023a), (Standard, 2021), Annahmen und Berechnungen AEA

Steiermark THG Emissionen	2005	2030 Ziel	2040 Ziel			2050 Ziel		
kt CO ₂ eq	Basis	HS4/HS5/HS6	HS4	HS5	HS6	HS4	HS5	HS6
Energie	2.739	1.066	276	481	500	276	276	276
Energie ETS	2.574	978	257	463	463	257	257	257
Energie Non-ETS	165	88	18	18	37	18	18	18
Industrie	5.518	2.166	556	962	1.013	570	570	570
Industrie ETS	5.069	1.926	507	912	912	507	507	507
Industrie Non-ETS	449	240	49	49	100	63	63	63
Verkehr	3.762	1.956	38	38	514	30	30	30
Gebäude	1.878	638	38	38	273	19	19	19
Landwirtschaft	1.396	1.089	754	754	836	670	670	670
Abfallwirtschaft	701	350	329	329	329	245	245	245
Fluorierte Gase	245	108	37	37	63	24	24	24
Gesamt Brutto	24.495	7.374	2.008	2.620	3.512	1.834	1.834	1.834

Diese Sektor-Ziele mit den entsprechenden Zielpfaden für die Zeiträume 2021-2030, 2031-2040 und 2041-2050 sind in Abbildung 9 dargestellt (die Grafiken haben aus Darstellungsgründen unterschiedliche Y-Achsenwerte). Im Falle der Sektoren Energie und Industrie werden diese kombiniert für ETS- und Non-ETS-Sektoren dargestellt, da eine getrennte Berechnung im Modell derzeit nicht möglich ist. Die Berechnung der sektoralen Zielpfade für die Non-ETS-Sektoren für den Zeitraum 2021-2030 erfolgt ebenfalls nach der ERS-Methodik für die Gesamtemissionen.

Nach dieser Gegenüberstellung liegen die tatsächlichen THG-Emissionen im Jahr 2021 im Energie-, Industrie- und Gebäudesektor über dem Zielpfad, während sie im Verkehrs-, Landwirtschafts-, Abfall- und F-Gas-Sektor unter dem sektoralen Zielpfad liegen. In diesen und anderen Grafiken bezüglich der historischen Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Steiermark führen Effekte der Corona-Pandemie in den Sektoren Energie- und Industrie sowie Verkehr im Jahr 2020 zu einer kurzfristigen starken Reduktion an THG-Emissionen, welche im Jahr 2021 wieder zu einem Großteil aufgehoben wurde. Am steilsten ist der Zielpfad im Verkehrssektor, da hier sowohl die Ziele für 2030 relativ hoch sind als auch die Emissionen in der Vergangenheit nur geringfügig reduziert werden konnten. Im Abfallsektor liegt der Zielpfad deutlich über den tatsächlichen Emissionen, da in diesem Sektor in der Steiermark bereits in der Vergangenheit eine kontinuierliche Reduktion der THG-Emissionen erzielt wurde.

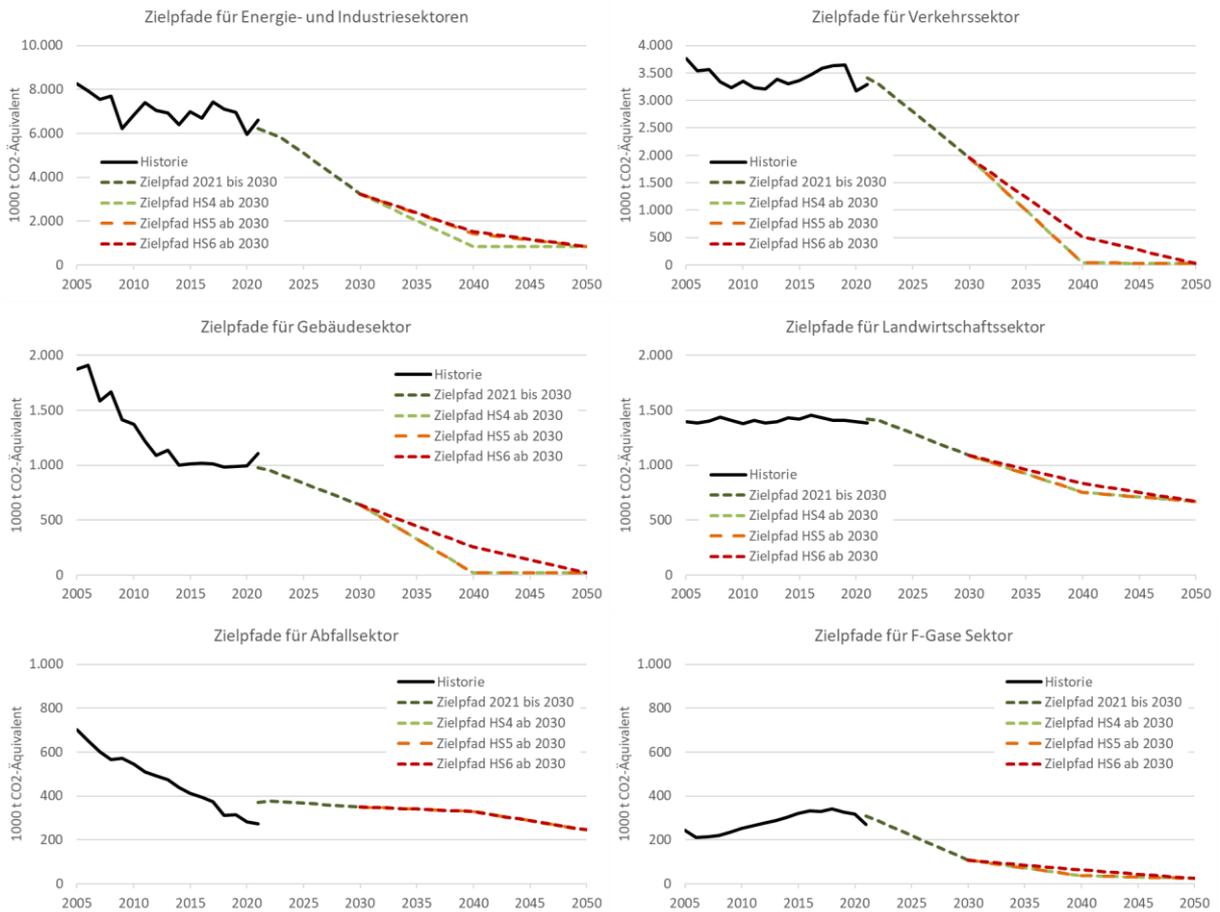


Abbildung 9: Steiermark historische sektorale Treibhausgasemissionen von 2005 bis 2021, sowie Annahme für Sektor-Ziele bis 2030; Quelle: (UBA, 2023a), Berechnungen AEA

2.2 Ziele für den Energieverbrauch

Das Energieeffizienzgesetz 2023 (EEffG) (BGBl. I Nr. 72/2014, 2023) sieht eine Mindestreduktion des österreichischen Endenergieverbrauchs (EEV) auf 920 PJ bis 2030 und eine Reduktion um weitere 20 % bis 2040 vor. Die Steiermark soll nach den darin enthaltenen Richtwerten rund 17 % der österreichischen EEV-Einsparungen zwischen 2020 und 2030 erbringen. Dies entspricht einer EEV-Einsparung von minus 8,8 TWh bis 2030 und minus 17,5 TWh bis 2040 (Basis 2020). Der lineare Zielpfad zur Reduktion des energetischen Endverbrauchs für die Steiermark ist in Abbildung 10 dargestellt.

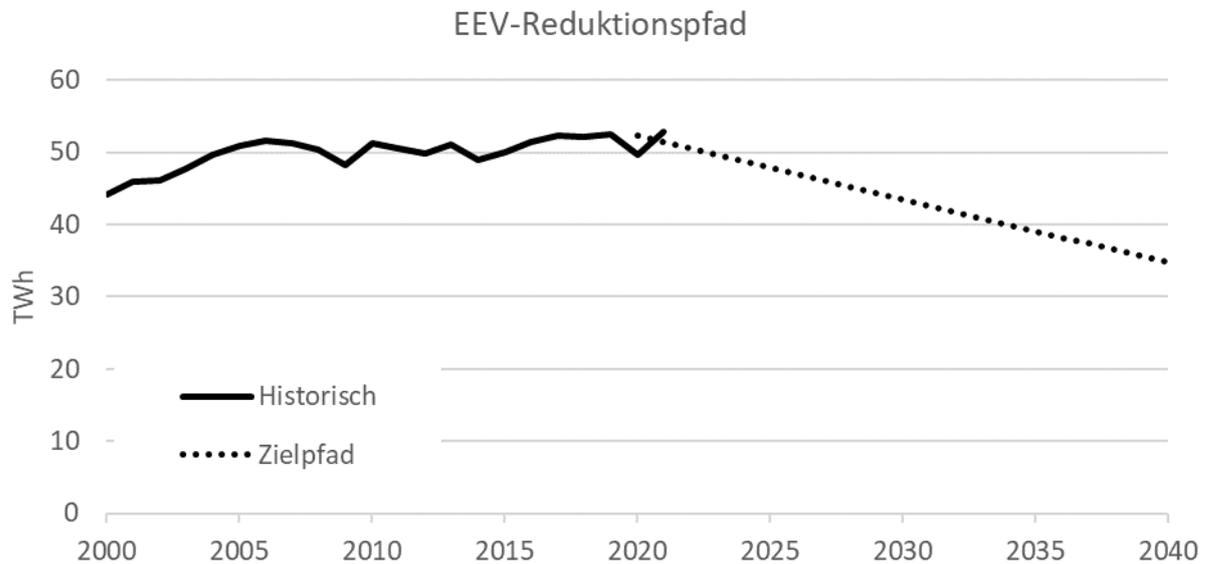


Abbildung 10: EEV-Zielpfad für die Steiermark; Quelle: (Statistik Austria, 2022); (BGBl. I Nr. 72/2014, 2023); Berechnungen AEA

Auch auf EU-Ebene wurde im Juli 2023 eine neue Energieeffizienzrichtlinie (EU, 2023) verabschiedet, die in Kürze in Kraft treten wird. Ziel dieser Richtlinie ist eine EU-weite Reduktion des Endenergieverbrauchs um 11,7 % bis 2030. Der Entwurf des Nationalen Energie- und Klimaplan (NEKP) beschreibt, dass Österreich die Kerninhalte dieser Richtlinie im Energieeffizienzgesetz umsetzt und ein EEV-Ziel von 920 PJ bis 2030 festlegt. Ein wesentlicher Unterschied zwischen den EU-Zielen der Energieeffizienzrichtlinie (EED) und den österreichischen Zielen des EEEffG besteht jedoch darin, dass für die Ziele der EED die Umgebungswärme nicht als Teil des zugrunde gelegten EEV berücksichtigt wird, während sie im EEEffG berücksichtigt wird. Das Szenario WAM23, dessen Ergebnisse im Entwurf des NEKP (BMK, 2023a) beschrieben sind, weist für die Jahre 2030 und 2040 einen höheren EEV als die österreichischen Ziele laut EEEffG und damit eine hohe Zielabweichung auf (1089 PJ bzw. 984 PJ).⁶

2.3 Ziele für erneuerbarer Energie

Im Jahr 2020 betrug der Anteil erneuerbarer Energie in Österreich 36,5 % des Bruttoendenergieverbrauchs, womit das damalige EU-Ziel des Klima- und Energiepakets von mindestens 34 % erreicht wurde. Diese Zielerreichung war allerdings nur aufgrund des Energieverbrauchsrückgangs wegen der Corona-Pandemie möglich. Der NEKP-Entwurf beschreibt, dass aufgrund der Novellierung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED III) und der Anhebung des EU-weiten Gesamtziels auf 42,5 % (plus 2,5 % freiwillig) Anteil erneuerbarer Energie am Bruttoendenergieverbrauch eine Zielanpassung in Österreich notwendig ist, um den neuen europäischen Vorgaben gerecht zu werden. Das neue abgeleitete Ziel für Österreich beträgt mindestens 60 % Anteil bis 2030 anstelle der bisher gültigen 46-50 % Anteil erneuerbarer Energie (NEKP 2019). Eine Aufteilung dieses Ziels auf die Bundesländer ist derzeit nicht öffentlich verfügbar. In der Steiermark lag der Anteil erneuerbarer Energieträger im Jahr 2020 bei 32,4 % und damit ca. 10 % unter dem österreichischen

⁶ Die Ergebnisse des Transition-Szenarios, die teilweise im NIP abgebildet sind, zeigen für den Endenergieverbrauch 878 PJ für das Jahr 2030 und 724 PJ für das Jahr 2040 und beschreiben damit eine mögliche Zielerreichung der EEV-Ziele. Da der Bericht zum Transition-Szenario derzeit nicht veröffentlicht ist, kann jedoch nicht nachvollzogen werden, aufgrund welcher Wirkungsmechanismen diese Reduktion des Endenergieverbrauchs zu erwarten ist.

Durchschnitt. Ein grober Zielbereich kann mit diesem Abweichungsfaktor für die Steiermark mit 54 % bis 60 % Anteil erneuerbarer Energie für das Jahr 2030 abgeschätzt werden.⁷

Gemäß dem Erneuerbare-Ausbau-Gesetz (EAG) (BGBl. I Nr. 150/2021, 2021) ist es das Ziel Österreichs, den Anteil heimischer erneuerbarer Energieträger am Stromverbrauch bis zum Jahr 2030 auf 100 % (national, bilanziell) zu erhöhen. Dazu wird im EAG für den Zeitraum 2021 bis 2030 ein Zubau von 27 TWh an erneuerbarer Stromerzeugung in Österreich festgelegt. Aktuelle Analysen zeigen bereits einen höheren Ausbaubedarf zur Erreichung von 100 % erneuerbarer Stromversorgung im Jahr 2030 aufgrund des zu erwartenden höheren Stromverbrauchs in Österreich. Der aktuelle Entwurf des Nationalen Energie- und Klimaplan (NEKP) beschreibt zum Beispiel einen notwendigen Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung von 34 TWh von 2020 bis 2030 (WAM23-Szenario) (BMK, 2023a). Allerdings werden in diesem Szenario die Klimaziele in Österreich noch nicht vollständig erreicht, sondern es wird mit einer THG-Reduktion von minus 35 % im Non-ETS-Bereich gerechnet. Um das neue rechtlich verbindliche Ziel von minus 48 % im Non-ETS-Bereich zu erreichen, sind noch ambitioniertere Maßnahmen notwendig, die wiederum zu einem höheren Stromverbrauch durch verstärkte Elektrifizierung führen. Dies wurde kürzlich im Transition Szenario dargestellt, dessen Ergebnisse in Auszügen im Entwurf des integrierten österreichischen Netzinfrastukturplans (NIP) abgebildet sind. Darin wird dargestellt, dass bis zum Jahr 2030 (Basis 2020, Transitionszenario) zusätzliche 39 TWh an erneuerbarer Stromerzeugung notwendig sind, um 100 % des Stromverbrauchs aus erneuerbaren Energieträgern zu decken. Für die Steiermark bedeuten diese höheren Ausbauziele gemäß Transitionszenario und NIP-Entwurf eine Stromerzeugung im Jahr 2030 von 3,3 TWh aus Photovoltaik und 2,8 TWh aus Windkraft (BMK, 2023b).

Für alle in der vorliegenden Analyse berechneten Szenarien wird der Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung jedoch bottom-up berechnet, indem zunächst der Stromverbrauch in der Steiermark ermittelt wird und anschließend dieser Verbrauch durch heimische erneuerbare Stromerzeugung und Stromimporte gedeckt wird. Die Höhe der Stromimportquote der Steiermark für das Jahr 2030 wurde aus den nationalen Energiezielen für die Deckung von 100 % des österreichischen Stromverbrauchs aus erneuerbaren Energieträgern und einer Aufteilung des Ausbaus erneuerbarer Energieträger auf die Bundesländer auf Basis der jeweiligen Potenziale für die verschiedenen Energietechnologien in einer Vorstudie abgeleitet, Details siehe (AEA, 2021a). Für die Jahre 2040 und 2050 wurden separate Annahmen für die Importanteile getroffen, siehe ebenfalls (AEA, 2021a), die hier weiter verwendet werden. Die Annahmen für die Stromimportanteile und die Anteile erneuerbarer Energien in den Szenarien sind in Tabelle 6 dargestellt. Bei Verwendung der angenommenen Ausbauziele für PV und Windkraft des NIPs würde sich der Import-Anteil für 2030 deutlich verringern, dies wird ausführlicher in Kapitel 4.2.2 behandelt.

Tabelle 6: Allgemeine Annahmen für die Szenarien bezüglich Erneuerbaren-Anteil und Anteil an Stromimporten

	Erneuerbaren-Anteil	Import-Anteil
2030	80 %	20 %
2040	90 %	10 %
2050	100 %	0 %

⁷ Eine genauere Analyse müsste für jedes Bundesland sowohl die Entwicklung des Energieverbrauchs in Szenarien, die Potenziale erneuerbarer Stromerzeugungstechnologien und Wärmeerzeugungstechnologien (u. a. Biomasse, Wärmepumpen, dekarbonisierte Fernwärme und Geothermie) als auch die Anteile verschiedener Antriebstechnologien und deren Verkehrsleistung berücksichtigen.

3 Energetischer Endverbrauch

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Analysen des Endenergieverbrauchs (EEV) für die Hauptszenarien HS4, HS5 und HS6 dargestellt. Alle Hauptszenarien berücksichtigen die Auswirkungen klima- und energiepolitischer Maßnahmen zur Erreichung der jeweiligen THG-Reduktionsziele. Der Hauptunterschied zwischen den Szenarien liegt im Ziel der Klimaneutralität (siehe Kapitel 2.1). Die im Folgenden beschriebenen Maßnahmenwirkungen führen in bestimmten Sektoren und Nutzenergiekategorien entweder zu

- einer Reduktion der Nachfrage in einzelnen Teilbereichen (z. B. Fahrleistung),
- einer Steigerung der Energieeffizienz (z. B. durch Gebäudesanierung) oder
- einem Wechsel von fossilen zu erneuerbaren Energieträgern (z. B. durch Austausch von Öl- und Gaskesseln).

Der Endenergieverbrauch ist der gesamte Energieverbrauch der Endverbraucher in den Sektoren Industrie (ETS und Non-ETS), Verkehr, Haushalte, Dienstleistungen und Landwirtschaft.⁸ Er umfasst unter anderem als Energieträger Strom und Fernwärme. Strom oder Wärme, die in gasbefeuerten KWK-Anlagen für die Strom- und Fernwärmeversorgung erzeugt werden, sind im energetischen Endverbrauch als elektrische Energie und Fernwärme (ohne Transport- und Umwandlungsverluste) enthalten. Die Transportverluste müssen ebenfalls in der Aufbringung von Strom und Fernwärme berücksichtigt werden. Die in der Strom- und Fernwärmeerzeugung eingesetzten Energieträger, welche bei thermischen Kraftwerken zusätzliche Umwandlungsverluste verursachen, sind im Umwandlungssektor enthalten, der in Kapitel 4 beschrieben wird. Die Entwicklung der zugrunde gelegten Schlüsselindikatoren wird in Kapitel 6 ausführlich beschrieben.

3.1 Steiermark gesamt

Betrachtet man den gesamten EEV für die Steiermark, so zeigt sich, dass dieser trotz Wirtschaftswachstum, Bevölkerungswachstum, Komfortsteigerung und Rebound-Effekten durch starke Energieeffizienz- und Energiesparmaßnahmen reduziert werden kann. Verantwortlich dafür sind vor allem Elektrifizierungsmaßnahmen im Verkehr, Maßnahmen zur Reduktion des Straßenverkehrs bzw. des Tanktourismus und erhöhte Sanierungsraten. In der Industrie und im Dienstleistungssektor steigt der EEV langfristig trotz Energieeffizienzmaßnahmen aufgrund des Wirtschafts- und Produktionswachstums. Dieser Anstieg des EEV in der Industrie und im Dienstleistungssektor kompensiert teilweise die EEV-Einsparungen in den Sektoren Verkehr und Haushalte.

Die Entwicklung des EEV für HS4 ist in Abbildung 11, für HS5 in Abbildung 12 und für HS6 in Abbildung 13 dargestellt. In allen Szenarien zeigt sich, dass der EEV von 53 TWh im Jahr 2021 auf 46 TWh im Jahr 2030, 41 TWh im Jahr 2040 und 42 TWh im Jahr 2050 gesenkt werden kann, siehe auch Tabelle 7.

⁸ Für das Berechnungsmodell werden in der Industrie die EEV nach Energieträgern für jeden Teilsektor gemäß der Energiebilanz der Statistik Austria berechnet. Für den Verkehrssektor wird der EEV für Pkw, Lkw, LNF, Bus, Bahn, Schiff, Flugverkehr und Pipeline getrennt betrachtet. Für den Sektor Haushalte wird der EEV in den Nutzenergiekategorien (gemäß Nutzenergieanalyse der Statistik Austria) für die Analysen verwendet.

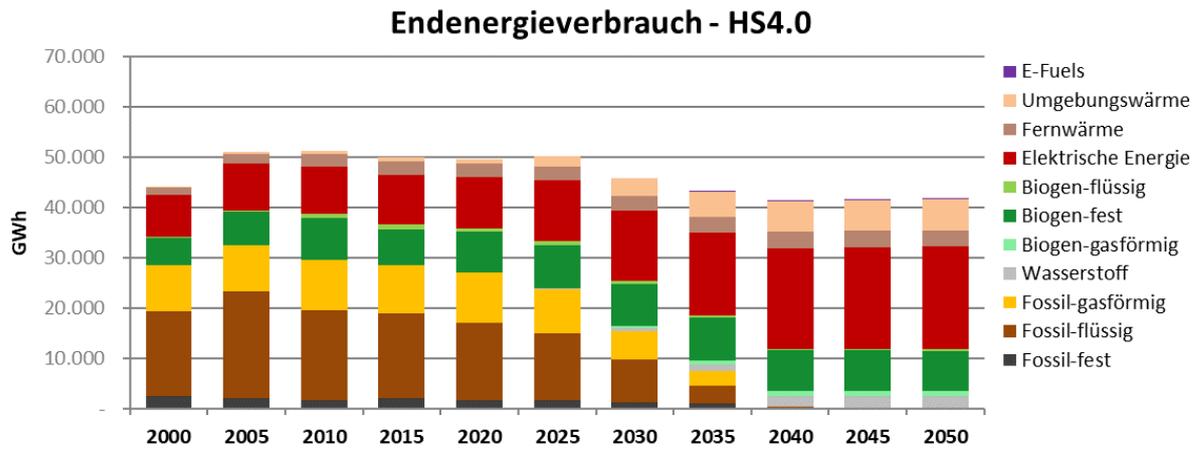


Abbildung 11: HS4 – energetischer Endverbrauch nach Energieträgern 2000–2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA

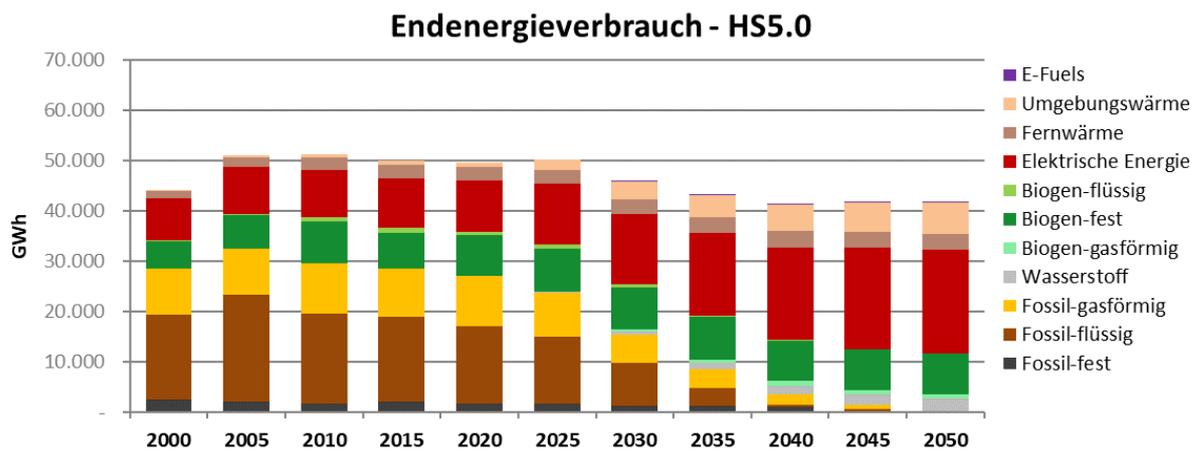


Abbildung 12: HS5 – energetischer Endverbrauch nach Energieträgern 2000–2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA

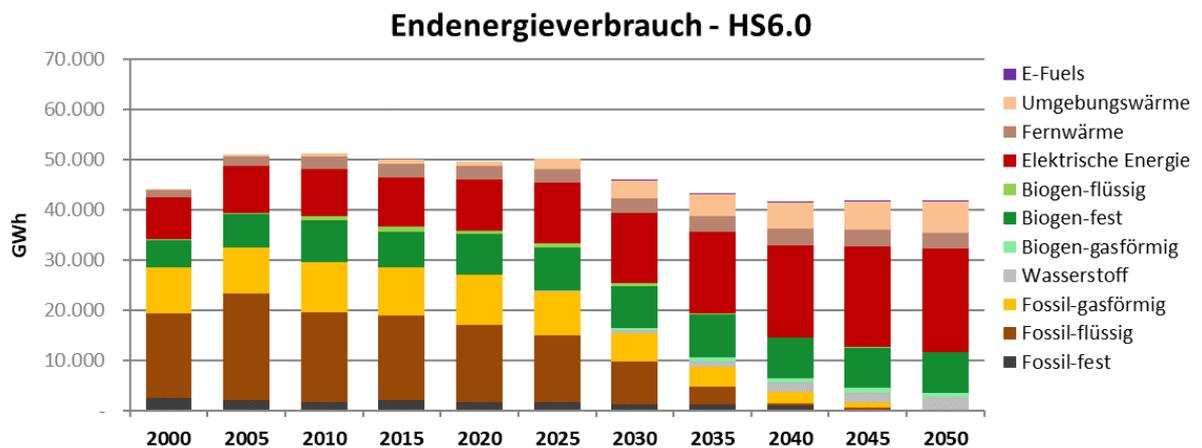


Abbildung 13: HS6 – energetischer Endverbrauch nach Energieträgern 2000–2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA

In einem Baseline-Szenario, ohne Energieeffizienzsteigerungen oder andere Reduktionen des Energieverbrauchs könnte der EEV in der Steiermark aufgrund von Bevölkerungswachstum, Wirtschaftswachstum und Komfortsteigerung bis 2050 auf rund 70 TWh ansteigen. Vergleicht man die Szenarien HS4/HS5/HS6 (die Energieeffizienzsteigerung und andere Reduktionen des Energieverbrauchs berücksichtigen) mit diesem Baseline-Szenario, so zeigt sich, dass in der Steiermark im Jahr 2050 rund 18 TWh des EEV eingespart werden können.

Die Entwicklung des Energieträger-Mixes von 2020 bis 2050 zeigt in allen Szenarien eine nahezu vollständige Substitution der fossilen Energieträger und eine massive Zunahme der Nutzung von elektrischer Energie und Umgebungswärme (Wärmepumpen und Solarthermie) sowie von Wasserstoff und Biomethan. Die Ergebnisse für diese Energieträger sind in Tabelle 7 dargestellt. Für Biomasse und Biomethan wurden Potenzialgrenzen für die Nutzung berücksichtigt, Details dazu sind in Kapitel 4.4 beschrieben.

Tabelle 7: EEV für ausgewählte Energieträger für HS4, HS5 und HS6; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA

TWh	2021	HS4			HS5			HS6		
		2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2040	2050
Fossil-fest	1,7	1,1	0,2	0,1	1,1	1,0	0,1	1,1	1,0	0,1
Fossil-flüssig	16,2	8,6	0,0	0,0	8,6	0,3	0,1	8,6	0,4	0,1
Fossil-gasförmig	10,7	5,6	0,1	0,0	5,7	2,0	0,0	5,7	2,3	0,0
Biomasse	9,1	8,5	8,2	8,0	8,5	8,1	8,0	8,5	8,0	8,0
Biogen-flüssig	0,8	0,5	0,3	0,3	0,5	0,1	0,2	0,5	0,1	0,2
Bio-Methan	-	0,4	1,0	1,0	0,4	0,9	1,0	0,4	0,9	1,0
Elektrische Energie	10,6	14,0	20,0	20,6	14,0	18,4	20,6	14,0	18,3	20,6
Fernwärme	2,7	3,0	3,3	3,0	3,0	3,3	3,0	3,0	3,3	3,0
Wasserstoff	-	0,5	2,1	2,3	0,5	1,8	2,3	0,5	1,8	2,3
E-Fuels	-	-	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1
Umgebungs-wärme	1,1	3,5	6,1	6,2	3,5	5,3	6,2	3,5	5,2	6,2
Gesamt	52,9	45,9	41,4	41,7	45,9	41,3	41,7	45,9	41,4	41,7

Die Unterschiede zwischen den Hauptszenarien sind auf die unterschiedliche Intensität bzw. Geschwindigkeit der Maßnahmenwirkungen zurückzuführen. Im Hauptszenario 4 werden sowohl der Non-ETS-Sektor als auch der ETS-Sektor bis 2040 dekarbonisiert, während dies im ETS-Sektor im Hauptszenario 5 bis 2050 dauert und im Hauptszenario 6 sowohl im Non-ETS-Sektor als auch im ETS-Sektor bis 2050 angestrebt wird. In allen Szenarien werden bereits eine Verdopplung der Sanierungsaktivitäten, ein Ausstieg aus der Nutzung fossilen Öls und Gases im Haushalts- und Dienstleistungssektor sowie viele weitere Maßnahmeneffekte gleichermaßen in die

Berechnungen einbezogen. In den folgenden Kapiteln werden die wichtigsten Szenarien nach Sektoren betrachtet und die berücksichtigten Maßnahmenwirkungen kurz beschrieben.

Die Unterschiede zu HS3, in AEA (2021b), ergeben sich zum einen aus der verwendeten Datenbasis, die im Jahr 2021 für den EEV in vielen Fällen höher lag als im Jahr 2018 und aus einzelnen Änderungen der zugrunde gelegten Entwicklungen, die in den folgenden Kapiteln im Detail beschrieben werden.

In keinem der untersuchten Szenarien können die Ziele für den Endenergieverbrauch in der Steiermark bis 2030 bzw. 2040 erreicht werden. Auch das Szenario WAM23, dessen Ergebnisse im Entwurf des NEKP (BMK, 2023a) beschrieben sind, weist für die Jahre 2030 und 2040 einen über den österreichischen Zielen liegenden EEV und damit eine hohe Zielabweichung auf. Die Ergebnisse des Transition-Szenarios, die teilweise im NIP abgebildet sind, zeigen für den Endenergieverbrauch 878 PJ für das Jahr 2030 und 724 PJ für das Jahr 2040 und beschreiben damit eine mögliche Zielerreichung der EEV-Ziele. Da der Bericht zum Transition-Szenario derzeit nicht veröffentlicht ist, kann jedoch nicht nachvollzogen werden, aufgrund welcher Wirkungsmechanismen diese Reduktion des Endenergieverbrauchs zu erwarten ist.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen den EU-Zielen der Energieeffizienzrichtlinie (EED) und den österreichischen Zielen des EEEffG besteht darin, dass für die Ziele der EED die Umgebungswärme nicht als Teil des zugrunde gelegten EEV berücksichtigt wird, während sie im EEEffG berücksichtigt wird. Dies erhöht das Ambitionsniveau der österreichischen Ziele und erschwert die Zielerreichung. Auf Basis der in diesem Bericht dargestellten Szenarien ist aus Sicht der Autoren eine Zielerreichung nach EED-Methodik (Basis EEV ohne Raumwärme) möglich, während sie nach derzeitiger EEEffG-Methodik (Basis EEV inkl. Umgebungswärme) unwahrscheinlich ist bzw. derzeit nicht nachvollzogen werden kann, wie dieses Ziel plausibel erreicht werden soll.

3.2 Industrie

Der EEV der Industrie steigt in allen Hauptszenarien (siehe Abbildung 14, Abbildung 15 und Abbildung 16). Dies ist darauf zurückzuführen, dass von einem Wirtschaftswachstum ausgegangen wird, dessen verbrauchssteigernde Effekte größer sind als die berücksichtigten Energieeffizienzsteigerungen. Eine wichtige Annahme ist dabei, dass im Bereich des Emissionshandels Maßnahmen im Inland den Zukauf von Zertifikaten von Unternehmen aus anderen EU-Mitgliedstaaten weitgehend ersetzen. Grundsätzlich wurde bei der Analyse des EEV nicht zwischen ETS- und Non-ETS-Sektoren unterschieden. Als Richtwert kann davon ausgegangen werden, dass 10 % der Emissionen und ca. 15 % des EEV der Industrie auf den Non-ETS-Sektor und die restlichen 90 % der Emissionen und 85 % des EEV auf den ETS-Sektor entfallen.

In allen Szenarien geht der EEV zwischen 2021 und 2030 zunächst leicht zurück, bevor er nach 2031 wieder ansteigt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Modell Energieeffizienzmaßnahmen bis 2030 vorgezogen werden, nach 2030 jedoch die Effekte des Wirtschafts- und damit Produktionswachstums die zusätzlichen Energieeffizienzeffekte überwiegen. Die Annahmen zur technologischen Entwicklung basieren größtenteils auf der Studie IndustRIES (AIT, 2019) und sind im Anhang (Kapitel 8) detailliert beschrieben. Für die Berechnung des EEV in der Industrie wurden grundsätzlich folgende technologische Veränderungen berücksichtigt:

- Verbesserung der Energieeffizienz von Motoren
- Brennstoffumstellung auf erneuerbare Energieträger (biogen/elektrisch/Wasserstoff)
- Einsatz von Wärmepumpen für Niedertemperaturprozesse
- Ersatz fossiler Standmotoren durch Elektromotoren
- Dampferzeugung und Industrieöfen (Trocknung) mit Wärmepumpen

- Effizienzsteigerung von Prozessen
- Hochtemperaturanwendungen vor allem durch biogene Brennstoffe, brennbare Abfälle und Wasserstoff (z. B. Zementherstellung)
- Eisen- und Stahlerzeugung Elektrolichtbogenöfen, Hochtemperaturprozesse mittels Wasserstoff und Biomethan, Eisenschwammimporte (dadurch keine Direktreduktion in der Steiermark)

Für den Eisen- und Stahlsektor wurde in allen Szenarien die aktuelle Strategie der Voestalpine berücksichtigt, die die Inbetriebnahme eines Elektrolichtbogenofens (EAF) in Donauwitz im 2. Quartal 2027 vorsieht. Dieser EAF führt laut Voestalpine zu einer Reduktion von Kohle und Koks um 300.000 t/a und zu einer Erhöhung des Strombedarfs um 450 GWh/a⁹. Dies wurde gesondert berücksichtigt, da diese Einzelmaßnahme zu einer sehr hohen CO₂-Reduktion von ca. 800.000 t CO₂ pro Jahr führt, was einer Reduktion von 6 % der gesamten steirischen CO₂-Emissionen entspricht. Teil der Strategie der Voestalpine ist auch der Import von Eisenschwamm (HBI), für den keine direkte Reduktion in der Steiermark notwendig ist.¹⁰ Nach 2030 wird in den Szenarien davon ausgegangen, dass auch die verbleibende Eisen- und Stahlproduktion entsprechend dieser Strategie dekarbonisiert wird. Der Zeitpunkt der Umstellung ist abhängig vom ETS-Klimaneutralitätsziel, für HS4 wurde das Jahr 2037 angenommen, für HS5 und HS6 das Jahr 2042.

Insgesamt führt diese Dekarbonisierung in den Hauptszenarien zu einer stärkeren Elektrifizierung, einem verstärkten Einsatz von Wärmepumpen und der Nutzung von Wasserstoff. Die Unterschiede im EEV der Industrie zwischen den Hauptszenarien sind gering und beziehen sich auf den Zeitraum zwischen 2031 und 2049 und werden in Tabelle 8 beispielhaft für das Jahr 2040 beschrieben. In den Hauptszenarien wurde mit eingeschränkten Biomasse- und Biomethanpotenzialen in der Steiermark gerechnet, was zu einer Begrenzung des langfristigen Biomethanverbrauchs (auf 0,4 TWh bzw. 0,5 TWh) und zu einem erhöhten Wasserstoffbedarf in der Industrie führt, der in Kapitel 4.4 näher erläutert wird.

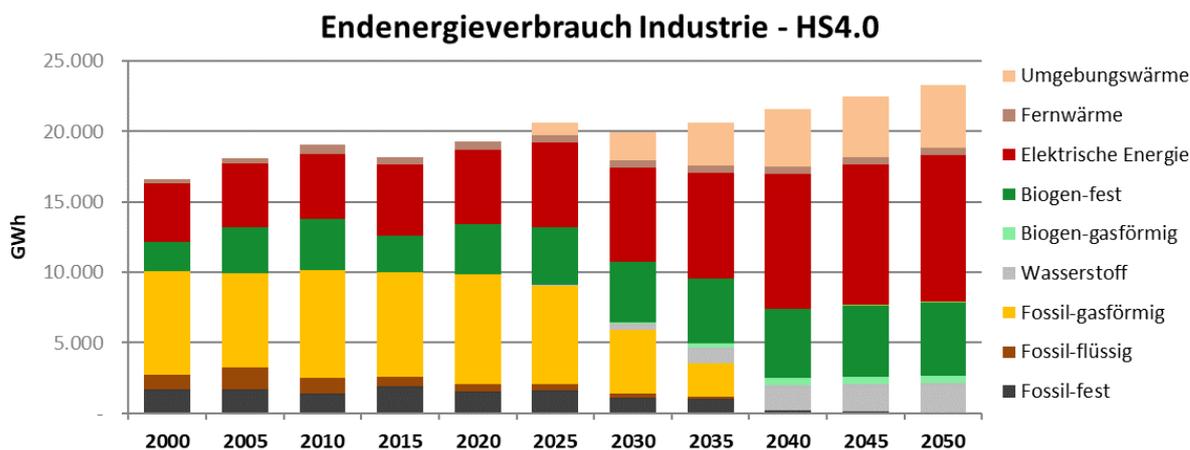


Abbildung 14: HS4 – Entwicklung Endenergieverbrauch – Industrie 2000-2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA

⁹ Diese Reduktion von Kohle und Koks ist nur teilweise im EEV der Industrie abgebildet, ein größerer Teil ist im Umwandlungssektor enthalten. Gleichzeitig wurde der Strombedarf der EAF im Endenergieverbrauch der Industrie bilanziert.

¹⁰ Die Auswirkungen der Eisenschwammimporte auf den steirischen Bergbau wurden in den Szenarien nicht berücksichtigt, da nicht zwischen dem Bergbau am Erzberg und dem übrigen Bergbau in der Steiermark unterschieden werden konnte.

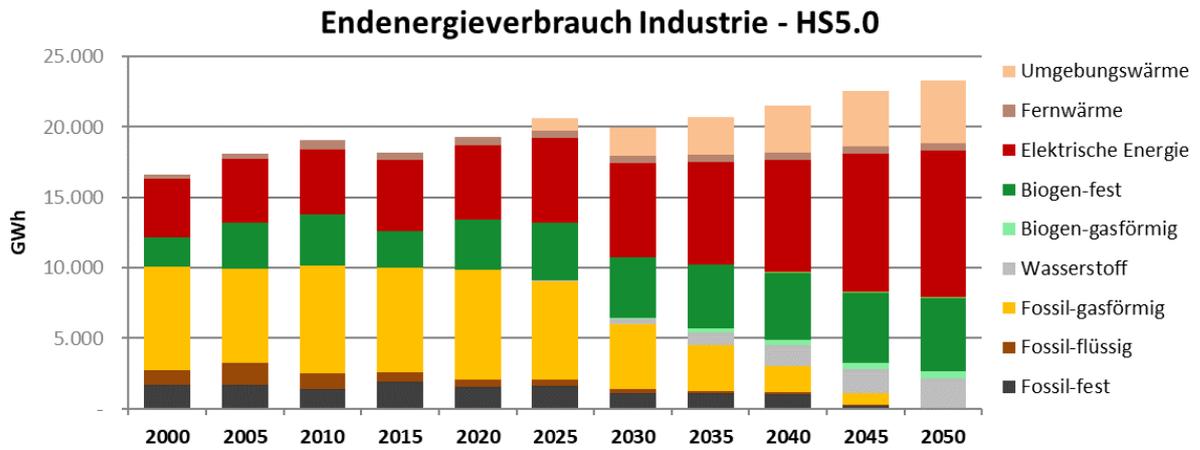


Abbildung 15: HS5 – Entwicklung Endenergieverbrauch – Industrie 2000-2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA

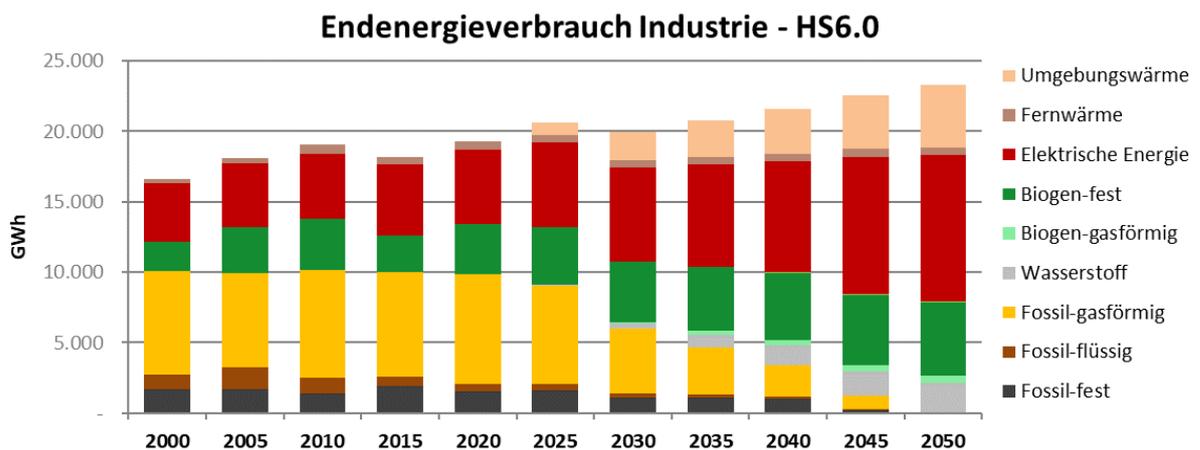


Abbildung 16: HS6 – Entwicklung Endenergieverbrauch – Industrie 2000-2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA

Tabelle 8: EEV der Industrie für ausgewählte Energieträger für HS4, HS5 und HS6; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA

TWh	2021	HS4			HS5			HS6		
		2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2040	2050
Elektrische Energie	5,4	6,7	9,6	10,3	6,7	8,0	10,3	6,7	7,9	10,3
Wasserstoff	-	0,4	1,8	2,0	0,4	1,5	2,0	0,4	1,5	2,0
Biomasse	4,0	4,3	4,9	5,2	4,3	4,8	5,2	4,3	4,7	5,2
Bio-Methan	-	0,1	0,5	0,5	0,1	0,4	0,5	0,1	0,4	0,5
Gesamt	20,7	19,9	21,6	23,3	19,9	21,5	23,3	19,9	21,6	23,3

Im Vergleich zum in AEA (2021b) beschriebenen HS3 ergeben sich in den hier dargestellten Hauptszenarien höhere Energieverbräuche. Dies hat zwei Gründe: Zum einen ist die Ausgangsbasis für den EEV der Industrie im Jahr 2021 höher als im Jahr 2018 (aufgrund des Produktions- und Wirtschaftswachstums), zum anderen wurden in den neuen Szenarien die Effekte des Elektrolichtbogenofens im EEV der Industrie berücksichtigt (Erklärung siehe Fußnote 9).

3.3 Verkehr

Der Verkehrssektor kann durch eine Reduktion bzw. Stabilisierung des Straßenverkehrs durch eine verstärkte Nutzung des öffentlichen Personenverkehrs und des Güterverkehrs auf der Schiene und mittel- bis langfristig durch Elektrifizierung und Wasserstoffnutzung dekarbonisiert werden. Durch diese Umstellung und den höheren Wirkungsgrad von Elektromotoren verglichen mit Verbrennungsmotoren ergeben sich hohe Energieeffizienzgewinne. Im Pkw-Verkehr und bei leichten Nutzfahrzeugen gibt es bereits heute einen deutlichen Trend zu batterieelektrischen Antrieben. Hier wird davon ausgegangen, dass langfristig die Dekarbonisierung überwiegend durch batterieelektrische Fahrzeuge erfolgen wird. Für die Dekarbonisierung von Bussen und Lkw werden international und national noch mehrere Optionen diskutiert. Mögliche Optionen sind grüner Wasserstoff, batterieelektrisch oder Oberleitung. Wobei auch hier der aktuelle Trend, aus Verkaufszahlen, vergebenen Förderungen, Ankündigungen von Herstellern, und neutrale wissenschaftliche Analysen über zukünftige Kosten der Fahrzeuge, sehr deutlich in Richtung batterieelektrische Busse und Lkw geht. Bei der Bahn wird in allen Szenarien eine weitere Elektrifizierung mittels Oberleitung oder Batteriezug berücksichtigt, und Wasserstoff-Züge nicht inkludiert.

Auf internationaler, nationaler und Länderebene gibt es derzeit eine Reihe von unterschiedlichen Zielsetzungen zur Dekarbonisierung des Verkehrs in der EU Clean Vehicle Directive (EU, 2019), dem Aktionsplan für nachhaltige Beschaffung, den CO₂-Emissionsstandards der EU (EU, 2023c), dem nationalen Energie- und Klimaplan (BMNT, 2019b), dem Mobilitätsmasterplan Österreich (BMK, 2021) und der steirischen Elektromobilitätsstrategie (Land Steiermark, 2016). Aus dem Mobilitätsmasterplan (BMK, 2021) stammen die in Tabelle 9 dargestellten Ziele für Neuzulassungen und Bestand emissionsfreier Fahrzeuge. Die darin enthaltenen Ziele z. B., für Pkw das Ziel von 100 % emissionsfreien Neuzulassungen im Jahr 2030 mit einer entsprechenden Hochlaufkurve, wird in der vorliegenden Analyse übernommen. Daraus ergibt sich für das Jahr 2030 ein Bestand an Nullemissionsfahrzeugen von 35 %, was ca. 320.000 E-Pkw in der Steiermark entspricht.¹¹ Eine wesentliche Voraussetzung für die Elektrifizierung des Verkehrs ist die Schaffung der notwendigen Ladeinfrastruktur und der entsprechenden Prozesse für den Aufbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur.

Die angenommene Verkehrsentwicklung ist ein wesentlicher Parameter für die Modellierung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor. Im Mobilitätsmasterplan (MMP) werden für Österreich Annahmen/Ziele formuliert, die in den folgenden zwei Grafiken dargestellt sind. Allerdings ist auch im Verkehrssektor mit gegenläufigen Effekten auf den Energieverbrauch durch Bevölkerungswachstum, Wirtschaftswachstum und Rebound-Effekten zu rechnen, die entsprechend kompensiert werden müssen, um die hier beschriebenen Zielpfade zu erreichen.

¹¹ Der Bestand an Pkw (Privat- und Firmen-Pkw) nahm in der Steiermark von 2010 bis 2020 um 15 % zu (von 2000 bis 2010 sogar um 21%). In den Szenarien wurde eine weitere Zunahme des Pkw-Bestandes, anhand von Analysen historischer Trends, um 12 % von 2020 bis 2030, um 11 % von 2030 bis 2040 und um 10 % von 2040 bis 2050 hinterlegt.

Tabelle 9: Ziele für Neuzulassung und Bestand an emissionsfreien Fahrzeugen; Quelle: (BMK, 2021)

	Neuzulassung	Bestand
	100 % Emissionsfrei	100 % Klimaneutral
Pkw	2030	2040
LNF	2030	2040
Lkw <18t	2030	2040
Busse	2032	2040
Lkw >18t	2035	2040
Bahn		2040
Flugzeuge		2040

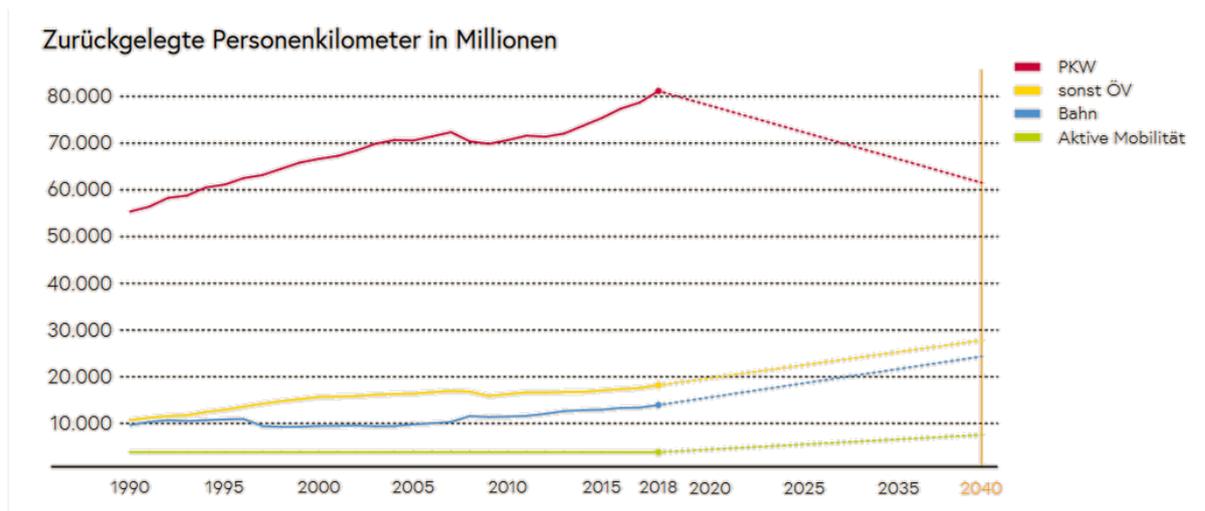


Abbildung 17: Ziele für die Entwicklung an zurückgelegten Personenkilometer in Millionen; Quelle: (BMK, 2021)

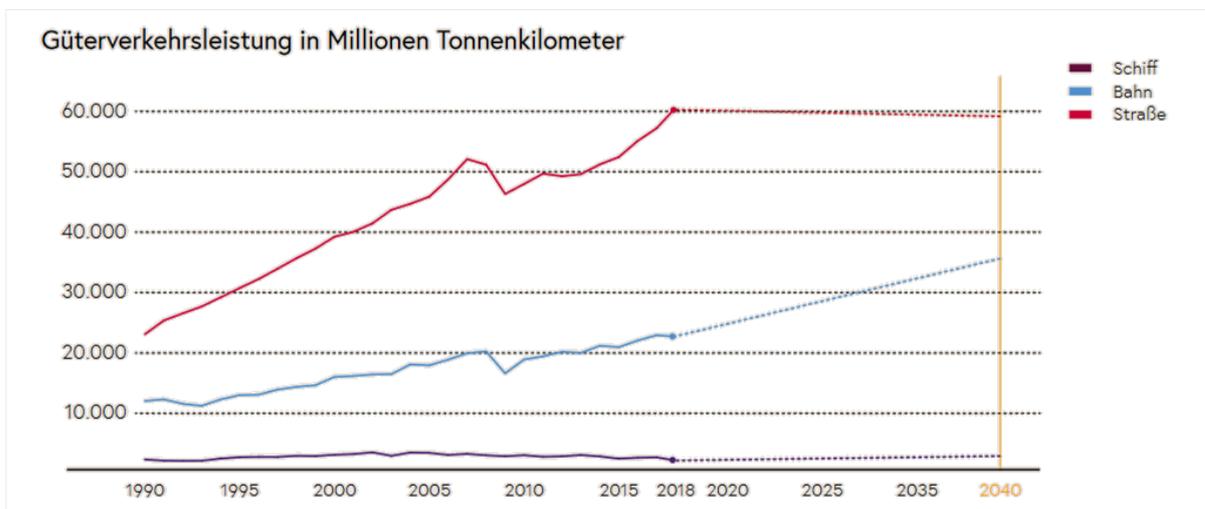


Abbildung 18: Ziele für die Entwicklung an Güterverkehrsleistung in Millionen Tonnenkilometer; Quelle: (BMK, 2021)

Für die Steiermark werden diese Annahmen für die Entwicklung, gemäß MMP, übernommen:

- Abnahme des Pkw-Verkehrs bis 2030 um ca. 13 %, bis 2040 um ca. 25 % (Basis 2018)
- Zunahme des Schienenpersonenverkehrs bis 2030 um ca. 50 %, bis 2040 um ca. 80 % (Basis 2018)
- Zunahme des sonstigen-ÖV-Verkehrs bis 2030 um ca. 25 %, bis 2040 um ca. 50 % (Basis 2018)
- Stabilisierung des Güterverkehrs auf der Straße (Basis 2018)
- Zunahme des Schienengüterverkehrs um ca. 50 % (Basis 2018)

Die Aufteilung zwischen batterieelektrischen Antrieben und Wasserstoffantrieben wird wie in Tabelle 10 angenommen. Ein möglicher Einsatz von E-Fuels in Pkw wird in Varianten separat untersucht (siehe Kapitel 4.5). In den Hauptszenarien wird noch ohne E-Fuels gerechnet. Der mögliche Einsatz von Biomasse-basierten (Biofuels) oder synthetischen Kraftstoffen (E-Fuels) für Arbeitsmaschinen oder Einsatzfahrzeuge wird in der vorliegenden Analyse nicht berücksichtigt.

Tabelle 10: Annahmen für Antriebsmix der emissionsfreien Fahrzeuge bezogen auf die Anzahl an Fahrzeugen; Quelle: Besprechungen mit Land Steiermark

Annahmen	HS4 / HS5 / HS6
Pkw	98 % E-Pkw, 2 % H2-Pkw
LNF (leichte Nutzfahrzeuge)	98 % E-LNF, 2 % H2-LNF
Busse Stadt	95 % E-Bus, 5 % H2-Bus
Busse Land	60 % E-Bus, 40 % H2-Bus
Lkw	95 % E-Lkw, 5 % H2-Lkw
Bahn	100 % elektrisch

Neben den Neuzulassungen und Bestandszahlen, der Verkehrsleistung und den Annahmen zum Antriebsmix werden folgende Maßnahmeneffekte im Modell berücksichtigt¹²:

- Reduktion des Kraftstoffexports im Tank durch Erhöhung der Mineralölsteuer bzw. CO₂-Bepreisung.
- Tempolimit für fossile Pkw und
- City-Maut

Die Höhe der Mineralölsteuer auf Benzin und Diesel liegt in Österreich unter den vergleichbaren Sätzen vieler Nachbarländer. Dies hat zur Folge, dass auf Transitrouten und in grenznahen Gebieten vermehrt Tanktourismus (Treibstoff in Österreich getankt und im Fahrzeugtank ins Ausland exportiert wird) vorkommt. Nach internationalen Bilanzierungsregeln werden die durch diesen Treibstoff verursachten Treibhausgasemissionen jedoch zur Gänze in Österreich bilanziert. In der Steiermark verursacht dieser Treibstoffexport im Tank ca. 18 % der THG-Emissionen des Verkehrssektors, laut Berechnungen in der Bundesländer Luftschadstoff-Inventur (UBA, 2022). Eine Erhöhung der Mineralölsteuer bzw. der CO₂-Besteuerung führt zu einer Reduktion dieser Treibhausgasemissionen. Da dies zur Erreichung der oben (in Kapitel 2.1.4)) beschriebenen THG-Zielpfade in der Steiermark notwendig ist, wird dies zusätzlich im Modell berücksichtigt.

¹² Eine detaillierte Ausführung bzgl. der möglichen Effekte einer Anhebung der Besteuerung auf Diesel und Benzin, der Geschwindigkeitsbegrenzung für fossile Pkw und von Citymaturen kann zwei Studien des Umweltbundesamts entnommen werden: Sachstandsbericht Mobilität (UBA, 2018) und Transition Mobility 2040 (UBA, 2022)

Eine Anpassung der Höchstgeschwindigkeit für Pkw und LNF auf Autobahnen und Autostraßen auf 100 km/h, mit Ausnahme von Nullemissionsfahrzeugen, kann laut (UBA, 2018) zu einer Reduktion der österreichischen THG-Emissionen im Pkw-Verkehr um 4,6 % führen. Dies wurde vereinfacht auch für die Steiermark im Modell auf Ebene des Pkw-Treibstoffverbrauchs berücksichtigt. Zusätzlich wurde der Effekt einer Citymaut (Cordon Charge) in Graz für Pkw in Höhe von 2,3 % Reduktion des Pkw-Verkehrs berücksichtigt (Annahmen siehe (UBA, 2018)).

Für den Luftverkehr wird der Einsatz von Sustainable Aviation Fuels (SAF) (inkl. E-Fuel-Anteil) für HS4 gemäß Masterplan Mobilität (100 % klimaneutraler Luftverkehr bis 2040) berücksichtigt. HS5 und HS6 basieren auf dem aktuellen ReFuelEU Aviation Vorschlag der Europäischen Kommission (Eurocontrol, 2021) (EASA, 2023). Dieser Vorschlag geht von verbindlichen Mindestmengen an SAF und E-Fuels von 2025 bis 2050 aus. Diese machen im Jahr 2050 insgesamt 63 % des Flugtreibstoffverbrauchs aus. In HS5 und HS6 verbleiben somit im Jahr 2050 noch 37 % des fossilen Flugkraftstoffeinsatzes, während dieser in HS4 durch die Substitution mit SAFs bereits bis 2040 auf 0 % reduziert wird.

Die Ergebnisse der Hauptszenarien sind in Abbildung 19, Abbildung 20 und Abbildung 21 sowie in Tabelle 11 dargestellt. In allen Szenarien sinkt der EEV im Verkehr deutlich bis 2040. Die Effizienzsteigerungen sowie die Umstellung von fossilen Energieträgern auf erneuerbaren Strom und Wasserstoff zur Dekarbonisierung des Verkehrs sind in den Szenarien sehr deutlich zu erkennen. Die Szenarien unterscheiden sich, wie oben beschrieben, nur in der Dekarbonisierung des Luftverkehrs.

Tabelle 11: EEV des Verkehrs für ausgewählte Energieträger für HS4, HS5 und HS6; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA

TWh	2021	HS4			HS5			HS6		
		2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2040	2050
Fossil-flüssig	12,7	7,8	0,0	0,0	7,7	0,2	0,1	7,7	0,2	0,1
Biogen-flüssig	0,8	0,5	0,2	0,2	0,6	0,1	0,1	0,6	0,1	0,1
Elektrische Energie	0,4	2,6	5,6	5,4	2,6	5,6	5,4	2,6	5,6	5,4
Wasserstoff	-	0,1	0,3	0,3	0,1	0,3	0,3	0,1	0,3	0,3
E-Fuels	-	-	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1
Gesamt	14,6	11,2	6,3	6,1	11,2	6,3	6,1	11,2	6,3	6,1

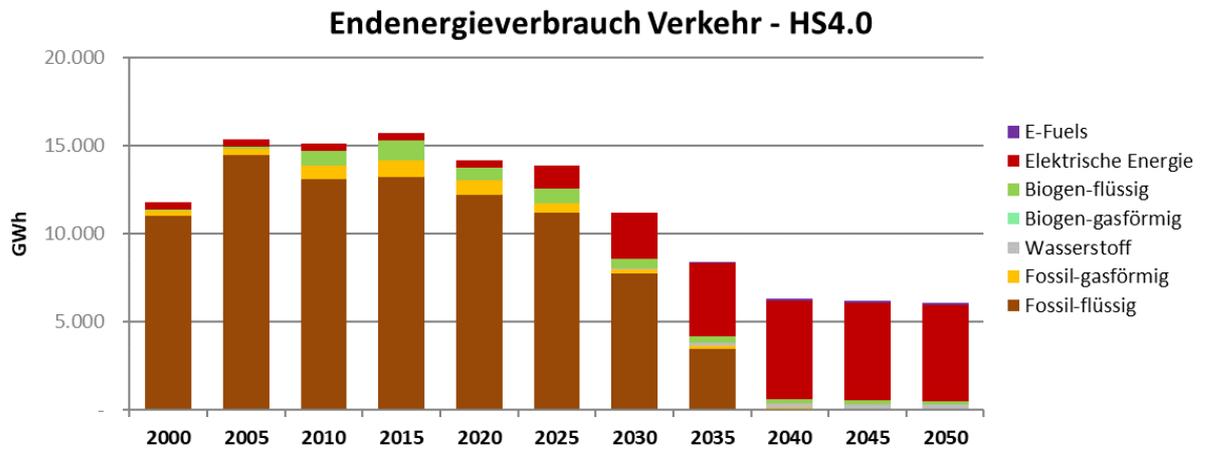


Abbildung 19: HS4 – Entwicklung Endenergieverbrauch – Verkehr 2000-2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA

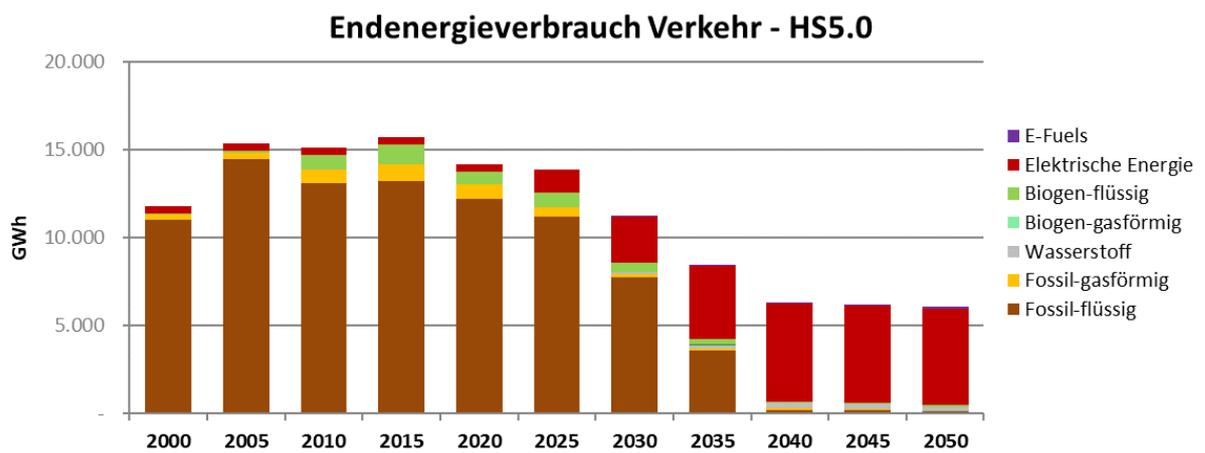


Abbildung 20: HS5 – Entwicklung Endenergieverbrauch – Verkehr 2000-2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA

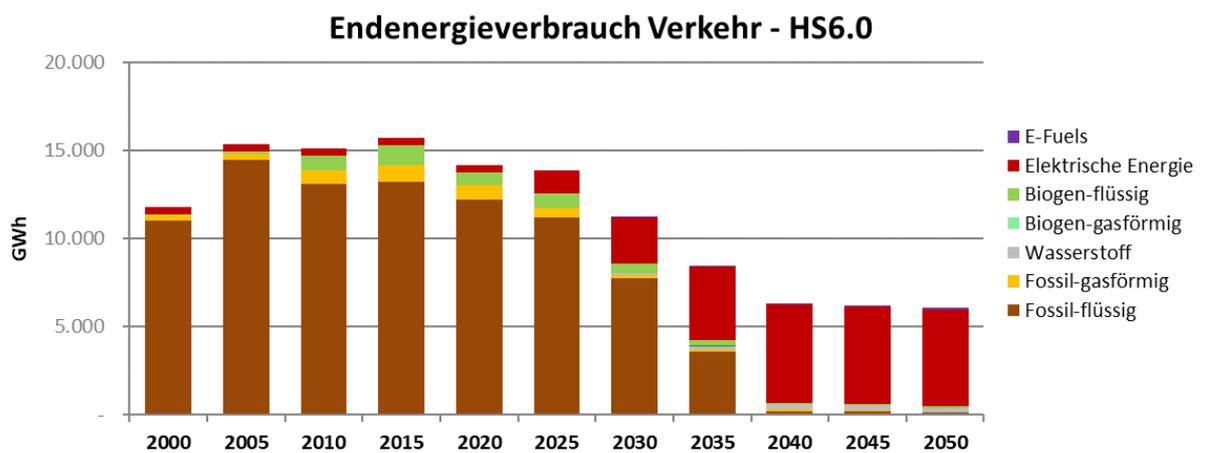


Abbildung 21: HS6 – Entwicklung Endenergieverbrauch – Verkehr 2000-2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA

3.4 Haushalte

Im Haushaltssektor werden in allen Hauptszenarien u. a. verstärkte Sanierungsaktivitäten, Bevölkerungswachstum, Stabilisierung des Wohnflächenwachstums und der Ausstieg aus fossilen Energieträgern berücksichtigt. Abbildung 22 zeigt die Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Haushaltssektor für alle Szenarien, da in den Szenarien die gleichen Maßnahmeneffekte berücksichtigt wurden. Durch die Sanierungsaktivitäten und die Stabilisierung der Wohnfläche pro Person sinkt der EEV kontinuierlich. Er beträgt im Jahr 2021 13,4 TWh und reduziert sich in den Szenarien auf 8,9 TWh im Jahr 2050. In den Szenarien wird angenommen, dass die Sanierungsrate von derzeit ca. 0,8 % auf 1,5 % verdoppelt werden kann.¹³ Den Sanierungsaktivitäten stehen eine wachsende Bevölkerung und ein leicht steigender Wohnflächenbedarf gegenüber.

Wichtige Trends sind die Zunahme des Wohnkomforts und die Abnahme der durchschnittlichen Personenzahl pro Haushalt. Der Trend zu steigendem Wohnkomfort wurde durch die Entwicklung der durchschnittlichen Wohnnutzfläche pro Person in der Steiermark berücksichtigt. In den Hauptszenarien wurde die Entwicklung jedoch auf 50 m²/Person begrenzt (derzeit ca. 48 m²/Person).¹⁴ Dazu wurde angenommen, dass das Energiesparen durch bewusstseinsbildende Maßnahmen und eine Begrenzung der konditionierten Wohnfläche durch Maßnahmen auf Landesebene unterstützt werden.

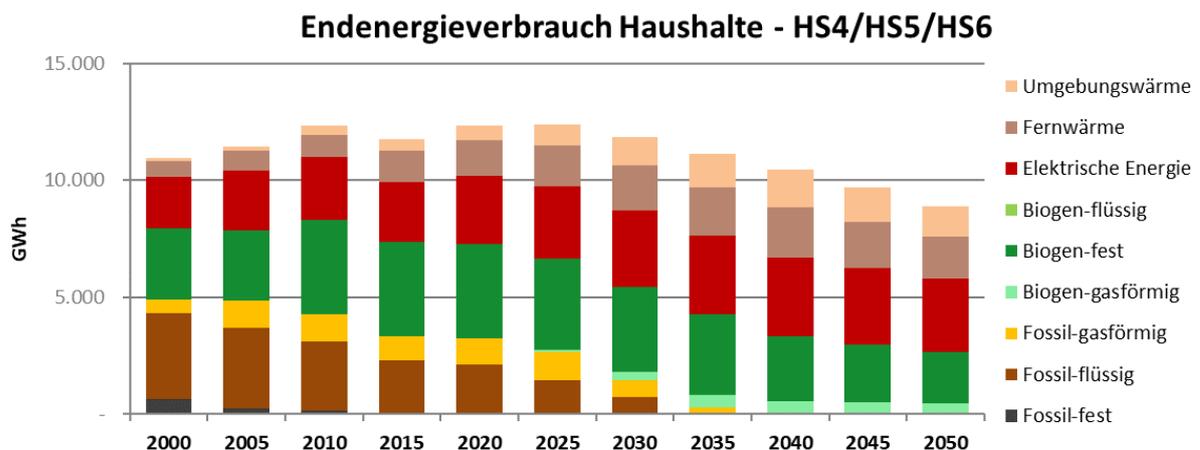


Abbildung 22: HS4 / HS5 / HS6– Entwicklung Endenergieverbrauch – Haushalte 2000-2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA

Der steirische Ausstieg aus fossilen Öl- und Gasheizungen bis 2040 gemäß Regierungsvorlage zum Erneuerbare-Wärme-Gesetz (EWG) (BR AT, 2022) und zum Ölkessel-Einbauverbotsgesetz (ÖKEVG) 2019 führt zu einem verstärkten Einsatz erneuerbarer Energieträger. Bis 2035 wird im Haushaltsbereich gänzlich auf fossiles Öl verzichtet. Ebenso wird der Ausstieg aus fossilem Gas im Haushaltsbereich bis 2040 eingestellt. Öl und Gas werden teilweise durch Wärmepumpen, Solarthermie, Fernwärme und Biomasse ersetzt. Für den Gebäudebestand, in dem eine Umstellung auf die oben genannten erneuerbaren Energieträger technisch nicht möglich ist, werden geringe Mengen an Biomethan (0,5 TWh in 2040/2050, auf Basis einer politischen Einigung

¹³ Die im Modell hinterlegte Definition der Sanierungsrate entspricht dem Vorschlag von UBA und IIBW (UBA und IIBW, 2020). Die Effekte der Sanierung auf den Energieverbrauch wurden u. a. auf Basis einer Analyse der Sanierungsaktivitäten der Wohnbauförderung in der Steiermark und der Studie von UBA und IIBW durchgeführt.

¹⁴ Durch die Beschränkung der Wohnfläche pro Person muss für jeden Quadratmeter welcher neu gebaut wird ein Quadratmeter von Bestandsgebäude abgerissen werden. Auch dies führt durch die höheren Standards für Neubau bezüglich Energieverbrauch zu einer effektiven Reduktion des Endenergieverbrauchs.

in der Steiermark) vorgesehen. Umgebungswärme umfasst sowohl Umgebungswärme aus Wärmepumpen als auch den Beitrag von Solarthermieanlagen. Zusätzlich werden im Haushaltssektor Verbesserungen der Energieintensität von Haushaltsgeräten berücksichtigt.

Tabelle 12: Ausgewählte Ergebnisse HS4, HS5 und HS6 – EEV Haushalte; Quelle: Berechnungen AEA

TWh	2021	HS4, HS5 und HS6		
		2030	2040	2050
Fossil-flüssig	2,2	0,7	-	-
Fossil-gasförmig	1,3	0,8	0,0	0,0
Biomasse	4,5	3,6	2,8	2,2
Biomethan	-	0,3	0,5	0,5
Elektrische Energie	3,1	3,3	3,4	3,2
Fernwärme	1,6	1,9	2,2	1,8
Umgebungswärme	0,7	1,2	1,6	1,3
Gesamt	13,4	11,8	10,5	8,9

3.5 Dienstleistungen

Im Dienstleistungssektor sinkt der Endenergieverbrauch in beiden Hauptszenarien von 3,1 TWh im Jahr 2021 auf 2,5 TWh im Jahr 2030 und steigt danach wieder auf 3,0 TWh (2050) an. Dieser Anstieg resultiert aus der Annahme eines anhaltenden Wirtschaftswachstums im Dienstleistungssektor, während mögliche Energieeffizienzsteigerungen begrenzt sind. Der Ausstieg aus der Nutzung von fossilem Öl und Gas spielt auch in diesem Sektor - mit den gleichen Zeithorizonten wie im Haushaltssektor - eine wichtige Rolle. Abbildung 23 zeigt die Ergebnisse für die Hauptszenarien, die sich in diesem Sektor nicht unterscheiden, da in allen Szenarien die gleichen Entwicklungen berücksichtigt werden.

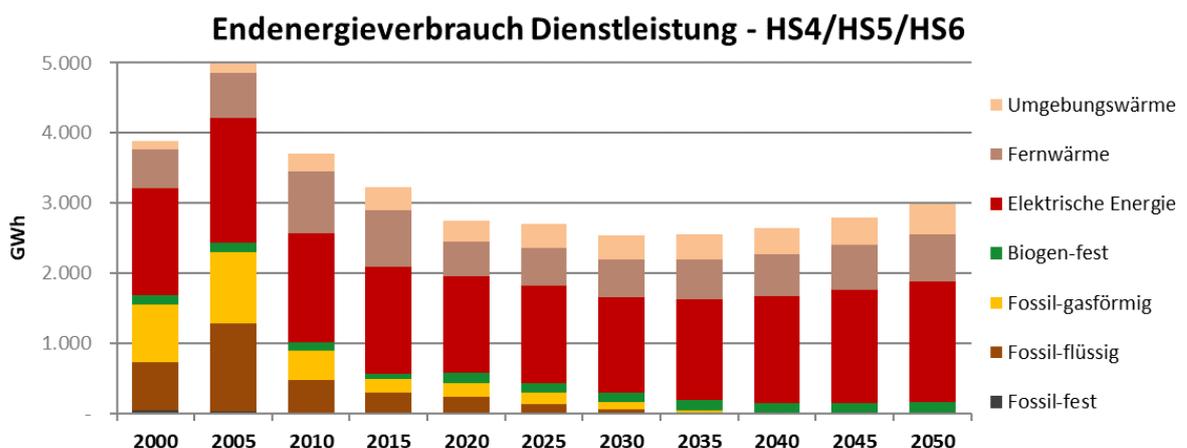


Abbildung 23: HS4 / HS5 / HS6 – Entwicklung Endenergieverbrauch – Dienstleistungen 2000-2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA

Tabelle 13: Ausgewählte Ergebnisse HS4 / HS5 / HS6 – EEV Dienstleistungen; Quelle: Berechnungen AEA

TWh	2021	HS4, HS5 und HS6		
		2030	2040	2050
Fossil-flüssig	0,3	0,1	-	-
Fossil-gasförmig	0,2	0,1	-	-
Biomasse	0,2	0,1	0,1	0,2
Elektrische Energie	1,5	1,4	1,5	1,7
Fernwärme	0,6	0,5	0,6	0,7
Umgebungswärme	0,3	0,3	0,4	0,4
Gesamt	3,1	2,5	2,7	3,0

3.6 Landwirtschaft

Im Landwirtschaftssektor kommt es in den Hauptszenarien zu einer Reduktion des EEV. Die Szenarien gehen gleichermaßen davon aus, dass fossile Kraftstoffe für land- und forstwirtschaftliche Arbeitsmaschinen durch biogene Anteile (flüssig und gasförmig) sowie Wasserstoff ersetzt werden. Insgesamt reduziert sich dadurch der EEV von 1,2 TWh (2021) auf 0,7 TWh (2050). Durch den enthaltenen Effekt des Ausstiegs aus fossilen Brenn- und Kraftstoffen reduzieren sich die Mineralölprodukte im EEV von 0,4 TWh (2021) bis 2050 fast vollständig. Die Szenarien berücksichtigen alle die gleichen Entwicklungen für den Sektor Landwirtschaft und werden daher hier gemeinsam dargestellt.

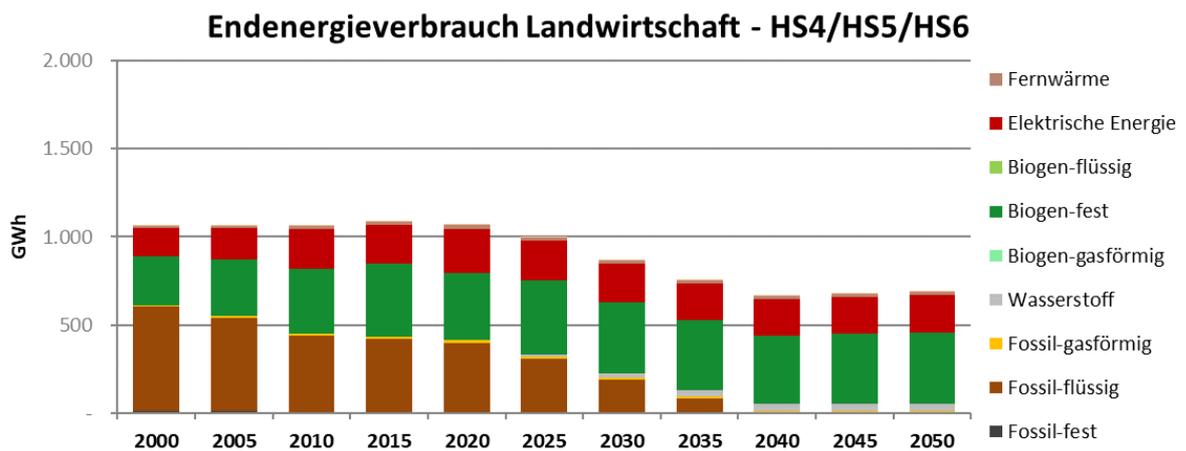


Abbildung 24: HS4 / HS5 / HS6 – Entwicklung Endenergieverbrauch – Landwirtschaft 2000-2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA

Tabelle 14: Ausgewählte Ergebnisse HS4 / HS5 / HS6 – EEV Landwirtschaft; Quelle: Berechnungen AEA

TWh	2021	HS4, HS5 und HS6		
		2030	2040	2050
Fossil-flüssig	0,4	0,2	-	-
Biomasse	0,4	0,4	0,4	0,4
Elektrische Energie	0,3	0,2	0,2	0,2
Gesamt	1,2	0,9	0,7	0,7

4 Energieaufbringung

In diesem Kapitel wird die Energieaufbringung von Strom und Fernwärme sowie die energetische Nutzung von Biomasse, Biomethan, Wasserstoff und E-Fuels in der Steiermark für die Jahre 2030, 2040 und 2050 in verschiedenen Szenarien dargestellt. Die Energiebereitstellung muss insgesamt den Bruttoendenergieverbrauch (BEEV) für Strom und Fernwärme sowie den Bruttoinlandsverbrauch für Wasserstoff und E-Fuels decken.

Für Strom und Fernwärme umfasst der Bruttoendenergieverbrauch neben dem Endenergieverbrauch, der der Energie entspricht, die letztendlich beim Endkunden ankommt, noch zwei weitere Energiemengen. Zum einem sind dies der Eigenverbrauch der Erzeugungsanlagen, sowie die Übertragungs- und Leitungsverluste, die beim Transport zum Endkunden entstehen. Nicht enthalten sind jedoch die Umwandlungsverluste, die bei der Erzeugung von Strom und Fernwärme entstehen. Für die Erzeugung von Biomethan, Wasserstoff und E-Fuels wird jedoch auch elektrische Energie und/oder Wärme eingesetzt, bei deren Erzeugung Umwandlungsverluste von Strom und Wärme auftreten, welche in den folgenden Analysen inkludiert sind. Für Wasserstoff und E-Fuels wird daher der Bruttoinlandsverbrauch (BIV) einschließlich Umwandlungsverlusten berücksichtigt, um den zugrundeliegenden Strombedarf zu berechnen.

Sowohl der Bruttoendenergieverbrauch als auch der Bruttoinlandsverbrauch müssen insgesamt durch Energieerzeugung im Inland und durch Importe in die Steiermark gedeckt werden.

4.1 Szenario-Varianten

Es werden unterschiedliche Szenario-Varianten gerechnet, in denen Änderungen der grundsätzlichen Ziele bzw. Annahmen für Wasserstoff- und E-Fuels-Importe, Stromerzeugung, und E-Fuels-Einsatz im Verkehr analysiert werden. Ausgehend von den Hauptszenarien werden in den ersten drei Varianten die abgestimmten Annahmen über das Ausmaß der möglichen Importe von Wasserstoff und E-Fuels variiert, Annahmen über die Importanteile siehe Tabelle 15. Diese Variationen führen zu großen Unterschieden in der notwendigen Wasserstoff- und E-Fuel-Produktion in der Steiermark und damit auch in der notwendigen Stromerzeugung in der Steiermark. In weiteren Varianten wird eine unterschiedliche Entwicklung der Windkraftherzeugung angenommen, Annahmen siehe Tabelle 16 - dies wird in Kapitel 4.2.2 näher erläutert. Zusätzlich wird in drei weiteren Varianten eine unterschiedliche Entwicklung für die Nutzung von E-Fuels für Pkw im Modell hinterlegt, Annahmen siehe Tabelle 17, dies wird in Kapitel 4.5 näher beschrieben.

In den Hauptszenarien wird für die Steiermark von einer kontinuierlichen Reduktion der (bilanziellen, regionalen) Stromimportquote und einer kontinuierlichen Erhöhung der Wasserstoffimportquote ohne saisonale Speicherung ausgegangen. Eine „bilanzielle regionale Importquote“ bedeutet in diesem Zusammenhang, dass in der jährlichen Bilanz der Stromimporte und -exporte ein Nettostromimport auftreten kann. Bei der Betrachtung kürzerer Zeiträume können jedoch sowohl Importe als auch Exporte in größerem Umfang auftreten. Selbst bei einer Importquote von 0 %, wie sie z. B. für das Jahr 2050 angestrebt wird, werden unterjährig Strommengen importiert (z. B. im Winter) und in gleichem Umfang Strommengen exportiert (z. B. im Sommer). Die Betonung, dass die Wasserstoffimporte ohne saisonale Speicherung und stoffliche Nutzung betrachtet werden, bedeutet, dass nur die Wasserstoffmengen zur Deckung des EEV und der regulären Strom- und Fernwärmeerzeugung zugrunde gelegt werden, nicht aber die Mengen für die saisonale

Stromspeicherung oder für die stoffliche Nutzung von Wasserstoff (z. B. in der chemischen Industrie). Dies ist, sofern hier nicht anders beschrieben, die Grundannahme in den Szenario-Varianten.

Die Hauptvarianten gehen von 20 % Stromimporten im Jahr 2030, 10 % im Jahr 2040 und 0 % im Jahr 2050 aus. Dies basiert auf den Analysen der Vorgängerstudie (AEA, 2021a) und den Annahmen in Kapitel 2.3. Zusätzlich wird angenommen, dass im Jahr 2030 25 % des Wasserstoffbedarfs in der Steiermark importiert werden, dieser Anteil bis 2040 auf 50 % und bis 2050 auf 75 % ansteigt. Die ersten drei Varianten untersuchen den Strombedarf bei unterschiedlichen Wasserstoffimportquoten von fix 50 % (HS4.1 / HS5.1 / HS6.1), fix 75 % (HS4.2 / HS5.2 / HS6.2) und fix 25 % (HS4.3 / HS5.3 / HS6.3) über den Betrachtungszeitraum 2020 bis 2050.

Tabelle 15: Hauptszenario-Annahmen (HS4.0 / HS5.0 / HS6.0) und Annahmen für Varianten für H2- und E-Fuel-Importe HS4.1 / HS5.1 / HS6.1, HS4.2 / HS5.2 / HS6.2, HS4.3 / HS5.3 / HS6.3

Varianten	HS4.0 / HS5.0 / HS6.0 – Hauptszenario	HS4.1 / HS5.1 / HS6.1 – 50 %-Import	HS4.2 / HS5.2 / HS6.2 – 75 %-Import	HS4.3 / HS5.3 / HS6.3 – 25 %-Import
Stromimporte (bilanziell)	2030: 20 %	2030: 20 %	2030: 20 %	2030: 20 %
	2040: 10 %	2040: 10 %	2040: 10 %	2040: 10 %
	2050: 0 %	2050: 0 %	2050: 0 %	2050: 0 %
H2 und E- Fuel-Importe (bilanziell)	2030: 25 %	2030: 50 %	2030: 75 %	2030: 25 %
	2040: 50 %	2040: 50 %	2040: 75 %	2040: 25 %
	2050: 75 %	2050: 50 %	2050: 75 %	2050: 25 %

Tabelle 16: Hauptszenario-Annahmen (HS4.0 / HS5.0 / HS6.0) und Annahmen für Varianten für Windkrafterzeugung HS4.4 / HS5.4 / HS6.4, HS4.5 / HS5.5 / HS6.5, HS4.6 / HS5.6 / HS6.6

Varianten	HS4.0 / HS5.0 / HS6.0 KESS17+	HS4.4 / HS5.4 / HS6.4 NIP-Wind	HS4.5 / HS5.5 / HS6.5 NIP-Wind+	HS4.6 / HS5.6 / HS6.6 NIP-Wind++
Stromimporte (bilanziell)	2030: 20 %	2030: 20 %	2030: 20 %	2030: 20 %
	2040: 10 %	2040: 10 %	2040: 10 %	2040: 10 %
	2050: 0 %	2050: 0 %	2050: 0 %	2050: 0 %
H2 und E- Fuel-Importe (bilanziell)	2030: 25 %	2030: 25 %	2030: 25 %	2030: 25 %
	2040: 50 %	2040: 50 %	2040: 50 %	2040: 50 %
	2050: 75 %	2050: 75 %	2050: 75 %	2050: 75 %
Windkraft	2030: 2,1 TWh	2030: 2,8 TWh	2030: 2,8 TWh	2030: 2,8 TWh
	2040: 3,5 TWh	2040: 3,5 TWh	2040: 4,4 TWh	2040: 5,5 TWh
	2050: 3,5 TWh	2050: 3,5 TWh	2050: 4,4 TWh	2050: 5,5 TWh

In den nächsten drei Varianten wird untersucht, wie sich unterschiedliche Ausbaustufen der Windkraft in der Steiermark auf den Erzeugungsmix auswirken. Im Hauptszenario werden hier die ursprünglichen KESS-Ziele / Potenziale für 1.000 MW Windkraft mit den zu erwartenden durchschnittlichen Volllaststunden im Jahr 2030 (von 2.100 h/a) für die Steiermark mit einer weiteren Steigerung des Windkraftausbaus für 2040 (wie in HS3 angenommen) hinterlegt. Die Variante HS4.4 / HS5.4 / HS6.4 übernimmt die im NIP-Entwurf (BMK, 2023b) angenommene Windkraftherzeugung für die Steiermark: 2,8 TWh im Jahr 2030 und 3,5 TWh im Jahr 2040 (dies berücksichtigt für das Jahr 2030 ein Windausbauziel für Österreich von 21 TWh anstelle der derzeit laut EAG geltenden 17 TWh). In der nächsten Variante HS4.5 / HS5.5 / HS6.5 wird das Ausbauziel des NIP für die Jahre 2040 und 2050 erhöht. Die Gründe dafür sind, dass die relativ geringen Volllaststunden von Photovoltaik im Vergleich zu Windkraft zu höheren Leistungen im Netz führen und dies höhere Netzausbaunotwendigkeiten hervorruft. Auch durch die saisonale Energieerzeugung im Winter und die damit einhergehende höhere Versorgungssicherheit ist ein weiterer Ausbau der Windkraft in der Steiermark sinnvoll (siehe Kapitel 4.2.1), solange dieser naturverträglich und für die Bevölkerung akzeptabel erfolgen kann. Die Windkraftherzeugung in der Steiermark wird in den folgenden Varianten HS4.6 / HS5.6 / HS6.6 aus den gleichen Gründen nochmals erhöht.

In den letzten drei Varianten wird zusätzlich zum Flugverkehr ein weiterer Einsatz von E-Fuels im Pkw-Verkehr in der Steiermark berücksichtigt. Die ersten beiden Varianten berücksichtigen in etwa eine Unter- und Obergrenze für die Jahre 2030 und 2040 aufgrund von Aussagen der AVL (AVL, 2023), die von „homöopathischen“ Mengen im Jahr 2030 und 1 % bis 2 % im Jahr 2035 ausgehen. Es ist möglich, dass die höheren Kosten für E-Fuels (AVL, 2023) (PIK, 2023) von Besitzern von Luxusautos oder Oldtimern bzw. Autoliebhabern getragen werden. Die letzte Variante untersucht die theoretischen Auswirkungen eines sehr unplausiblen hohen Einsatzes von E-Fuels im Pkw-Bereich auf die notwendige Stromerzeugung in der Steiermark. Im LKW-Bereich ist der Einsatz von E-Fuels aufgrund der relativ geringen Verfügbarkeit, hohen Kosten und des hohen Wettbewerbsdrucks in der Logistikbranche aufgrund der geringen Margen sehr unwahrscheinlich.

Tabelle 17: Hauptszenario-Annahmen (HS4.0 / HS5.0 / HS6.0) und Annahmen für Varianten für E-Fuel-Verbrauch im Verkehrssektor HS4.7 / HS5.7 / HS6.7, HS4.8 / HS5.8 / HS6.8, HS4.9 / HS5.9 / HS6.9 (theoretische nicht plausible Variante),

Varianten	HS4.0 / HS5.0 / HS6.0	HS4.7 / HS5.7 / HS6.7	HS4.8 / HS5.8 /HS6.8	HS4.9 / HS5.9 /HS6.9
E-Fuel:	Flugverkehr	+Pkw niedrig	+Pkw hoch	+Pkw theoretisch
Stromimporte (bilanziell)	2030: 20 %	2030: 20 %	2030: 20 %	2030: 20 %
	2040: 10 %	2040: 10 %	2040: 10 %	2040: 10 %
	2050: 0 %	2050: 0 %	2050: 0 %	2050: 0 %
H2 und E-Fuel-Importe (bilanziell)	2030: 25 %	2030: 25 %	2030: 25 %	2030: 25 %
	2040: 50 %	2040: 50 %	2040: 50 %	2040: 50 %
	2050: 75 %	2050: 75 %	2050: 75 %	2050: 75 %
E-Fuel – Anteil der Pkw- Fahrzeuge	2030: 0 %	2030: 1 %	2030: 2 %	2030: 10 %
	2040: 0 %	2040: 2 %	2040: 4 %	2040: 50 %
	2050: 0 %	2050: 2 %	2050: 4 %	2050: 50 %

4.2 Stromaufbringung

4.2.1 Hauptszenarien

Die verstärkte Elektrifizierung auf Basis von erneuerbarem Strom ist ein zentraler Beitrag zur Dekarbonisierung des Energiesystems. Aus diesem Grund steigt der Stromverbrauch in allen Szenarien über die Jahre kontinuierlich an. Dieser Stromverbrauch, der durch die Stromaufbringung gedeckt werden muss, setzt sich zusammen aus dem elektrischen Endenergieverbrauch (EEV), den Stromtransportverlusten und dem Verbrauch des Energiesektors sowie dem Strom, der bei der Herstellung von Wasserstoff und E-Fuels anfällt. Da der Stromverbrauch steigt, steigt auch die erforderliche Stromaufbringung. Insgesamt steigt die Stromaufbringung in der Steiermark von 12,0 TWh im Jahr 2021 in den Hauptszenarien auf 16,7 TWh im Jahr 2030 und 26,0 TWh im Jahr 2050. Deutlich erkennbar sind die Unterschiede zwischen den Hauptszenarien für das dargestellte Jahr 2040. Diese sind auf die unterschiedlichen Geschwindigkeiten der Dekarbonisierung zurückzuführen. Für das Jahr 2040 weist HS4 einen Stromverbrauch von 27,0 TWh aus, während HS5 und HS6 einen Stromverbrauch von 23,5 TWh aufweisen.

Der Stromverbrauch wird durch Stromerzeugung und Stromimporte gedeckt. Da die Stromimporte in die Steiermark in den Hauptszenarien begrenzt sind, kann berechnet werden, wie viel Strom in der Steiermark erzeugt werden muss. Im Sinne des Klimaschutzes wird in den Szenarien davon ausgegangen, dass der gesamte notwendige Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern erfolgt. Der Ausstieg aus der fossilen Stromerzeugung erfolgt in HS4 bis 2040 und in HS5 und HS6 bis 2050. Die Ergebnisse für die Stromerzeugung der Hauptszenarien sind in Abbildung 25, Abbildung 26, Abbildung 27 und Tabelle 18 dargestellt.

In welchem Ausmaß erneuerbare Stromerzeugungstechnologien in der Steiermark bis 2030, 2040 bzw. 2050 eingesetzt werden, hängt im Wesentlichen von den technisch-wirtschaftlichen Potenzialen, der Akzeptanz der jeweiligen Technologien in der Bevölkerung und den rechtlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen ab. Das Potenzial für den weiteren Ausbau der Wasserkraft ist in der Steiermark bereits weitgehend ausgeschöpft. Die Nutzung der Potenziale von Windkraft und Photovoltaik setzt wie bereits erwähnt eine entsprechende Akzeptanz in der Bevölkerung und geeignete rechtliche und regulatorische Rahmenbedingungen voraus.

Laut der Wasserkraftpotenzialstudie von Pöyry (2018) verfügt die Steiermark über ein verbleibendes Wasserkraftpotenzial von 2 TWh Jahreserzeugung. Eine aktuelle Analyse des Umweltbundesamtes (UBA, 2023b) errechnet für die Steiermark eine geringere Bandbreite an Wasserkraftpotenzialen von 1,29 TWh bis 1,67 TWh. Das Land Steiermark hat im Jahr 2021 die Wasserkraftpotenziale für KESS 2030 aktualisieren lassen (Energie Steiermark, 2021). Dabei wurden technische und wirtschaftliche Potenziale sowie die ökologische Sensibilität der steirischen Gewässer berücksichtigt. Das ermittelte zusätzlich realisierbare Ausbaupotenzial beträgt laut dieser Studie in der Steiermark nur 0,8 TWh, wovon etwa die Hälfte in ökologisch sensiblen Gewässerabschnitten liegt. Da die Studie des Landes eine detaillierte Analyse der Wasserkraftpotenziale für die Steiermark speziell für die steirischen Gewässer vornimmt, werden die Ergebnisse dieser Studie für die hier berechneten Szenarien herangezogen. Zusätzlich zu diesen Potenzialen sind noch weitere Kleinwasserkraftpotenziale vorhanden, welche in der Potenzialstudie nicht berücksichtigt wurden¹⁵. In den Szenarien wird davon ausgegangen, dass 0,4 TWh/a in den Jahren 2022 bis 2030 und weitere 0,4 TWh/a in den Jahren 2031 bis 2040 ausgebaut werden. Auf dieser Basis und mit diesen Annahmen liegt der

¹⁵ Es wird jedoch davon ausgegangen, dass diese zusätzlichen Potenziale der Kleinwasserkraft in der Steiermark mögliche Reduktionen der Stromerzeugung aufgrund von Ökologisierungsverpflichtungen und der zu erwartenden Häufung von Extremwetterereignissen (z.B. lang anhaltende Trockenheit oder Starkregenereignisse) kompensieren können.

Wasserkraftausbau in der Steiermark im Jahr 2030 auf dem Niveau, das von der Österreichischen Energieagentur, in (AEA, 2021), auf Basis einer Aufteilung der EAG-Wasserkraftausbauziele Österreichs auf die Bundesländer vorgeschlagen wurde.

Für die Stromerzeugung aus Windkraft wurde in der Steiermark im HS3, in der AEA-Studie (2021b), für das Jahr 2030 von 2,1 TWh (entspricht 1.000 MW oder ca. 250 Windkraftanlagen) und mittel- bis langfristig von insgesamt 3,5 TWh ausgegangen, was auch hier für die Hauptszenarien hinterlegt wird. Wenn die Akzeptanz für Windkraftanlagen in der steirischen Bevölkerung in den nächsten Jahren steigt, kann auch das Potenzial für Windkraft in der Steiermark stärker genutzt werden.¹⁶ Eine Erhöhung der Stromerzeugung aus Windkraft wird in Varianten angenommen (siehe unten). Eine höhere Stromerzeugung aus Windkraft reduziert die notwendige Stromerzeugung aus Photovoltaik. Dies wird empfohlen, um die regionale Stromerzeugung im Winterhalbjahr zu erhöhen und damit die Versorgungssicherheit zu verbessern und die notwendigen Stromnetzkapazitäten und damit die Endkundenpreise zu reduzieren.

Die Photovoltaik kann einen wesentlichen Beitrag zur Dekarbonisierung der Stromerzeugung leisten. Die von Oesterreichs Energie veröffentlichte PV-Potenzialstudie (Fechner, 2020) und die aktuelle Studie zu Ausbauszenarien des Umweltbundesamtes (UBA, 2023b) zeigen, dass für den von der Bundesregierung geplanten PV-Ausbau bis 2030 die vorhandenen Dachflächen in Österreich nicht ausreichen. Daher müssen Freiflächen, Deponieflächen und Verkehrsflächen für PV-Anlagen genutzt werden. Die Studie „Klima- und Energiestrategien der Bundesländer“ (AEA, 2021) schätzt auf Basis der Analyse von Oesterreichs Energie die Verteilung der PV-Potenziale auf die Bundesländer ab. Daraus ergibt sich für die Steiermark ein zusätzlich realisierbares PV-Dachflächenpotenzial¹⁷ von ca. 0,6 TWh bis 2030 und ein langfristiges technisches PV-Gebäudepotenzial von 1,8 TWh. Die aktuellere Analyse des Umweltbundesamtes geht statt von 6 TWh von 8,3 TWh realisierbarem Gebäudepotenzial (inkl. Erzeugung im Jahr 2020) in Österreich bis 2030 aus. Damit erhöht sich das zusätzlich realisierbare PV-Dachflächenpotenzial in der Steiermark von 0,6 TWh auf 1,2 TWh bis 2030.¹⁸ Das Gesamtpotenzial für PV inklusive PV-Freiflächen reicht somit aus, um die zusätzlich benötigte erneuerbare Stromerzeugung in den Jahren 2030, 2040 und 2050 in der Steiermark bereitzustellen.

In den Hauptszenarien wird zusätzlich ein geringer weiterer Ausbau der Stromerzeugung aus Biomasse berücksichtigt. Dieser ist mit einer zusätzlichen Fernwärmeerzeugung aus Biomasse gekoppelt.

¹⁶ Das technisch-wirtschaftliche Potenzial der Windkraft in der Steiermark liegt laut einer Studie der Energiewerkstatt (2019) bei ca. 7 GW bzw. 11 TWh.

¹⁷ Die Beschreibung PV-Dachflächen im Bericht ist eine Vereinfachung für Photovoltaik auf oder an Gebäuden und beinhaltet ebenfalls PV auf Fassadenflächen.

¹⁸ Diese im weiteren verwendete Erhöhung des PV-Potenzials auf Dach- und Gebäudeflächen kann den notwendigen PV-Freiflächenausbau reduzieren.

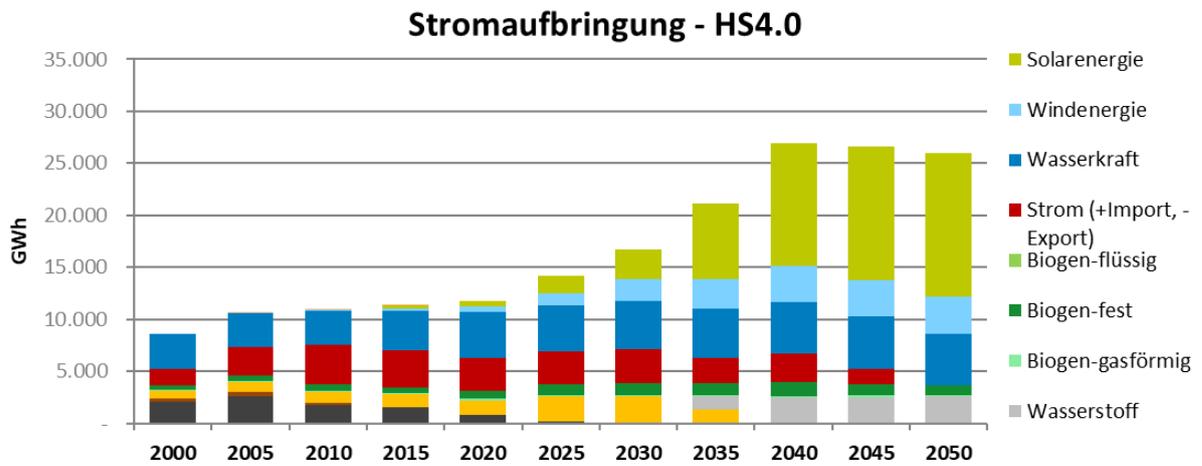


Abbildung 25: HS4 – Stromaufbringung in der Steiermark 2000–2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022), Berechnungen AEA

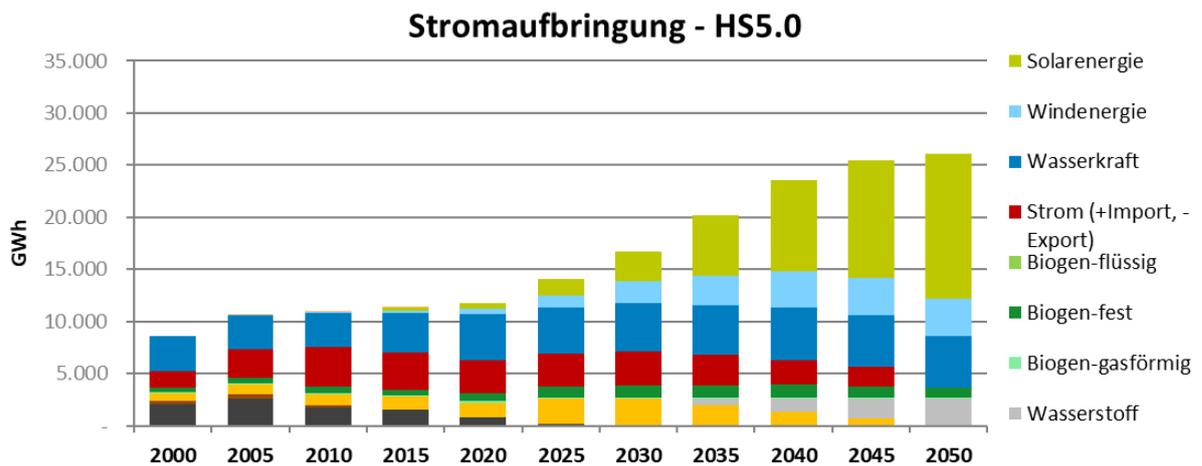


Abbildung 26: HS5 – Stromaufbringung in der Steiermark 2000–2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022), Berechnungen AEA

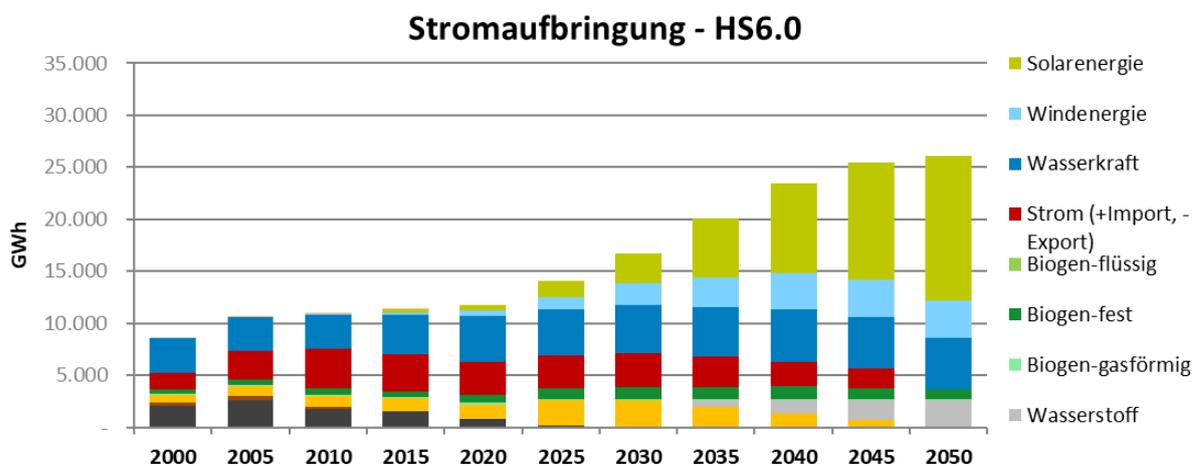


Abbildung 27: HS6 – Stromaufbringung in der Steiermark 2000–2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022), Berechnungen AEA

Tabelle 18: HS4, HS5 und HS6 - berücksichtigter Ausbau erneuerbare Stromerzeugung; Quelle: Berechnungen AEA

Energieträger (TWh)	Historisch	HS4			HS5			HS6		
	2021	2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2040	2050
Fossil	2,6	2,6	0,1	0,1	2,6	1,3	0,1	2,6	1,3	0,1
Wasserkraft	3,5	4,6	5,0	5,0	4,6	5,0	5,0	4,6	5,0	5,0
Windenergie	0,5	2,1	3,5	3,5	2,1	3,5	3,5	2,1	3,5	3,5
Solarenergie	0,6	2,9	11,8	13,9	2,8	8,7	13,9	2,8	8,7	13,9
Biogen	1,0	1,2	1,4	1,1	1,2	1,4	1,1	1,2	1,4	1,1
Wasserstoff	-	-	2,4	2,4	-	1,2	2,4	-	1,2	2,4
Importe	3,9	3,3	2,7	0,0	3,3	2,3	0,0	3,3	2,3	0,0
Gesamt	12,1	16,7	27,0	26,0	16,7	23,5	26,0	16,7	23,5	26,0

In einer detaillierteren Analyse für den PV-Ausbau kann die erforderliche Ausbaukapazität in den Hauptszenarien und die dafür notwendige Nutzung von Freiflächen, Deponieflächen und Verkehrsflächen in der Steiermark abgeschätzt werden (siehe Tabelle 19). Dabei wird von einem mittleren Energieertrag von 1.000 kWh/kWp (Biermayr P., 2022) pro Jahr und einem mittleren Flächenverbrauch von 1,4 ha/MW für Freiflächen-PV ausgegangen.¹⁹

Die Hauptszenarien liegen mit einer PV-Stromerzeugung von 2,8 TWh bis 2,9 TWh im Jahr 2030 nahe an den 3,3 TWh, die im NIP-Entwurf (BMK, 2023a) für die Steiermark angenommen werden. Für das Jahr 2040 liegt die angenommene Erzeugung in der Steiermark im NIP-Entwurf bei 6,9 TWh und damit unter den hier dargestellten Ergebnissen der Hauptszenarien.

Diese Unterschiede sind methodisch bedingt. Im NIP-Entwurf erfolgt die Aufteilung allein auf Basis der Verteilung der verfügbaren PV-Potenziale auf die Bundesländer, nach der UBA-Studie (2023b), während in den hier durchgeführten Analysen die in den Szenarien auszubauende PV-Erzeugung aus dem Stromverbrauch der Steiermark, den Potenzialgrenzen der anderen erneuerbaren Erzeugungstechnologien und den begrenzten Importquoten abgeleitet wird.

Eine Erhöhung der PV-Ausbauziele auf 3,3 TWh für das Jahr 2030, wie im NIP-Entwurf angenommen, kann die Stromimportquote senken und wäre aufgrund der höheren PV-Potenziale in Gebäuden ohne zusätzliche Flächen für PV-Freiflächenanlagen möglich. Für das Jahr 2040 führen die hier getroffenen (und abgestimmten) strategischen Weichenstellungen zu einem höheren und damit ambitionierteren PV-Ausbau, der allerdings durch einen höheren Windausbau reduziert werden kann.²⁰

Tabelle 19: HS4, HS5 und HS6 – Analyse PV-Stromerzeugung; Quelle: Berechnungen AEA

¹⁹ Diese Fläche entspricht der tatsächlich für PV-Freiflächenanlagen genutzten Fläche. Für die Ermittlung möglicher Eignungsgebietsflächen sind Faktoren für die nicht durch PV-Anlagen genutzten Flächen zu addieren.

²⁰ Die Unterschiede für das Jahr 2040 zwischen den Ergebnissen des NIP und den Ergebnissen dieser Studie beruhen unter anderem auf unterschiedlichen Ergebnissen für den Stromverbrauch bei vollständiger Dekarbonisierung im Jahr 2040. Da der dem NIP zugrundeliegende Bericht zum Transitionszenario derzeit nicht öffentlich verfügbar ist, kann dies nicht im Detail analysiert werden.

Photovoltaik	HS4.0			HS5.0			HS6.0		
	2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2040	2050
Stromerzeugung Photovoltaik (TWh)	2,9	11,8	13,9	2,8	8,7	13,9	2,8	8,7	13,9
PV-Kapazität gesamt (GW)	2,9	11,8	13,9	2,8	8,7	13,9	2,8	8,7	13,9
PV-Gebäudekapazität (GW)	1,2	1,8	2,1	1,2	1,8	2,1	1,2	1,8	2,1
PV-Deponie- u. Verkehrsflächen (GW)	0,2	0,4	0,6	0,2	0,4	0,6	0,2	0,4	0,6
PV-Freifläche (GW)	1,5	9,6	11,2	1,4	6,5	11,2	1,4	6,5	11,2
PV-Freifläche (km ²)	21	134	157	20	92	157	20	90	157

Eine mögliche Erhöhung der Stromerzeugung aus Windkraft, wie oben beschrieben, wird in Varianten berechnet und reduziert die notwendige Stromerzeugung aus Photovoltaik. Dies wird empfohlen, um die regionale Stromerzeugung im Winterhalbjahr zu erhöhen und damit die Versorgungssicherheit zu verbessern und die notwendigen Stromnetzkapazitäten und damit die Endkundenpreise zu reduzieren. Dies wird u. a. in der Stromstrategie 2040 der österreichischen Elektrizitätswirtschaft (OEE, 2022) mit den Ausbauszenarien für Photovoltaik und Windkraft unterstrichen. Diese geht in ihrem Szenario von einer installierten Leistung von 30 GW für PV und 15 GW für Wind in Österreich im Jahr 2040 aus (und damit von einem Verhältnis von 2 zu 1 PV zu Wind).

Tabelle 20 zeigt die Stromerzeugung aus Windkraft in den Varianten. Für die Hauptszenarien wurde in HS3 (AEA, 2021b) für 2030 von einer Windkraftherzeugung in der Steiermark von 2,1 TWh (entspricht 1.000 MW oder ca. 250 Windkraftanlagen) und mittel- bis langfristig von insgesamt 3,5 TWh ausgegangen. In HS4.4 / HS5.4 / HS6.4 werden die im NIP beschriebenen Annahmen zur Windstromerzeugung für 2030 und 2040 hinterlegt, 2,8 TWh in 2030 und 3,5 TWh in 2040. In den weiteren Varianten wird die Stromerzeugung für die Jahre 2040 und 2050 weiter erhöht.

In allen Varianten steigen die durchschnittlichen Volllaststunden und die durchschnittliche installierte Leistung der Windkraftanlagen (WKA) aufgrund der technologischen Entwicklung über die Jahre an. Diese technische Entwicklung führt dazu, dass weniger WKA benötigt werden, um die gleiche Strommenge zu erzeugen. Ob auf Basis der Ziele und dieser Annahmen eine höhere Anzahl an WKA benötigt wird, ist in Tabelle 20 dargestellt. Grundsätzlich kommen die Varianten mit dem höchsten Windkraftausbau dem 2:1 Verhältnis des Ausbaus von PV- zu Windkraftleistung von Österreichs Energie am nächsten. Mit einem Verhältnis von 5:1 für HS4.6 und 3:1 für HS5.6 und HS5.7 liegen diese aber immer noch deutlich über dem für Österreich für 2040 berechneten Verhältnis.

Die Entscheidung, ob in der Steiermark im Jahr 2030 2,1 TWh (1000 MW, 250 WKA) oder wie im Entwurf des NIP angenommen 2,8 TWh (1300 MW, 333 WKA) ausgebaut werden können, sollte möglichst bald getroffen werden. Grundsätzlich empfehlen die Autoren aus den oben angeführten Gründen, den höchstmöglichen naturverträglichen und für die Bevölkerung akzeptablen Ausbau der Windkraft in der Steiermark für 2030 und 2040 in der Überarbeitung des KESS vorzusehen.

Tabelle 20: HS4, HS5 und HS6 – Analyse Wind-Stromerzeugung – Abschätzung der notwendigen Anzahl an WKAs; Quelle: Berechnungen AEA

Windkraft	HS4.0/ HS5.0/HS6.0			HS4.4/ HS5.4/HS6.4			HS4.5/ HS5.5/HS6.5			HS4.6/ HS5.6/HS6.6		
	2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2040	2050
Stromerzeugung (TWh)	2,1	3,5	3,5	2,8	3,5	3,5	2,8	4,4	4,4	2,8	5,5	5,5
Ø Volllaststunden (h/a)	2100	2200	2300	2100	2200	2300	2100	2200	2300	2100	2200	2300
Gesamtleistung (GW)	1,0	1,6	1,5	1,3	1,6	1,5	1,3	2,0	1,9	1,3	2,5	2,4
Ø Leistung WKA (MW)	4,0	4,8	5,5	4,0	4,8	5,5	4,0	4,8	5,5	4,0	4,8	5,5
Anzahl WKA	250	331	277	333	333	278	333	417	348	333	521	435

Die energiewirtschaftliche Relevanz von Windkraftherzeugung ergibt sich, wie oben bereits besprochen, unter anderem aus der erhöhten saisonalen Stromerzeugung im Winter. Abbildung 28 und Abbildung 29 zeigen beispielhaft die Unterschiede in der saisonalen Stromerzeugung bei unterschiedlichem Ausbaugrad von Windkraft. In Abbildung 28, die die saisonale Stromerzeugung aus den HS4-Ergebnissen hochrechnet, zeigt relativ hohe Importe im Winter (rot) und hohe Exporte im Sommer (rot im negativen Bereich). Während Abbildung 29, die die Ergebnisse von HS4.6 für eine saisonale Betrachtung ableitet, einen geringeren Import- und Exportbedarf für Strom zeigt, da in HS4.6 die Erzeugungs- und Verbrauchskurven von elektrischer Energie in einer monatlichen Betrachtung besser übereinstimmen. Diese bessere Übereinstimmung von Erzeugung und Verbrauch von elektrischer Energie kann wesentlich zur langfristigen Sicherstellung von Versorgungssicherheit in der Steiermark beitragen. Langfristig sollte auch bedacht werden, dass viele Nachbarländer Österreichs verstärkt auf den Ausbau von Photovoltaik setzen und es dadurch im Sommer zu einem Überangebot an Strom im europäischen Verbundnetz im Sommer kommen kann.

Diese Abbildungen zeigen auch das Potenzial der saisonalen Verschiebung durch Wasserstoff. Anstelle von Exporten im Sommer (roter Balken im negativen Bereich) kann die elektrische Energie zur Wasserstoffherzeugung, Methanisierung, Speicherung und Rückverstromung im Winter genutzt werden, um die Stromimporte im Winter zu reduzieren. Dies ist jedoch mit hohen Wirkungsgradverlusten verbunden. Grundsätzlich ist die direkte Nutzung von elektrischer Energie ohne weitere Umwandlungsschritte zur Wasserstoffherzeugung, -speicherung, und -rückverstromung zu bevorzugen. Sowohl für die Strom- und Fernwärmeerzeugung in KWK-Anlagen als auch für die stoffliche Nutzung in der Industrie wird jedoch Wasserstoff benötigt, dieser muss entweder in Österreich erzeugt oder aus dem Ausland importiert werden. Die Abbildungen oben zeigen, dass die Wasserstoffherzeugung in Österreich vor allem im Sommer erfolgen sollte um die Stromüberproduktion in dieser Zeit effektiv zu nutzen und den Stromverbrauch im Winter zu reduzieren.

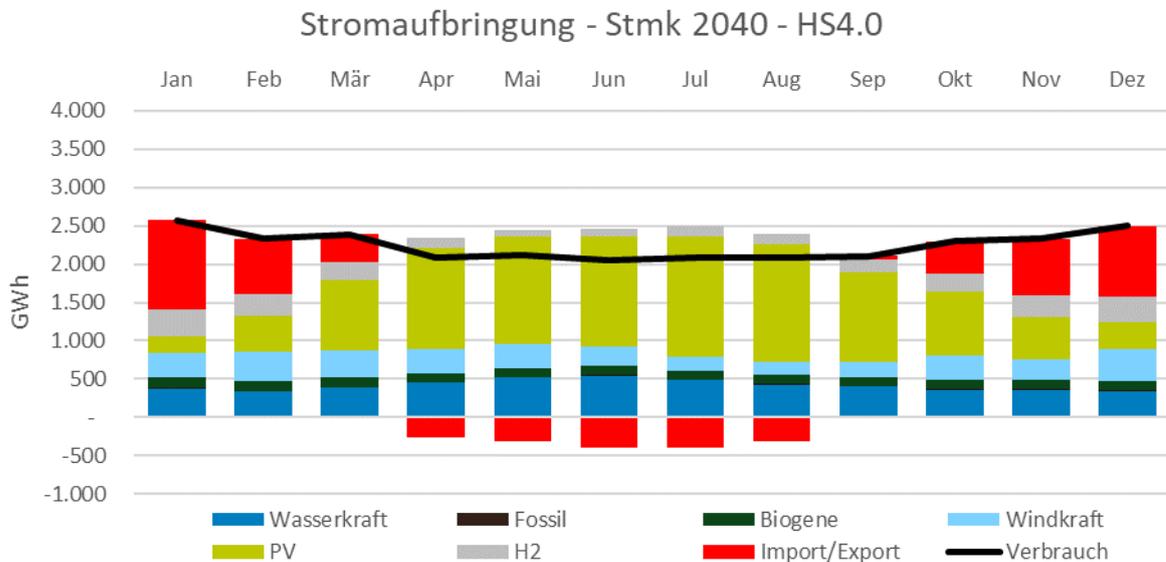


Abbildung 28: Beispielhafte saisonale Stromerzeugung im Jahr 2040 – HS4.0 - niedrige Stromerzeugung mittels Windenergie; Quelle: Berechnungen AEA

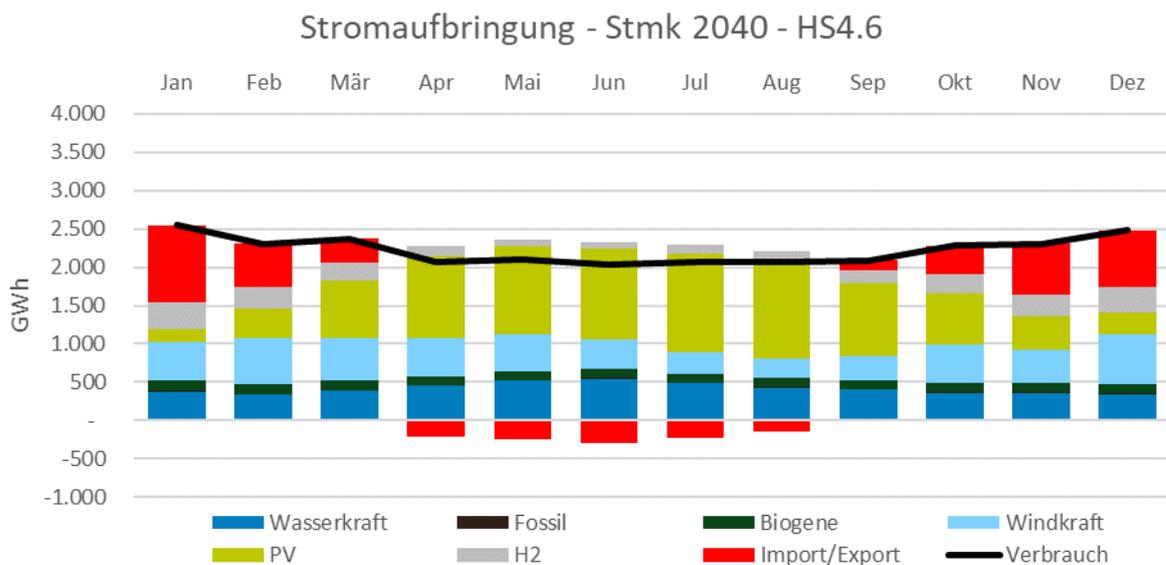


Abbildung 29: Beispielhafte saisonale Stromerzeugung im Jahr 2040 – HS4.6 - hohe Stromerzeugung mittels Windenergie; Quelle: Berechnungen AEA

4.2.2 Szenario-Varianten

Da die mögliche Stromerzeugung aus Wasser- und Windkraft sowie aus PV-Anlagen wie oben beschrieben auf Dach-, Deponie- und Verkehrsflächen beschränkt ist, unterscheiden sich die Szenario-Varianten vor allem in der Stromerzeugung aus PV-Freiflächenanlagen. Für die Freiflächen-PV werden die für die untersuchten Varianten erforderlichen installierten Leistungen und Flächen mit den bereits beschriebenen Annahmen (1.000 kWh/kWp pro Jahr und 1,4 ha/MW) hochgerechnet. Die Ergebnisse dieser Analysen sind auf den folgenden Seiten grafisch dargestellt und mit ausgewählten Daten hinterlegt.

Mehrere Szenario-Varianten mit unterschiedlichen Importquoten von Wasserstoff und E-Fuels wurden hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die notwendige Stromerzeugung in der Steiermark untersucht (HS4.1 / HS5.1 / HS6.1, HS4.2 / HS5.2 / HS6.2, HS4.3 / HS5.3 / HS6.3). In diesen Varianten wird der Einfluss der angenommenen Importquote von Wasserstoff und E-Fuels auf die erforderliche PV-Stromerzeugung und Freiflächen-PV deutlich. Grundsätzlich ist die PV-Stromerzeugung geringer, wenn die notwendige Wasserstoff- und E-Fuels-Produktion in der Steiermark geringer und die Stromimportquote höher ist.

In drei weiteren Varianten werden die Auswirkungen auf die benötigte Freiflächen-PV bei unterschiedlichen Annahmen zum Windkraftausbau in der Steiermark untersucht (HS4.4 / HS5.4 / HS6.4, HS4.5 / HS5.5 / HS6.5, HS4.6 / HS5.6 / HS6.6). In HS4.4 / HS5.4 / HS6.4 wird die im NIP beschriebene angenommene Windstromerzeugung für 2030 und 2040 hinterlegt, 2,8 TWh in 2030 und 3,5 TWh in 2040. In den anderen Varianten wird die Stromerzeugung für die Jahre 2040 und 2050 weiter erhöht. Die Ergebnisse für 2030 zeigen implizit, dass auf Basis der NIP-Annahmen für PV und Wind zusammen eine geringere Importquote (16 %) für elektrische Energie in der Steiermark erreicht würde als die hier angenommene Importquote von 20 % und dass für die Jahre 2040 und 2050 durch den verstärkten Ausbau der Windkraft tatsächlich Flächen für PV-Freiflächenanlagen eingespart werden können. Die Ergebnisse des NIP-Entwurfs deuten auch darauf hin, dass entweder der zugrunde gelegte Stromverbrauch im Transitionszenario für 2030 stärker ansteigt oder die Verteilung der erneuerbaren Potenziale in den Szenarien der realisierbaren erneuerbaren Stromerzeugung (UBA, 2023b) mit höheren Anteilen in der Steiermark regionalisiert wird, als in der vorliegenden Analyse bzw. in der vergangenen Analyse (AEA, 2021a).

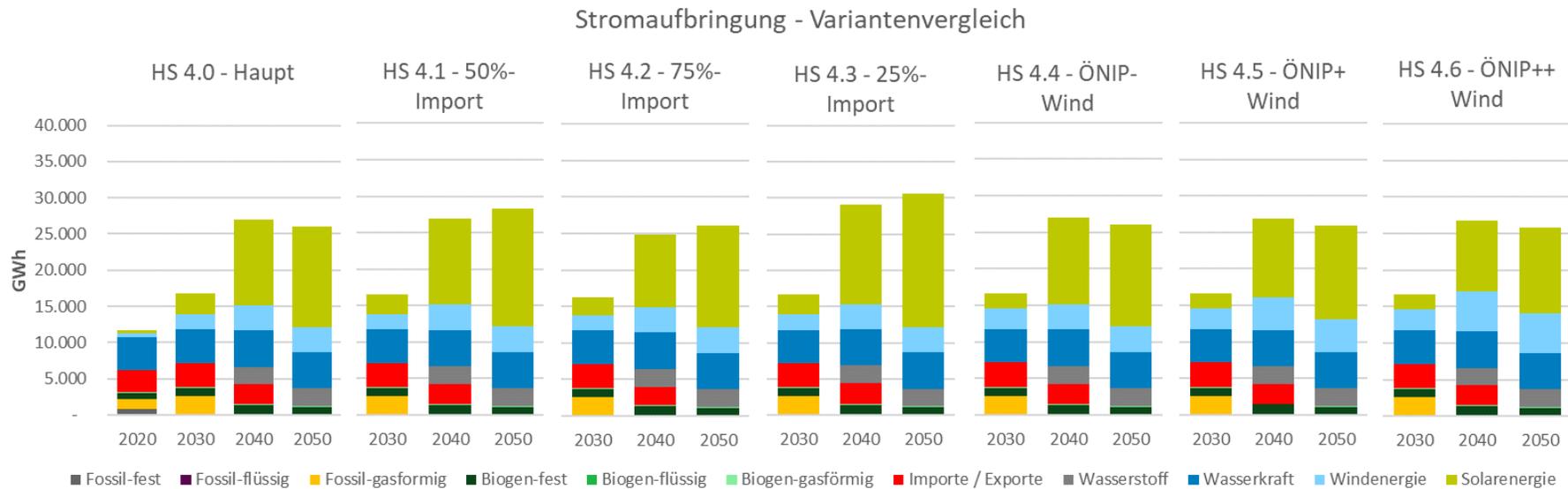


Abbildung 30: Variantenvergleich Teil 1; Quelle: Berechnungen AEA

Tabelle 21: Variantenvergleich Teil 1; Quelle: Berechnungen AEA

	HS4.0 – Haupt			HS4.1 – 50%-Imp			HS4.2 – 75%-Imp			HS4.3 – 25%-Imp			HS4.4 – NIP			HS4.5 – NIP+			HS4.6 – NIP++		
Jahr	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50
BEEV-Strom (TWh)	17	27	26	17	27	28	16	25	26	17	29	31	17	27	26	17	27	26	17	27	26
PV-Erzeugung (TWh)	2,9	11,8	13,9	2,7	11,8	16,2	2,5	9,9	13,9	2,9	13,7	18,5	2,1	11,8	13,9	2,1	10,8	12,9	2,1	9,6	11,7
PV-Erzeugung (GW)	2,9	11,8	13,9	2,7	11,8	16,2	2,5	9,9	13,9	2,9	13,7	18,5	2,1	11,8	13,9	2,1	10,8	12,9	2,1	9,6	11,7
PV-Freifläche (GW)	1,5	9,6	11,2	1,3	9,6	13,5	1,1	7,7	11,2	1,5	11,5	15,8	0,7	9,6	11,2	0,7	8,6	10,2	0,7	7,4	9,0
PV-Freifläche (km ²)	21	134	157	18	134	189	15	108	157	21	161	221	10	134	156	10	120	143	10	104	125

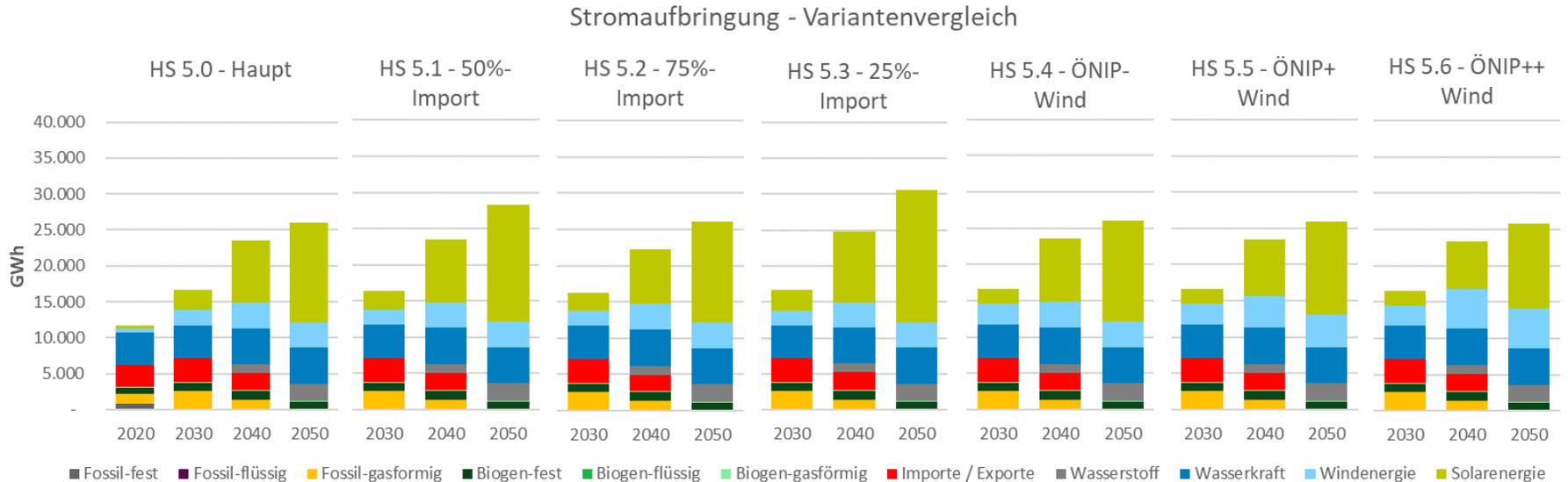


Abbildung 31: Variantenvergleich Teil 2; Quelle: Berechnungen AEA

Tabelle 22: Variantenvergleich Teil 2; Quelle: Berechnungen AEA

	HS5.0 – Haupt			HS5.1 – 50%-Imp			HS5.2 – 75%-Imp			HS5.3 – 25%-Imp			HS5.4 – NIP			HS5.5 – NIP+			HS5.6 – NIP++		
Jahr	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50
BEEV-Strom (TWh)	17	24	26	16	24	28	16	22	26	17	25	31	17	24	26	17	23	26	17	23	26
PV-Erzeugung (TWh)	2,8	8,7	13,9	2,6	8,7	16,2	2,5	7,5	13,9	2,8	10,0	18,5	2,1	8,7	13,9	2,1	7,7	12,9	2,1	6,5	11,7
PV-Erzeugung (GW)	2,8	8,7	13,9	2,6	8,7	16,2	2,5	7,5	13,9	2,8	10,0	18,5	2,1	8,7	13,9	2,1	7,7	12,9	2,1	6,5	11,7
PV-Freifläche (GW)	1,4	6,5	11,2	1,2	6,5	13,5	1,1	5,3	11,2	1,4	7,8	15,8	0,7	6,5	11,2	0,7	5,5	10,2	0,7	4,3	9,0
PV-Freifläche (km²)	20	92	157	17	92	189	15	75	157	20	109	222	9	91	156	9	78	143	9	61	126

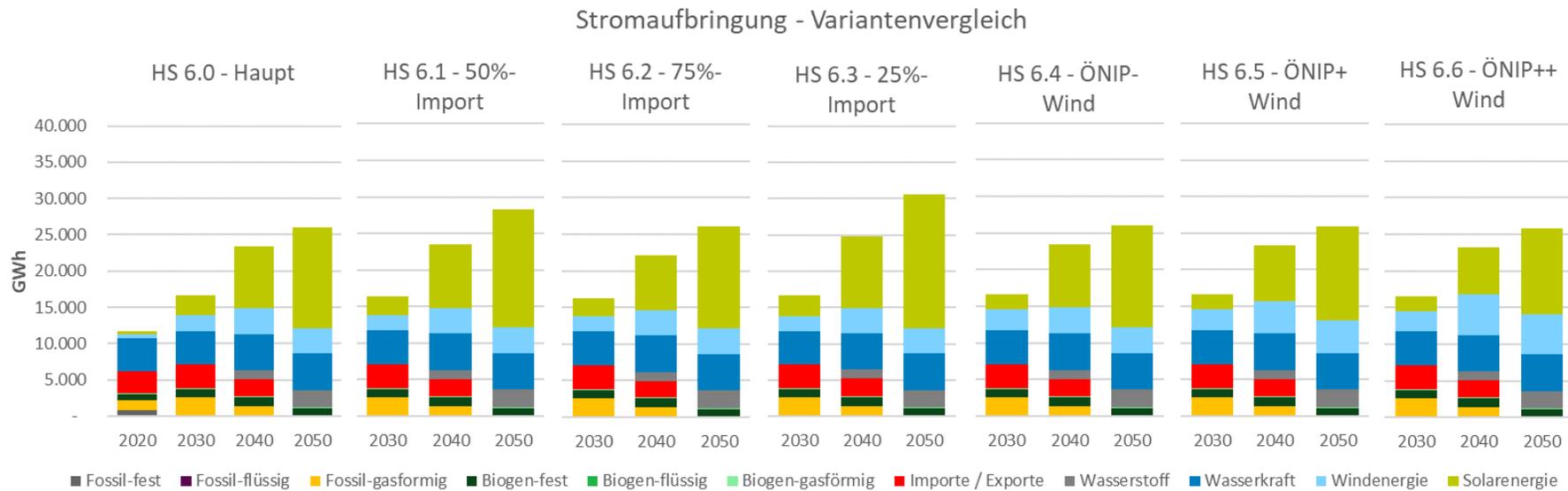


Abbildung 32: Variantenvergleich Teil 3; Quelle: Berechnungen AEA

Tabelle 23: Variantenvergleich Teil 3; Quelle: Berechnungen AEA

	HS6.0 – Haupt			HS6.1 – 50%-Imp			HS6.2 – 75%-Imp			HS6.3 – 25%-Imp			HS6.4 – NIP			HS6.5 – NIP+			HS6.6 – NIP++		
Jahr	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50
BEEV-Strom (TWh)	17	23	26	16	23	28	16	22	26	17	25	31	17	23	26	17	23	26	17	23	26
PV-Erzeugung (TWh)	2,8	8,7	13,9	2,6	8,7	16,2	2,5	7,4	13,9	2,8	9,9	18,5	2,1	8,6	13,9	2,1	7,7	12,9	2,1	6,5	11,7
PV-Erzeugung (GW)	2,8	8,7	13,9	2,6	8,7	16,2	2,5	7,4	13,9	2,8	9,9	18,5	2,1	8,6	13,9	2,1	7,7	12,9	2,1	6,5	11,7
PV-Freifläche (GW)	1,4	6,5	11,2	1,2	6,5	13,5	1,1	5,2	11,2	1,4	7,7	15,8	0,7	6,4	11,2	0,7	5,5	10,2	0,7	4,3	9,0
PV-Freifläche (km ²)	20	90	157	17	90	189	15	73	157	20	107	222	9	90	156	9	76	143	9	60	126

4.3 Fernwärmeaufbringung

Die Fernwärmeversorgung ist ein wichtiger Bestandteil des Energiesystems der Steiermark. Sie wird daher in dieser Studie gesondert betrachtet (siehe Abbildung 33). Die für die Hauptszenarien getroffenen Annahmen führen dazu, dass sich die Fernwärmeaufbringung in beiden Szenarien gleich entwickelt.

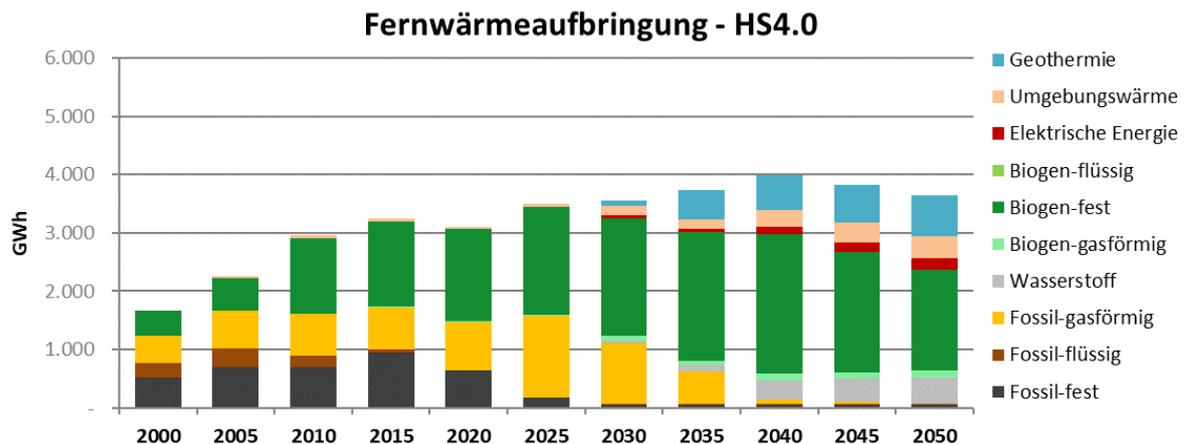


Abbildung 33: HS4 – Fernwärmeerzeugung in der Steiermark 2000–2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022), Berechnungen AEA

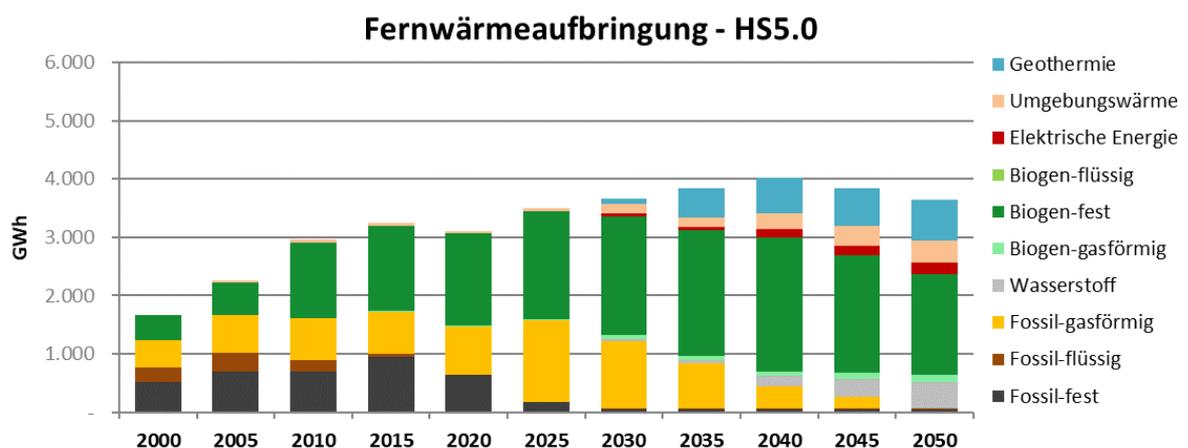


Abbildung 34: HS5 und HS6 – Fernwärmeerzeugung in der Steiermark 2000–2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022), Berechnungen AEA

Die Fernwärmeerzeugung zur Deckung der Fernwärmefachfrage und der Fernwärmefachtransportverluste steigt in den Szenarien von 3,1 TWh im Jahr 2021 auf 4,0 TWh im Jahr 2040 und sinkt danach bis 2050 auf 3,7 TWh. In diesen Szenarien wird auch der Kohleausstieg durch die bereits erfolgte Stilllegung des kohlebefeierten Fernheizkraftwerkes Mellach ersichtlich. Die Fernwärmeerzeugung aus Kohle wird in den Szenarien zunächst durch Erdgas ersetzt. Die anschließende Dekarbonisierung - in HS4 bis 2040 und in HS5 und HS6 bis 2050 - und die Deckung des in den Hauptszenarien steigenden Fernwärmeverbrauchs erfolgt durch Biomasse, Biomethan, Wasserstoff, Wärmepumpen und Geothermie. Tabelle 24 gibt einen Überblick über die in den Szenarien zur Fernwärmeerzeugung eingesetzten Energieträger. Geothermie wird in den vorliegenden Szenarien erstmals für die Fernwärmeaufbringung als wichtige Energiequelle mitberücksichtigt, da sie laut derzeitigem

Erkenntnisstand eine wichtige Rolle für die Dekarbonisierung der Fernwärme in der Steiermark spielen kann. Der Ausstieg aus Erdgas in der Fernwärmeerzeugung wird, vor allem in KWKs, welche auch weiterhin eine hohe Relevanz in der Steiermark sowohl für die Fernwärme als auch für die Versorgungssicherheit von Strom haben werden, durch den Einsatz von Wasserstoff und Biomethan bewerkstelligt.²¹

Tabelle 24: HS4, HS5 und HS6 – Fernwärmeerzeugung; Quelle: Berechnungen AEA

Fernwärmeerzeugung (TWh)	Historisch	HS4			HS5 u. HS6		
	2021	2030	2040	2050	2030	2040	2050
Fossil	1,5	1,1	0,1	0,1	1,2	0,5	0,1
Biogen-fest	1,6	2,0	2,4	1,7	2,0	2,3	1,7
Biogen-gasförmig	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Elektrische Energie	0,0	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2
Wasserstoff	0,0	0,0	0,3	0,5	0,0	0,2	0,5
Umgebungswärme	0,1	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4
Geothermie	0,0	0,1	0,6	0,7	0,1	0,6	0,7
Gesamt	3,1	3,6	4,0	3,7	3,7	4,0	3,7

4.4 Wasserstoff

In den Szenarien wird der Einsatz von Wasserstoff weitgehend nur für die Anwendungen vorgesehen, für die es keine Alternativen zur Dekarbonisierung gibt: für Hochtemperaturprozesse und chemische Prozesse in der Industrie, für die Strom- und Fernwärmeerzeugung in KWK (oder Brennstoffzellen) und in geringen Mengen im Verkehr. Der Einsatz von Wasserstoff im Niedertemperaturbereich zur Bereitstellung von Raumwärme oder Warmwasser wird in keinem der Szenarien unterstellt, da dies aus technischer Sicht weder sinnvoll noch plausibel ist.

Grundsätzlich sehen die Planungen der Fernleitungsnetzbetreiber vor, ab 2030 jeweils einen Leitungsstrang der Trans-Austria-Gasleitung (TAG) und der West-Austria-Gasleitung (WAG) für den Wasserstoffbetrieb umzurüsten. Dies erfolgt in zeitlicher Abstimmung mit den Nachbarländern Italien und Deutschland. Damit sind Wasserstoffimporte ab 2030 möglich, nähere Informationen hierzu werden im Integrierten österreichischen Netzinfrastrukturplan (NIP) gegeben (BMK, 2023b). Die Grundannahme in den Hauptszenarien ist, dass bis 2030 ein größerer Teil des benötigten Wasserstoffs in der Steiermark erzeugt werden muss, da die Produktionskapazitäten für Wasserstoff im Ausland bis 2030 begrenzt sein werden und dadurch die Importmöglichkeiten bis 2030 sehr eingeschränkt sind. Dies wird sich im Laufe der Zeit durch günstigere Wasserstoffproduktion im Ausland und die nach 2030 verfügbaren Wasserstoffpipelines reduzieren. Das Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) und das Bundesministerium für Arbeit und Wirtschaft (BMDW) haben im Jahr 2022 eine Wasserstoffimportstrategie erarbeiten lassen, in der weitere Informationen zu Wasserstoffimportrouten und möglichen Kosten für

²¹ Abwärme wird in der Tabelle unten und den Grafiken nicht separat dargestellt (sondern ist in den zugrundeliegenden Energieträgern z.B. Biogen-fest enthalten). Der Abwärmekataster III der Steiermark (AEE Intec, 2021) zeigt die Abwärmepotenziale in der Steiermark auf.

Wasserstoffproduktion und -transport gegeben werden, siehe dazu (BMK und BMDW, 2022). Aus heutiger Sicht erscheinen die Annahmen des Hauptszenarios mit steigenden Wasserstoffimportquoten von 2030 bis 2050 als plausibelste Variante für den Wasserstoffimport. Der Wasserstoffbedarf für die energetische Nutzung variiert in den Hauptszenarien, Tabelle 25 zeigt die Wasserstoffmengen, die in den Hauptszenarien insgesamt benötigt werden. Zusätzlich ist in

Tabelle 26 die Aufteilung des Wasserstoffeinsatzes auf Importe und Produktion in der Steiermark für die Szenario-Varianten dargestellt.

Tabelle 25: Wasserstoffbedarf in den Hauptszenarien; Quelle: Berechnungen AEA

	HS4			HS5 u. HS6		
	2030	2040	2050	2030	2040	2050
Wasserstoff (exkl. saisonale Speicher) (GWh)	550	4.850	5.250	500	3.150	5.250
Wasserstoff (Mio. m ³)	200	1.600	1.750	150	1.050	1.750

Tabelle 26: Wasserstoffimport und -produktionsquoten in der Steiermark; Quelle: Berechnungen AEA

	HS4 / HS5 / HS6 – Hauptszenario	HS4.1 / HS5.1 / HS6.1 – 50 %-Import	HS4.2 / HS5.2 / HS6.2 – 75 %-Import	HS4.3 / HS5.3 / HS6.3 – 25 %-Import
H2-Import (bilanziell)	2030: 25 %	2030: 50 %	2030: 75 %	2030: 25 %
	2040: 50 %	2040: 50 %	2040: 75 %	2040: 25 %
	2050: 75 %	2050: 50 %	2050: 75 %	2050: 25 %
H2-Produktion (bilanziell)	2030: 75 %	2030: 50 %	2030: 25 %	2030: 75 %
	2040: 50 %	2040: 50 %	2040: 25 %	2040: 75 %
	2050: 25 %	2050: 50 %	2050: 25 %	2050: 75 %

Aus den Faktoren Wasserstoffbedarf, Import- und Produktionsquote und Wirkungsgrad (angenommen 0,65) lässt sich der Stromverbrauch für die Wasserstoffproduktion in den Szenarien berechnen. In Tabelle 27 sind beispielhafte Ergebnisse für die Varianten des HS4 dargestellt. Sie zeigt, wie groß die Unterschiede des zusätzlichen Stromverbrauchs für die Wasserstoffproduktion in der Steiermark bei unterschiedlichen Importquoten für Wasserstoff sind.

Tabelle 27: Stromverbrauch für die Wasserstoffproduktion in der Steiermark; Quelle: Berechnungen AEA

Stromverbrauch für inländische H2-Produktion (in GWh)	HS4.0 Hauptszenario	HS4.1 – 50 %- Import	HS4.2 – 75 %- Import	HS4.3 – 25 %- Import
2030	640	430	210	640
2040	3.700	3.700	1.850	5.550

2050

2.000

3.990

2.000

5.990

4.5 E-Fuels

Der mögliche zukünftige Einsatz von E-Fuels im Verkehr wird sowohl in Österreich als auch auf EU-Ebene breit diskutiert, obwohl diese noch nicht kommerziell verfügbar sind. Derzeit gibt es weltweit nur wenige Demonstrationsanlagen zur Herstellung von E-Fuels.

In HS4 und den HS4 Varianten wird für den Luftverkehr gemäß des Masterplan Mobilität (100 % klimaneutraler Luftverkehr 2040) der Einsatz von SAF mit 45% E-Fuels angenommen. HS5 und HS6 basieren auf dem aktuellen ReFuelEU Aviation Vorschlag der Europäischen Kommission (Eurocontrol, 2021) (EASA, 2023). Dieser Vorschlag geht von verbindlichen Mindestmengen für SAF und E-Fuels von 2025 bis 2050 aus. Im Jahr 2050 beträgt der SAF-Anteil insgesamt 63 % des Flugtreibstoffeinsatzes (bzw. 28 % E-Fuel-Anteil).

Für Personenkraftwagen hat die EU im Frühjahr 2023 ein gesetzlich verankertes Verkaufsverbot für neue kohlenstoffemittierende Fahrzeuge - mit einer Ausnahme - für das Jahr 2035 beschlossen. Diese Ausnahme betrifft Verbrennungsmotoren, die mit E-Fuels betrieben werden. Wie bereits oben erwähnt, wird in den letzten drei Varianten zusätzlich zum Flugverkehr (der in allen Szenarien teilweise mit E-Fuels dekarbonisiert wird) ein weiterer Einsatz von E-Fuels im Pkw-Verkehr in der Steiermark berücksichtigt. Die ersten beiden Varianten berücksichtigen in etwa eine Unter- und Obergrenze für die Jahre 2030 und 2040 auf Basis von Aussagen der AVL (AVL, 2023), die von „homöopathischen“ Mengen im Jahr 2030 und 1 % bis 2 % im Jahr 2035 ausgehen. Der Hintergrund für diese Annahme ist, dass die höheren Kosten für E-Fuels (AVL, 2023) (PIK, 2023) von Besitzern von Luxusautos oder Oldtimern bzw. Autoliebhabern getragen werden können, aber aufgrund der deutlich höheren Kosten im Vergleich zu batterieelektrischen Fahrzeugen zukünftig nicht von der Mehrheit der Pkw-Besitzer genutzt werden.

Grundsätzlich sehen Experten die Elektromobilität als die effizienteste Lösung, um den Pkw-Verkehr klimaneutral zu gestalten. Nach wie vor gibt es aber auch Organisationen, Unternehmen und Einzelpersonen, die den Einsatz synthetischer Kraftstoffe wie E-Fuels bewerben und diesem Energieträger eine hohe Bedeutung für die Dekarbonisierung des Pkw-Verkehrs beimessen. Die letzte Variante untersucht die Auswirkungen eines theoretischen Einsatzes von E-Fuels von 50 % des Pkw-Bestandes im Jahr 2040 auf die notwendige Stromerzeugung in der Steiermark.²² In dieser Variante ergibt sich ein zusätzlicher Bedarf an E-Fuels von 3,5 TWh im Jahr 2040. Werden diese E-Fuels zu 100% in der Steiermark erzeugt, erhöht sich der Bedarf an erneuerbarer Stromerzeugung in der Steiermark um 8,7 TWh. Um diese 8,7 TWh durch Windkraftanlagen zu erzeugen, wären 830 zusätzliche Windkraftanlagen (a 4,8 MW und 2.200 h/a) in der Steiermark notwendig. Auch der Import von E-Fuels in größerem Umfang ist derzeit äußerst unwahrscheinlich. Derzeit sind laut PIK (2023) weltweit ca. 60 neue E-Fuel-Projekte bis 2035 angekündigt. Von diesen Ankündigungen hat bisher nur ca. 1 Prozent eine finale Investitionsentscheidung. Selbst unter der Annahme, dass alle diese angekündigten Projekte finanziert und gebaut werden, würde dieses Angebot nicht einmal 10 % der deutschen Nachfrage in den unverzichtbaren E-Fuel-Anwendungen (Flugverkehr, Schiffsverkehr und stoffliche Nutzung in der Chemie) decken. Selbst bei höheren Wachstumsraten der E-Fuel-Produktion, wie sie bei der Produktion von Solar-PV-Modulen zu beobachten sind, könnte dieses Angebot im Jahr 2035 nur 50 % der unverzichtbaren deutschen

²² Im Lkw-Bereich ist der Einsatz von E-Fuels aufgrund der relativ hohen Kosten und des hohen Wettbewerbsdrucks in der Logistikbranche aufgrund der geringen Margen sehr unwahrscheinlich und wird in den hier dargestellten Varianten nicht berücksichtigt.

Nachfrage decken. Dies verdeutlicht, dass die internationalen E-Fuel-Produktionskapazitäten bis 2040 nicht ausreichen werden um den europäischen E-Fuel-Bedarf für unverzichtbare Anwendungen zu decken, geschweige denn den Bedarf für einen signifikant hohen Anteil im Pkw-Verkehr.

In Tabelle 28 sind die E-Fuel-Mengen, die insgesamt in die Hauptszenarien (E-Fuel-Einsatz im Flugverkehr) und den Varianten (HS4.7 / HS5.7 / HS6.7, HS4.8 / HS5.8 / HS6.8, HS4.9 / HS5.9 / HS6.9) benötigt werden, dargestellt. Zusätzlich ist in Tabelle 30 die Aufteilung des E-Fuel-Bedarfs auf Importe und Produktion in der Steiermark für die Szenario-Varianten angeführt.

Tabelle 28: E-Fuel-Bedarf in den Varianten in dem Hauptszenario HS4 und relevanten Varianten; Quelle: Berechnungen AEA

E-Fuel-Bedarf (in GWh)	HS4 Hauptszenario	HS4.7 +Pkw niedrig	HS4.8 +Pkw hoch	HS4.9 +Pkw theoretisch
2030	0	30	30	260
2040	120	260	400	3.590
2050	120	260	390	3.400

Tabelle 29: E-Fuel-Bedarf in den Varianten in den Hauptszenarien HS5 / HS6 und relevanten Varianten; Quelle: Berechnungen AEA

E-Fuel-Bedarf (in GWh)	HS5 / HS6 Hauptszenario	HS5.7 / HS6.7 +Pkw niedrig	HS5.8 / HS6.8 +Pkw hoch	HS5.9 / HS6.9 +Pkw theoretisch
2030	0	30	30	260
2040	40	180	320	3.500
2050	120	270	400	3.420

Tabelle 30: E-Fuelimport und -produktionsquoten in der Steiermark; Quelle: Berechnungen AEA

	HS4 / HS5 / HS6 Hauptszenario	HS4.7 / HS5.7 / HS6.7 +Pkw niedrig	HS4.8 / HS5.8 / HS6.8 +Pkw hoch	HS4.9 / HS5.9 / HS6.9 +Pkw theoretisch
E-Fuel-Import (bilanziell)	2030: 25 %	2030: 25 %	2030: 25 %	2030: 25 %
	2040: 50 %	2040: 50 %	2040: 50 %	2040: 50 %
	2050: 75 %	2050: 75 %	2050: 75 %	2050: 75 %
E-Fuel -Produktion (bilanziell)	2030: 75 %	2030: 75 %	2030: 75 %	2030: 75 %
	2040: 50 %	2040: 50 %	2040: 50 %	2040: 50 %
	2050: 25 %	2050: 25 %	2050: 25 %	2050: 25 %

Aus den Faktoren E-Fuel-Bedarf, Import- und Produktionsquote und Wirkungsgrad (angenommen 0,4) lässt sich der Stromverbrauch für die E-Fuel-Produktion in den Szenarien berechnen. In Tabelle 31 sind beispielhafte Ergebnisse für die Varianten dargestellt. Die Ergebnisse in dieser Tabelle zeigen, wie die E-Fuel-Produktion in der Steiermark den Stromverbrauch in der Steiermark erhöhen kann. Die hier genannten Strommengen, die für die Herstellung von E-Fuels benötigt werden, sind relativ niedrig wegen hoher angenommener Importquoten, welche allerdings aus derzeitiger Sicht nicht plausibel sind, siehe Beschreibung der Analyse von zu internationaler E-Fuel Produktionskapazität.

Die AVL (2023) geht darüber hinaus von 1,5 EUR/l Produktionskosten für E-Fuel ohne Margen für Hersteller, Handel und Logistik, ohne Transportkosten und ohne Steuern im vollindustriellen Ausbau aus [Annahme, d.h. nach 2040]. Mit Direct Air Carbon Capture (DACC), die bei großindustrieller Produktion von importierten E-Fuels notwendig ist, um diese klimaneutral zu produzieren, wird der Preis darüber liegen, ohne DACC etwas darunter. Das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) (2023) beschreibt 2 EUR/l Produktionskosten mit DACC und industriellem Maßstab, ohne Steuern, Abgaben, Gewinnmargen. Dies entspricht laut PIK dem Vierfachen des typischen Großhandelspreises für fossiles Benzin von ca. 0,50 EUR pro Liter. Um Kostenparität mit fossilen Energieträgern zu erreichen, wären CO₂-Preise in der Größenordnung von 1.000 EUR/t CO₂ notwendig. Dies bedeutet, dass Pkw-Fahrer*innen für die Nutzung von E-Fuel das Drei- bis Vierfache der heutigen Kraftstoffkosten an der Tankstelle bezahlen müssten.²³ Aus diesen Gründen halten die Autoren die Variante HS4.9 / HS5.9 / HS6.9 für eine rein theoretische Variante.

Tabelle 31: Stromverbrauch für die E-Fuel-Produktion in der Steiermark für HS4 und relevanten Varianten; Quelle: Berechnungen AEA

Stromverbrauch für inländische E-Fuel-Produktion (in GWh)	HS4 Hauptszenario	HS4.7 +Pkw niedrig	HS4.8 +Pkw hoch	HS4.9 +Pkw unplausibel
2030	0	50	50	480
2040	150	330	500	4.480
2050	80	160	240	2.130

Tabelle 32: Stromverbrauch für die E-Fuel-Produktion in der Steiermark für HS5 / HS6 und relevanten Varianten; Quelle: Berechnungen AEA

Stromverbrauch für inländische E-Fuel-Produktion (in GWh)	HS5 / HS6 Hauptszenario	HS5.7 / HS6.7 +Pkw niedrig	HS5.8 / HS6.8 +Pkw hoch	HS5.9 / HS6.9 +Pkw theoretisch
2030	10	50	50	490
2040	50	220	400	4.380
2050	90	170	250	2.140

²³ Eine gute Übersicht über die Studienlage wurde durch die Energieagentur Steiermark in dem Bericht „E-Fuels“ erarbeitet (EA Steiermark, 2021).

4.6 Biomasse und Bio-Methan

Die Dekarbonisierung führt in den Szenarien zu einem verstärkten Einsatz von Biomasse und Biomethan, vor allem in der Industrie, den Haushalten und der Fernwärmeerzeugung. Der Bedarf an Biomasse und Biomethan setzt sich aus dem EEV-Bedarf der Verbrauchssektoren und dem Brennstoffbedarf der Strom- und Fernwärmeerzeugung zusammen. Der Einsatz von Biomethan im Haushaltssektor in den Szenarien basiert auf einem politischen Abstimmungsprozess und wurde langfristig auf 0,5 TWh festgelegt. Tabelle 33 zeigt die in den Hauptszenarien eingesetzten Brennstoffmengen aus fester Biomasse und aus Biomethan. Flüssige biogene Energieträger, derzeit vor allem Biodiesel und Bioethanol, werden in Zukunft in geringerem Umfang benötigt, da bei der angenommenen Elektrifizierung des Straßenverkehrs die Beimischungspflicht für Biokraftstoffe geringere Auswirkungen auf den Verbrauch flüssiger biogener Energieträger hat. Verbleibende Anwendungen für flüssige biogene Kraftstoffe werden vor allem im Luftverkehr angenommen. In den Hauptszenarien wurde der Einsatz von Biomasse und Biomethan unter Berücksichtigung der in der Steiermark vorhandenen Potenziale begrenzt.

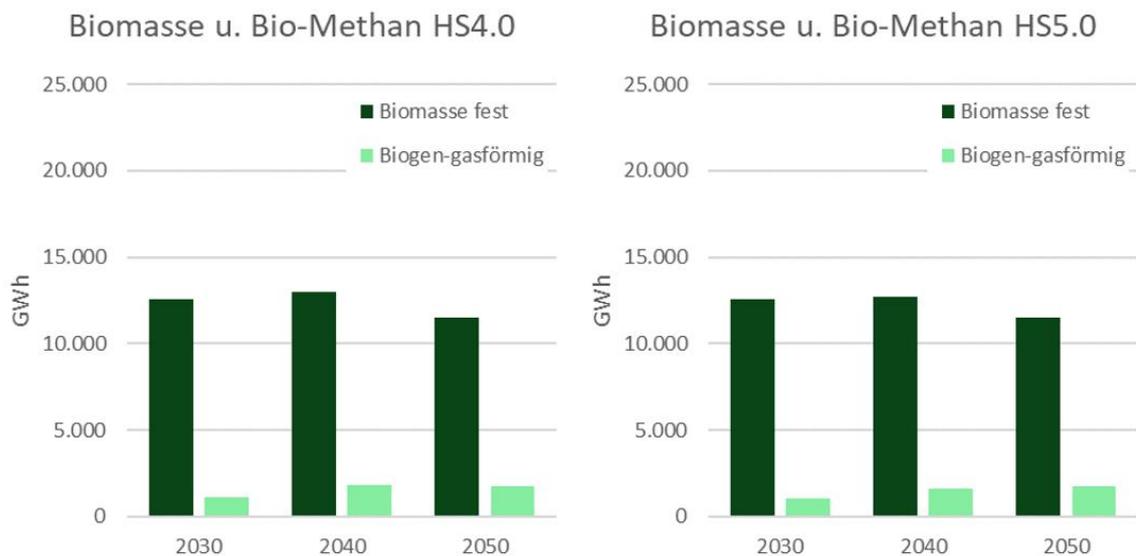


Abbildung 35: Biomasse und Bio-Methan in HS4, HS5 und HS6; Quelle: Berechnungen AEA

Tabelle 33: Biomasse und Bio-Methan in HS4, HS5 und HS6; Quelle: Berechnungen AEA

	Bestand	HS4.0			HS5.0 / HS6.0		
	2021	2030	2040	2050	2030	2040	2050
Biogen-fest (TWh)	12,5	12,6	13,0	11,5	12,6	12,7	11,5
Biogen-flüssig (TWh)	0,8	0,5	0,3	0,3	0,5	0,1	0,2
Biogen-gasförmig (TWh)	0,3	1,1	1,8	1,8	1,1	1,6	1,8

Die verwendeten Potenziale sind jene, die von der Montanuniversität Leoben in einer separaten Studie für das Bundesland Steiermark ermittelt wurden (MUL EVT, 2022). In dieser Studie wird das gesamte technische Potenzial für holzartige Biomasse mit 16,9 TWh angegeben (darin sind u.a. auch Schwarzlaugen aus der Papierindustrie enthalten). Für Biomethan wurden nutzbare Potenziale von 0,6 TWh bis 1,3 TWh berechnet

und für Synthetic Natural Gas (SNG) nutzbare Potenziale von 1,2 TWh bis 2,2 TWh beschrieben. Für die Nutzung der angegebenen Biomethan-Potenziale ist zu berücksichtigen, dass die hier zugrunde gelegten Stoffströme in vielen Bereichen derzeit bereits anderweitig genutzt werden. Bei Ausschöpfung der nutzbaren Potenziale für Synthetic Natural Gas, für deren Erzeugung holzartige Biomasse benötigt wird, reduzieren sich entsprechend die verbleibenden nutzbaren Potenziale für holzartige Biomasse für andere Nutzungen (z.B. stoffliche Nutzung, direkte energetische Nutzung, Nutzung als CO₂-Senke etc.).

Die Potenziale für Biomethan und feste Biomasse reichen auf Basis dieser Analyse aus, um den Verbrauch dieser Energieträger in den Szenarien für 2030 direkt, ohne SNG, zu decken. Der scheinbar notwendige Einsatz von SNG nach 2030 sollte in einigen Jahren auf Basis der bis dahin gewonnenen Erkenntnisse und der technologischen Entwicklung von SNG-Anlagen nochmals überprüft werden. SNG hat den Nachteil, dass es auf holzartige Biomasse zurückgreift, die auch direkt energetisch, stofflich oder als CO₂-Senke genutzt werden kann. Zudem gibt es nach Expertenmeinung derzeit keine großindustriellen Produktionsanlagen für SNG, die über dauerhaft stabile Produktionsprozesse verfügen und wirtschaftlich betrieben werden können. Diese Aspekte sollten bei der Prüfung für den Einsatz von SNG berücksichtigt werden. Weiters kann für den Fall, dass der Einsatz von SNG auch in Zukunft nicht wirtschaftlich darstellbar ist, der zukünftige Biomethanverbrauch in der Steiermark nochmals überprüft werden. Es ist möglich, dass sowohl der Biomethaneinsatz (ca. 0,1 TWh in 2030 und 0,5 TWh in 2040/2050) in der Industrie, im Haushaltsbereich (ca. 0,3 TWh in 2030 und 0,5 TWh in 2040/2050) oder in der Strom- und Fernwärmeerzeugung (ca. 0,7 TWh in 2030-2050) durch andere Energieträger substituiert werden kann.

4.7 Erneuerbaren-Anteile in den Hauptszenarien

Im Folgenden werden die Ergebnisse aller Hauptszenarien (HS4, HS5 und HS6) hinsichtlich der Entwicklung der Anteile erneuerbarer Energien insgesamt sowie in den einzelnen Sektoren (Stromerzeugung, Fernwärmeerzeugung und Verkehr) dargestellt. Diese Anteile wurden entsprechend der EU-Richtlinie 2009/28/EG berechnet.

In allen Szenarien steigen die Anteile der erneuerbaren Energien kontinuierlich an. Im HS4 geschieht dies schneller, da in diesem Szenario die Klimaneutralität bereits bis 2040 erreicht werden soll. Die in 2040 verbleibenden nicht-erneuerbaren Anteile in HS4 beruhen auf Stromimporten, die entsprechend der Berechnungsmethodik als nicht-erneuerbar bewertet werden. Auch im Jahr 2050 verbleiben noch geringe Restmengen an nicht erneuerbaren Energieträgern, hauptsächlich durch die Verbrennung von nicht erneuerbaren Abfällen (auch ersichtlich in der Fernwärme- und Stromerzeugung). Abbildung 36 und Tabelle 34 zeigen die Anteile der erneuerbaren Energieträger insgesamt für HS4, HS5 und HS6 für die Jahre 2030, 2040 und 2050 zusammen mit der historischen Entwicklung. Die Ergebnisse für alle Szenarien zeigen, dass bis 2030 ein Anteil erneuerbarer Energien von 53 % in der Steiermark erreicht werden kann. Dieser Wert liegt in der Nähe des in Kapitel 2.3 abgeleiteten Zielbereichs für diesen Indikator, der laut NEKP-Entwurf für die Steiermark 54 % bis 60 % beträgt. Falls die Importquote für Strom von 20 % auf 15,6 % für 2030 als Grundannahme verändert wird und somit sowohl der Wind- als auch das PV-Ausbau wie im NIP-Entwurf angenommen wird, kann ein Erneuerbarer Anteil von 55 % in der Steiermark erreicht werden. Dies liegt deutlicher in dem vereinfacht abgeleiteten Zielbereich für diesen Indikator.

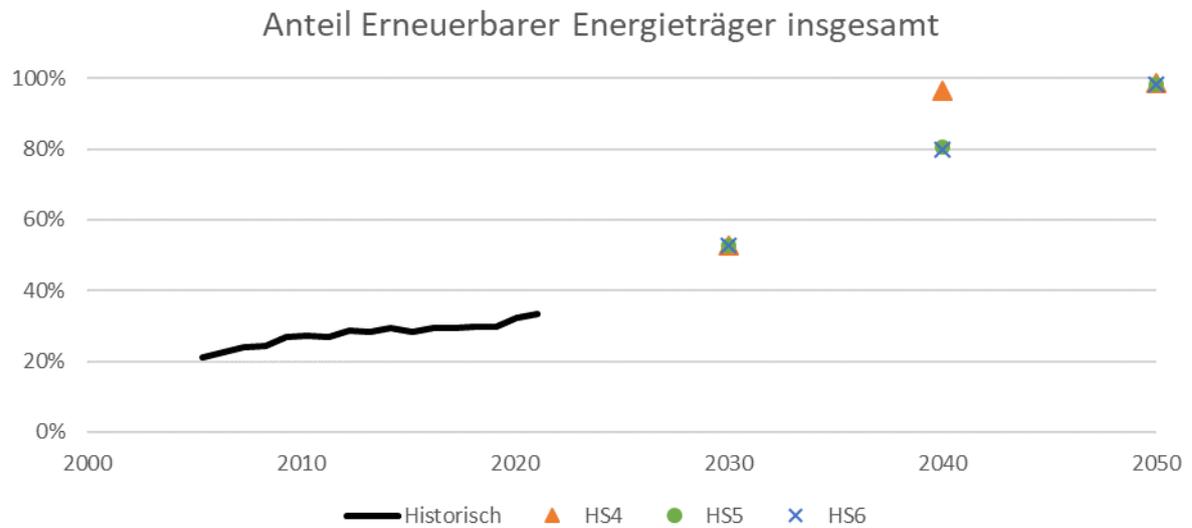


Abbildung 36: Anteil Erneuerbarer Energieträger – HS4, HS5 und HS6; Quelle: Statistik Austria (Statistik Austria, 2022) und Berechnungen AEA

Tabelle 34: Anteil Erneuerbarer Energieträger – HS4, HS5 und HS6; Quelle: Statistik Austria (Statistik Austria, 2022) und Berechnungen AEA

	2030	2040	2050
Hauptszenario 4	53 %	96 %	99 %
Hauptszenario 5	53 %	81 %	98 %
Hauptszenario 6	53 %	80 %	98 %

Abbildung 37 und Tabelle 35 zeigen die Anteile der erneuerbaren Energieträger an der Stromerzeugung für HS4, HS5 und HS6. Stromimporte werden als nicht erneuerbar bewertet und Restmengen aus nicht erneuerbarer Abfallverbrennung entsprechend berücksichtigt.

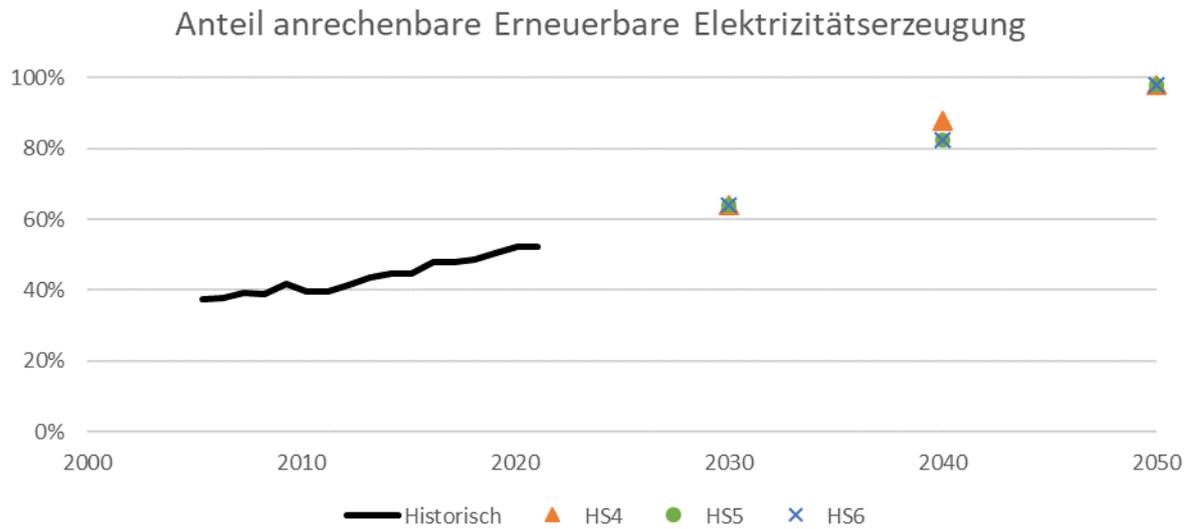


Abbildung 37: Anteil Erneuerbare im Sektor Elektrizitätserzeugung – HS4, HS5 und HS6; Quelle: Statistik Austria (Statistik Austria, 2022) und Berechnungen AEA

Tabelle 35: Anteil Erneuerbare im Sektor Elektrizitätserzeugung – HS4, HS5 und HS6; Quelle: Statistik Austria (Statistik Austria, 2022) und Berechnungen AEA

	2030	2040	2050
Hauptszenario 4	64 %	88 %	98 %
Hauptszenario 5	64 %	82 %	98 %
Hauptszenario 6	64 %	82 %	98 %

Abbildung 38 und Tabelle 36 zeigen die Entwicklung des Anteils erneuerbarer Energien im Fernwärmesektor. Die Abbildung verdeutlicht, dass mit dem zunehmenden Ausstieg aus der erdgasbefeuerten Fernwärmeerzeugung der erneuerbare Anteil an der Fernwärmeerzeugung steigt. Auch hier verursachen Restmengen aus nicht erneuerbarer Abfallverbrennung, bei betriebseigenen Anlagen, die Abwärme liefern, eine Reduktion des Anteils an anrechenbarer Erneuerbarer Fernwärmeerzeugung.

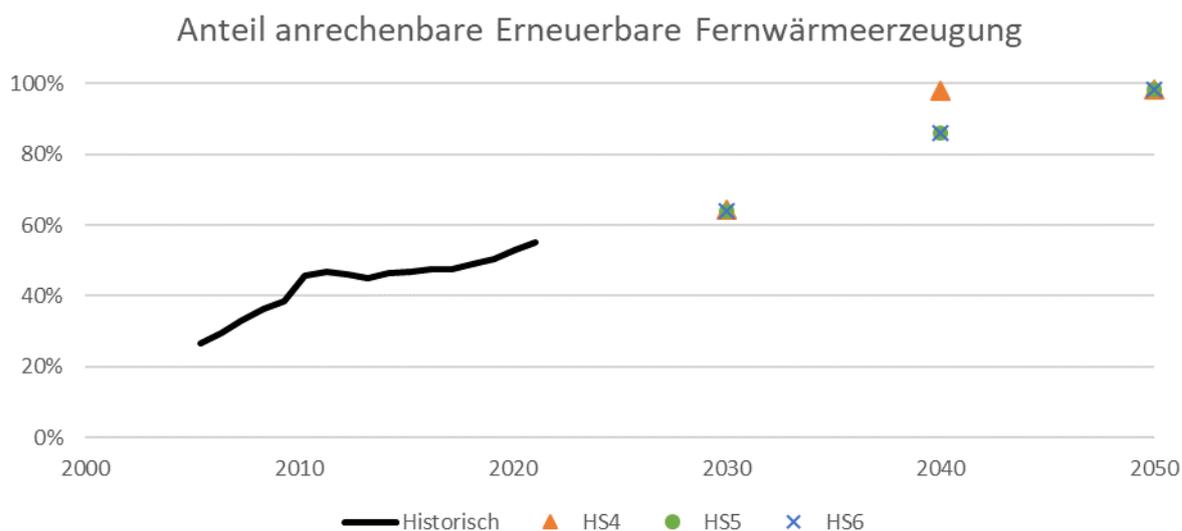


Abbildung 38: Anteil Erneuerbare im Sektor Fernwärmeerzeugung – HS4, HS5 und HS6; Quelle: Statistik Austria (Statistik Austria, 2022) und Berechnungen AEA

Tabelle 36: Anteil Erneuerbare im Sektor Fernwärmeerzeugung – HS4, HS5 und HS6; Quelle: Statistik Austria (Statistik Austria, 2022) und Berechnungen AEA

	2030	2040	2050
Hauptszenario 4	65 %	98 %	99 %
Hauptszenario 5	64 %	86 %	99 %
Hauptszenario 6	64 %	86 %	99 %

Abbildung 39 und Tabelle 37 zeigen die Anteile der anrechenbaren erneuerbaren Energieträger im Verkehr. Historisch betrachtet haben biogene Kraftstoffe den größten positiven Effekt auf den erneuerbaren Anteil. In den Zukunftsszenarien spielen vor allem das Verkehrsaufkommen sowie die Elektrifizierung des Verkehrs und damit der erneuerbare Anteil an der Strombereitstellung eine Rolle. Für die Berechnung wird angenommen, dass sowohl Wasserstoff als auch E-Fuels als erneuerbar bewertet werden können.

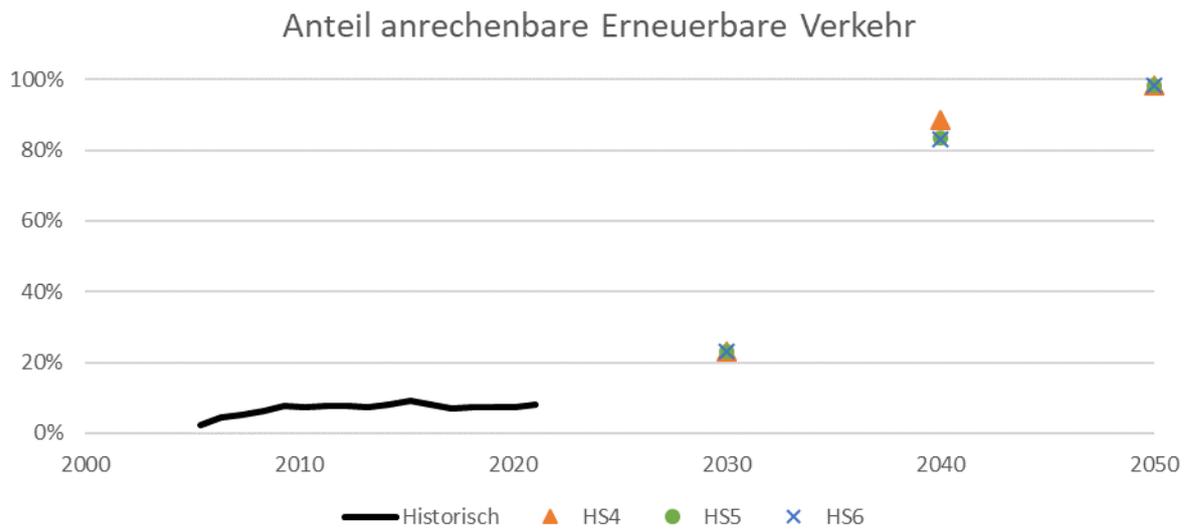


Abbildung 39: Anteil anrechenbare Erneuerbare im Sektor Verkehr – HS4, HS5 und HS6; Quelle: Statistik Austria (Statistik Austria, 2022) und Berechnungen AEA

Tabelle 37: Anteil anrechenbare Erneuerbare im Sektor Verkehr – HS4, HS5 und HS6; Quelle: Statistik Austria (Statistik Austria, 2022) und Berechnungen AEA

	2030	2040	2050
Hauptszenario 4	23 %	89 %	98 %
Hauptszenario 5	23 %	83 %	98 %
Hauptszenario 6	23 %	83 %	98 %

In den folgenden Abbildungen werden die Anteile erneuerbarer Energien, erneuerbarer Stromerzeugung, erneuerbarer Fernwärmeerzeugung und erneuerbarer Verkehrsanteile noch einmal getrennt für die einzelnen Szenarien dargestellt.

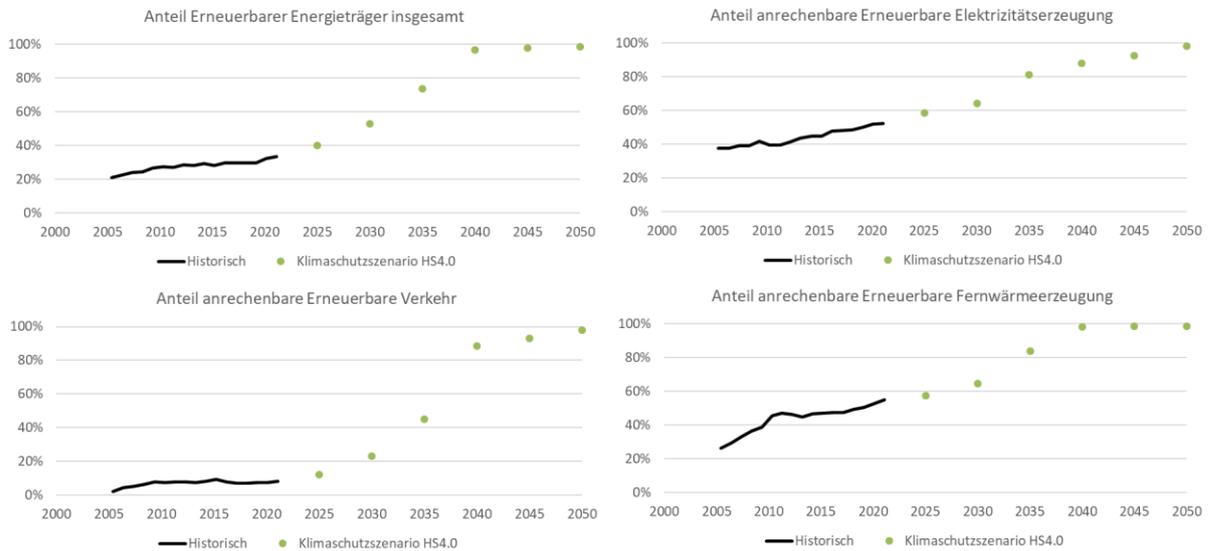


Abbildung 40: Anteil Erneuerbare, Anteil Erneuerbare Stromerzeugung, Anteil Erneuerbare Fernwärmeerzeugung und Anteil Erneuerbare Verkehr HS4; Quelle: Statistik Austria (Statistik Austria, 2022) und Berechnungen AEA

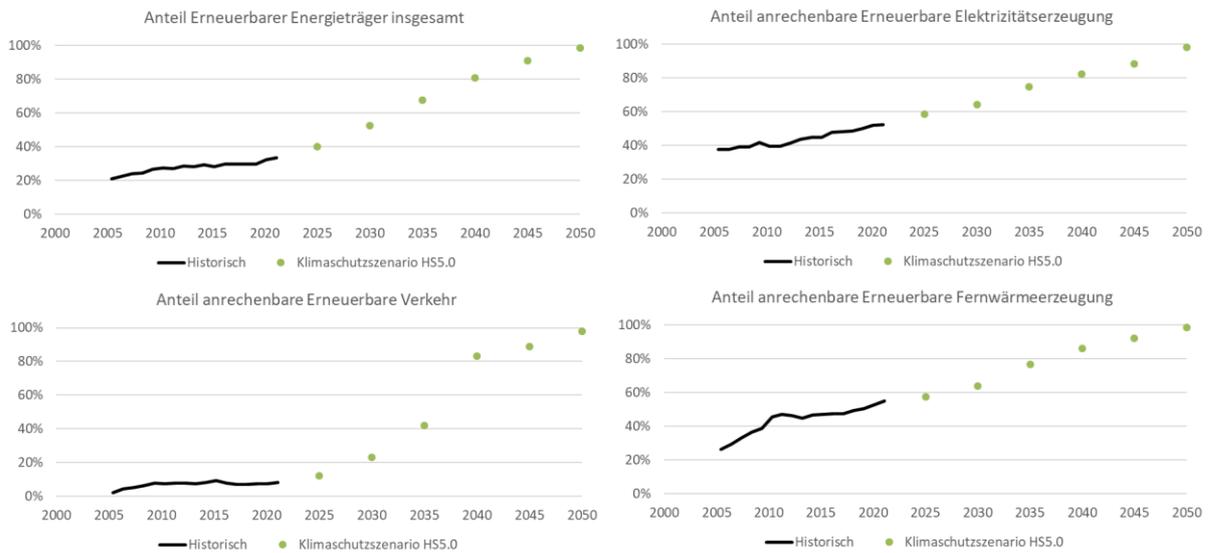


Abbildung 41: Anteil Erneuerbare, Anteil Erneuerbare Stromerzeugung, Anteil Erneuerbare Fernwärmeerzeugung und Anteil Erneuerbare Verkehr HS5; Quelle: Statistik Austria (Statistik Austria, 2022) und Berechnungen AEA

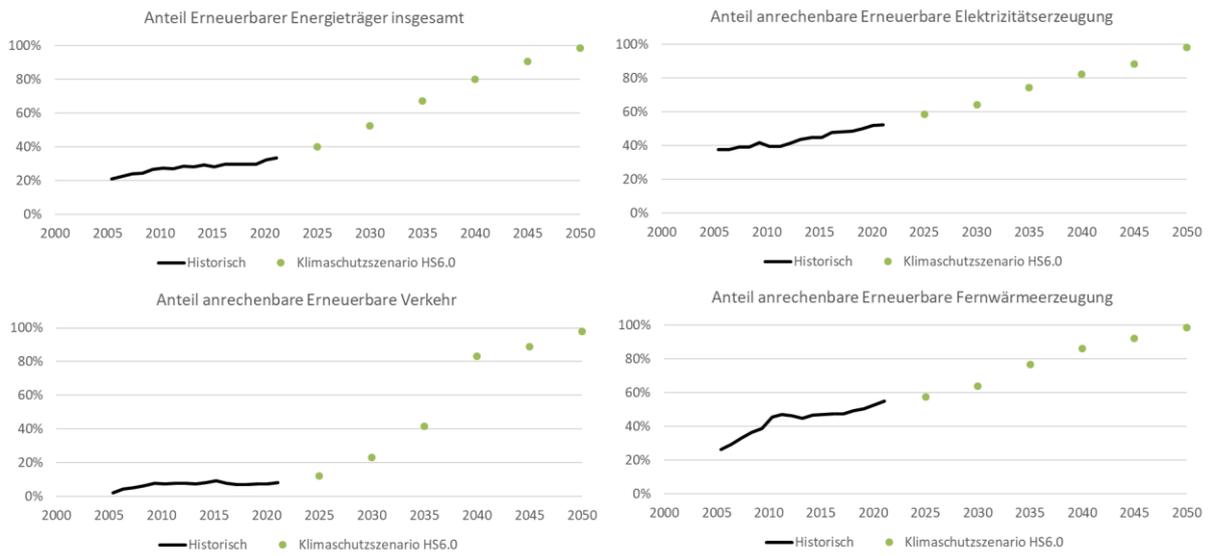


Abbildung 42: Anteil Erneuerbare, Anteil Erneuerbare Stromerzeugung, Anteil Erneuerbare Fernwärmeerzeugung und Anteil Erneuerbare Verkehr H56; Quelle: Statistik Austria (Statistik Austria, 2022) und Berechnungen AEA

5 Treibhausgasemissionen

Die Treibhausgasemissionen der Hauptszenarien sind in Abbildung 43, Abbildung 45 und Abbildung 47 dargestellt. Für die Berechnung der Treibhausgasemissionen wurden sowohl energetische Emissionen als auch nichtenergetische Emissionen wie Prozessemissionen der Industrie sowie Emissionen aus der Landwirtschaft, dem Abfallsektor und durch F-Gase berücksichtigt.

Die Treibhausgasemissionen des Landes Steiermark werden vom Umweltbundesamt im Rahmen der Luftschadstoffinventur der Bundesländer laufend erhoben und veröffentlicht. In den Jahren 1990 bis 2000 lagen die Treibhausgasemissionen zwischen 14,0 und 14,7 Mio. t CO₂eq. Danach kam es zu einem Anstieg bis zu einem Höchstwert von 16,1 Mio. t CO₂eq im Jahr 2003, gefolgt von einem leichten Rückgang, der durch die Wirtschaftskrise im Jahr 2009 deutlich verstärkt wurde. Im Jahr 2009 betrug die Treibhausgasemissionen rund 13,1 Mio. t CO₂eq. Seitdem ist wieder ein leichter Aufwärtstrend zu verzeichnen, der im Jahr 2017 zu Emissionen in Höhe von 14,1 Mio. t CO₂eq führte. Im Jahr 2020 kam es aufgrund der Auswirkungen der Covid-19-Pandemie auf die Wirtschaft zu einer starken THG-Reduktion, die bis 2021 wieder weitgehend kompensiert wurde. Die THG-Effekte durch den russischen Angriffskrieg in der Ukraine und die damit verbundenen Entwicklungen auf die Gaspreise und den Rückgang des Gasverbrauchs sind in der historischen Entwicklung aufgrund fehlender Daten noch nicht abgebildet. Weitere Analysen zu den steirischen Treibhausgasemissionen sind in den Klimaberichten der Steiermärkischen Landesregierung gut dargestellt.

Seit 2005 werden die Sektoren Energie und Industrie in den Emissionshandelsbereich (ETS-Bereich) und den Nicht-Emissionshandelsbereich (Non-ETS-Bereich) unterteilt. Die rechtliche Verpflichtung für die Zielerreichung im ETS-Bereich liegt grundsätzlich nicht bei Österreich bzw. der Steiermark, sondern auf EU-Ebene. Der ETS-Bereich wird in der vorliegenden Studie dennoch berücksichtigt, da er einen wesentlichen Beitrag zu den in der Steiermark verursachten Gesamtemissionen leistet.

In Abbildung 43, Abbildung 45 und Abbildung 47 zeigen, dass durch die oben beschriebenen, und im Anhang zum Teil ausgeführten Maßnahmenwirkungen in allen Szenarien die THG-Ziele für die Steiermark noch nicht direkt erreicht werden können. Zur Zielerreichung sind Zukäufe von ETS-Zertifikaten oder die Nutzung von kostenlos zugeteilten ETS-Zertifikaten durch die steirischen Industrie- und Energieunternehmen notwendig. Dies ist in den Detailanalysen auf Sektor-Ebene in Abbildung 44, Abbildung 46 und Abbildung 48 sichtbar.

Die Reduktionsschritte der THG-Emissionen im Energie- und Industriesektor sowie der Gesamtemissionen basieren auf der Umstellung der Stahlindustrie (siehe Kapitel 3.2). Die Übererfüllung der THG-Zielpfade im Gebäudebereich beruht auf der Annahme eines linearen Ausstiegs aus Öl-Heizsystemen von 2022 bis 2035 und von Gas-Heizsystemen von 2025 bis 2040. Wenn nur das THG-Ziel für den Gebäudebereich hinterlegt wird, würde dies einen nicht linearen Ausstieg von vor allem Gas-Heizsystemen erlauben. Allerdings sind die THG-Emissionseinsparungen im Gebäudebereich wichtig um andere Sektoren zu kompensieren und ebenfalls wichtig um die Ziele bezüglich Anteil Erneuerbarer Energien zu erreichen.

5.1 Treibhausgasemissionen HS4

In der HS 4 können die THG-Emissionen bis 2030 auf 8,5 Mio. t CO₂-Äquivalente reduziert werden. Dies entspricht einer Reduktion von minus 48 % gegenüber 2005 (anstelle der angestrebten Reduktion von 55 % der

Gesamtemissionen – die Summe des Zieles für den Emissionshandels und den Nicht-Emissionshandelssektoren in der Steiermark).

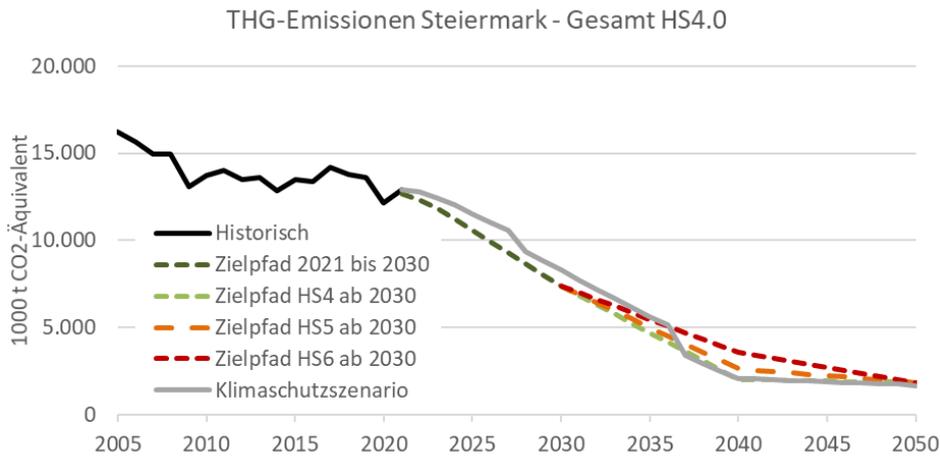


Abbildung 43: Steirische Treibhausgasemissionen mit Entwicklung aus HS4 bis 2050, Klimaschutzscenario = HS4; Quelle: (UBA, 2019a), Berechnungen AEA

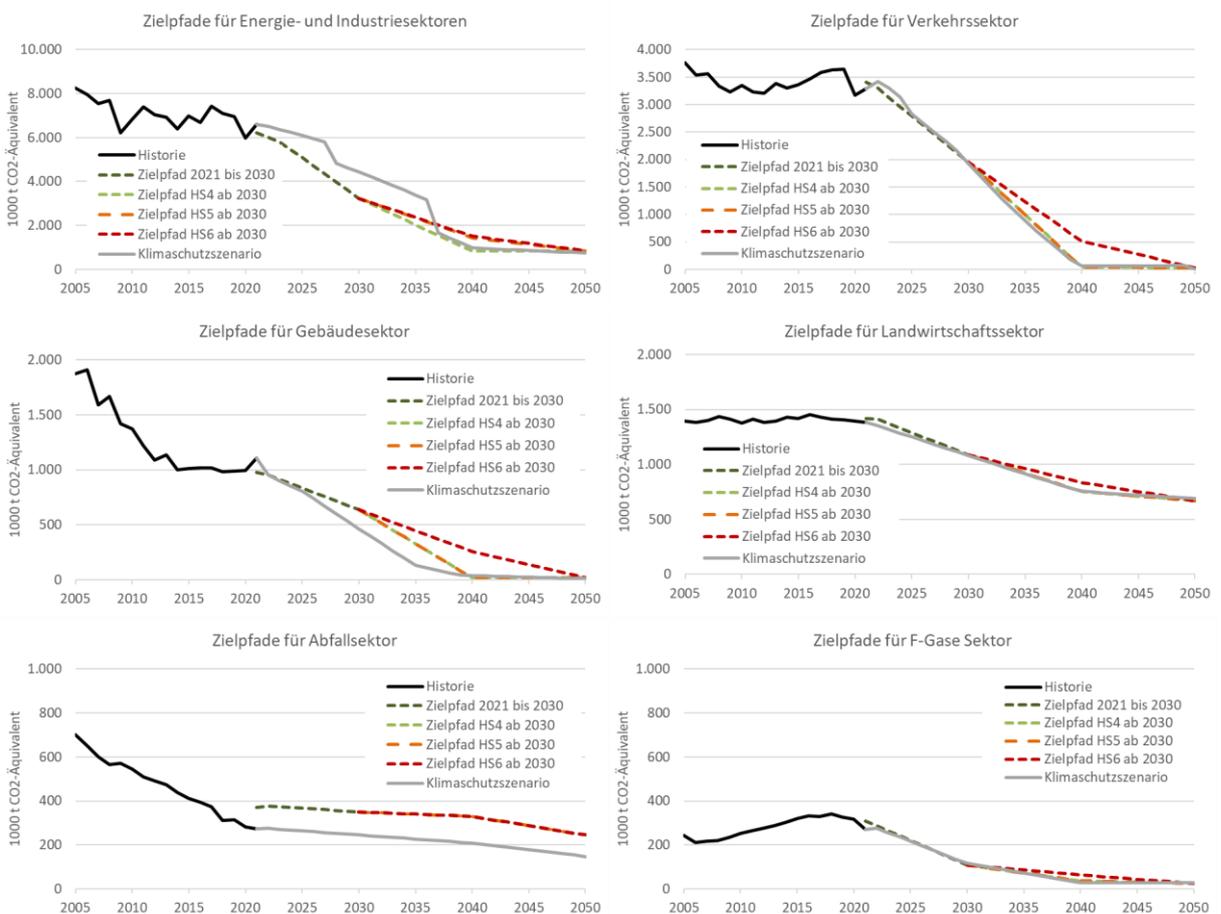


Abbildung 44: Steirische Treibhausgasemissionen je Sektor mit Entwicklung aus HS4 bis 2050, Klimaschutzscenario = HS4; Quelle: (UBA, 2019a), Berechnungen AEA

5.2 Treibhausgasemissionen HS5

Mit den gewählten Szenario-Annahmen können in HS 5 die THG-Emissionen bis 2030 auf 8,5 Mio. t CO₂-Äquivalente reduziert werden. Dies entspricht einer Reduktion von minus 48%.

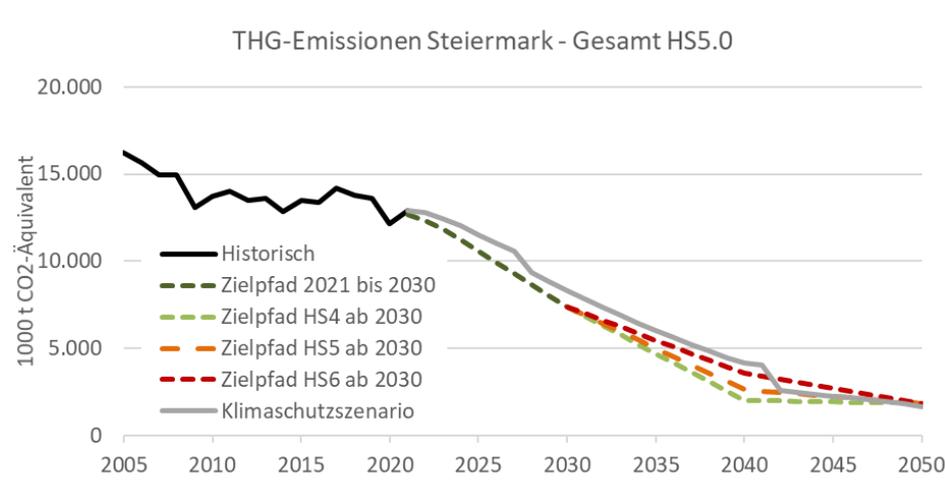


Abbildung 45: Steirische Treibhausgasemissionen mit Entwicklung aus HS5 bis 2050, Klimaschutzszenario = HS5; Quelle: (UBA, 2019a), Berechnungen AEA

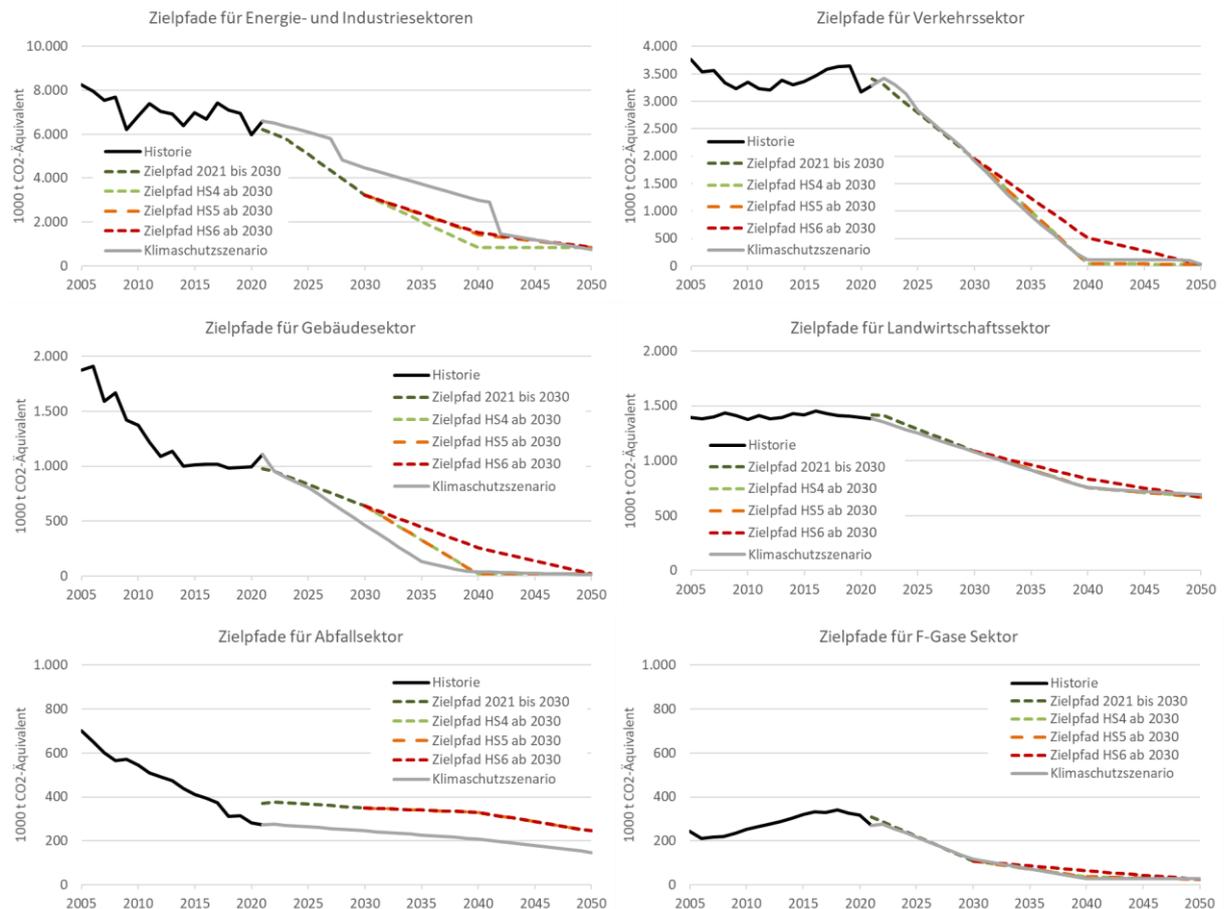


Abbildung 46: Steirische Treibhausgasemissionen je Sektor mit Entwicklung aus HS5 bis 2050, Klimaschutzszenario = HS5; Quelle: (UBA, 2019a), Berechnungen AEA

5.3 Treibhausgasemissionen HS6

Mit der hinterlegten Entwicklung können auch in HS 6 die THG-Emissionen bis 2030 auf 8,5 Mio. t CO₂-Äquivalente reduziert werden. Dies entspricht einer Reduktion von minus 48%.

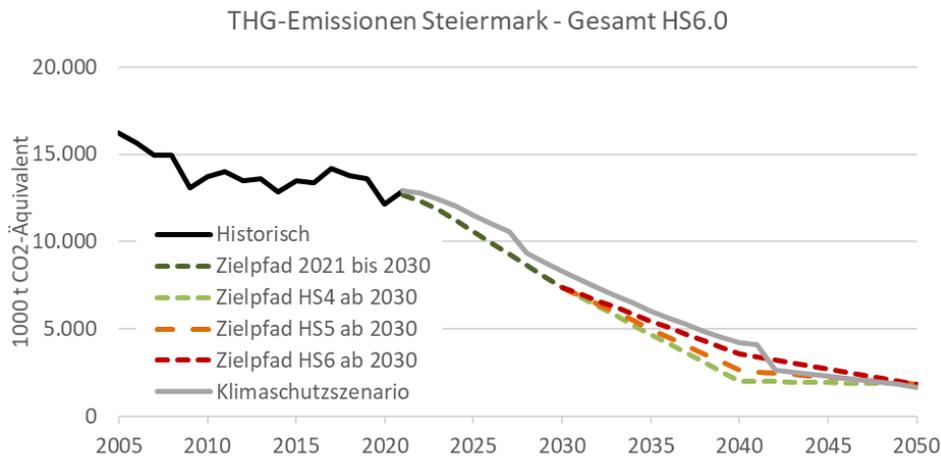


Abbildung 47: Steirische Treibhausgasemissionen mit Entwicklung aus HS6 bis 2050, Klimaschutzscenario = HS6; Quelle: (UBA, 2019a), Berechnungen AEA

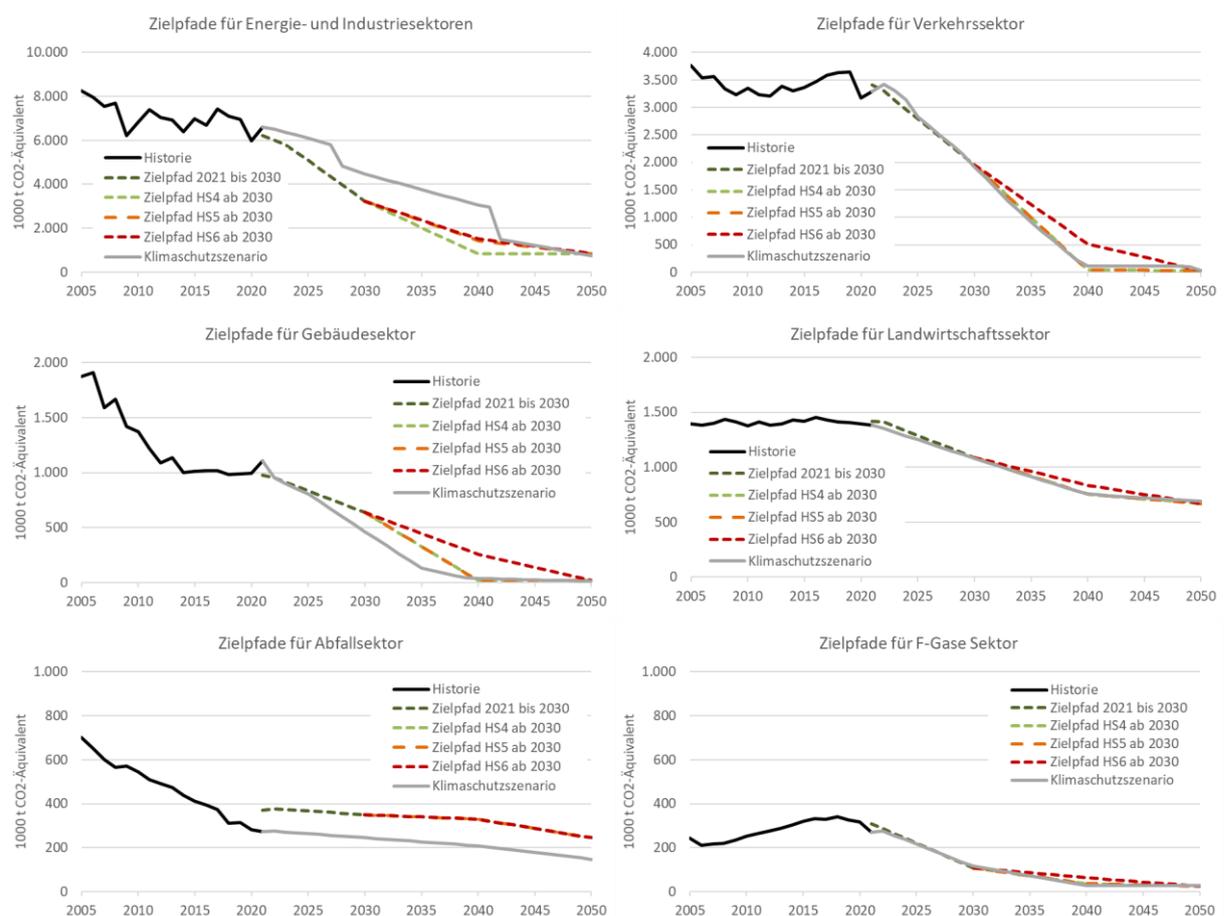


Abbildung 48: Steirische Treibhausgasemissionen je Sektor mit Entwicklung aus HS6 bis 2050, Klimaschutzscenario = HS6; Quelle: (UBA, 2019a), Berechnungen AEA

6 Monitoring-Indikatoren

In diesem Kapitel werden wesentliche Monitoring-Indikatoren und Indikator-Zielpfade für den Gebäude-, Verkehrs- und Energiebereich auf Basis der den Szenarien zugrunde gelegten Modellierung beschrieben, da in diesen Sektoren entsprechende Landeskompetenzen vorliegen und diese direkt auf den Energieverbrauch und die Energieaufbringung in der Steiermark wirken.²⁴ Grundsätzlich sollte der Fortschritt bei der Umsetzung von Maßnahmen und deren Wirkungen kontinuierlich – mindestens jährlich - evaluiert werden, um erforderlichenfalls zusätzliche Maßnahmen treffen und bestehende Maßnahmen nachbessern zu können. Ein Monitoring der Maßnahmen des Aktionsplans ist in der Steiermark bereits vorhanden. Die hier vorgeschlagenen Monitoring-Indikatoren können zusätzlich als Basis für eine Weiterentwicklung von Maßnahmen und die Evaluierung der Zielerreichung dienen. Der hier beschriebene Prozess, wird nochmals in Abbildung 49 illustriert.

Festlegung von Klima- und Energiezielen auf Landesebene

- Politische Einigung auf Zielvorgaben im Land, im Einklang mit EU- und AT-Zielen, gemeinsam mit Zielpfaden für:
 - Treibhausgasemissionen mit Sektorzielen
 - Energieverbrauch
 - Erneuerbaren Ausbau und Erneuerbaren Anteil

Maßnahmen entsprechend der Ziele konzipieren

- Maßnahmenwirkungen auf CO₂-Emissionen, Energieverbrauch und Erneuerbaren Ausbau berechnen
- Die Summe aller Maßnahmen soll mindestens die Ziel und Zielpfade einhalten.
- Laufend messbare Indikatoren mit Zielpfade festlegen, z. B. Neuzulassungen Pkw, LNF, Busse, Lkw; ÖV-Güteklasse; fossile Heizkessel; energetisch sanierte Gebäude

Zuständigkeiten klar festlegen

- Management für Gesamtprozess zuweisen
- Ressortzuständigkeiten für Sektorziele, die Erreichung der Sektorzielpfade und Indikator-Zielpfade festlegen
- Ausreichend Ressourcen (Fachkräfte, Finanzmittel, etc.) vorsehen

Budgetplanung

- Landesbudgets lang- (20 Jahre), mittel- (10 Jahre) und kurzfristig (5 Jahre) planen
- Die notwendigen Mittel für die Maßnahmen in Landesbudgets vormerken
- Budgetrisiken für Zielverfehlung nicht unterschätzen

Monitoring und Evaluierung

- Kontrolle der Implementierung und der Wirkung auf Klima, Energieverbrauch und Energieaufbringung
- Quantifizierung der Zielerreichung und Zielverfehlung anhand der Zielpfade
- Nachbesserung der Maßnahmen im Fall von signifikanten Abweichungen vom Ziel



Abbildung 49: Prozess von der Festlegung der Ziele, Maßnahmen, Zuständigkeiten sowie Budgetplanung, Monitoring und Evaluierung; Quelle: (AEA, 2023b)

²⁴ Für mögliche Indikatoren für die Erreichung der Treibhausgasemissionsziele im Landwirtschaftssektor, welcher vorwiegend nichtenergetische Emissionen aufweist, wird auf Studien des Umweltbundesamtes verwiesen, u. a. die aktuelle Studie „Reduktion von Treibhausgasen in der Landwirtschaft“ (UBA, 2023c)

Experten sollten für die Entwicklung von Landes-Maßnahmen ex-ante beurteilen und quantifizieren welche Maßnahmen auf Landesebene und im Kompetenzbereich des Landes notwendig sind, um die Indikatorziele zu erreichen. Zusätzlich sollte klar definiert werden, wer für die entsprechenden Maßnahmen zuständig ist, in welcher Intensität die Maßnahmen notwendig sind, in welchem Wirkungszeitraum diese zu implementieren sind und mit welchen finanziellen Mitteln diese budgetiert werden müssen. Maßnahmen, welche nicht als notwendig beurteilt werden, weil deren Wirkung nicht direkt quantifiziert werden kann, können trotzdem als Unterstützungsleistung für unterschiedliche Zielerreichung wichtig und relevant sein.

Für die Evaluierung der Zielerreichung können die in den nächsten Unterkapiteln beschriebenen Indikator-Zielpfade verwendet werden. Der Prozess für die Nachschärfung von Maßnahmen sollte ebenfalls laufend erfolgen, da sich auch externe Bedingungen ununterbrochen ändern.

Natürlich sind ebenfalls entsprechende Bundesmaßnahmen für die Zielerreichung notwendig. Von Bund und Ländern sind für die Zielerreichung in den Sektoren unter anderem laufende Austauschdialoge, wie zum Beispiel der EAG-Bund-Länder-Dialog, zu organisieren. Von Landesseite sollte in diesen Foren transparent kommuniziert werden können, welche Maßnahmen auf Bundesebene und im Kompetenzbereich des Bundes notwendig für die Zielerreichung sind.

In den nächsten Unterkapiteln werden, wie oben beschrieben, wesentliche beispielhafte Indikator-Zielpfade für Gebäude, Verkehr und Energie erläutert. Bei besserer bzw. umfangreicherer Datenlage im Land Steiermark können diese Daten als Grundlage für die Indikator-Zielpfade verwendet werden. Es wird im Weiteren zwischen Primärindikatoren, welche gemessen oder direkt erhoben werden, und Sekundärindikatoren, welche berechnet werden, unterschieden.

6.1 Gebäude

Für den Gebäudesektor sind drei wesentliche Indikatoren im Modell für die Erreichung von Energieeffizienz- und Treibhausgaszielen relevant:

- Die Entwicklung der Anzahl an fossilen Heizkesseln in privaten Haushalten, sowie im Dienstleistungssektor, in der Industrie und in landwirtschaftlichen Gebäuden
- Der Sanierungszustand, bzw. die Entwicklung der Sanierungsaktivität und deren Effekt auf den Energieverbrauch von Gebäuden sowie das
- Die Entwicklung der konditionierten Wohnfläche, sowie das Verhältnis von Abriss und Neubau in Quadratmetern

6.1.1 Fossile Heizkessel

Laut Statistik Austria wurden im Jahr 2020 91.543 Heizöl / Flüssiggas-Heizsysteme und 44.650 Erdgas-Heizsysteme in der Steiermark als primäres Heizsystem bei Hauptwohnsitzen eingesetzt (Statistik Austria, 2021). Diese Daten sind Sekundärindikatoren und berücksichtigen noch nicht sekundäre Heizsysteme, Heizsysteme bei Nebenwohnsitzen oder leerstehenden Wohnungen, sowie in Gebäuden des Dienstleistungs- oder Industriesektors. Anhand der Entwicklung des Energieverbrauchs im Haushaltsbereich in den Szenarien wird folgender Indikator-Zielpfad für primäre Heizsysteme in Hauptwohnsitzwohnungen vorgeschlagen.

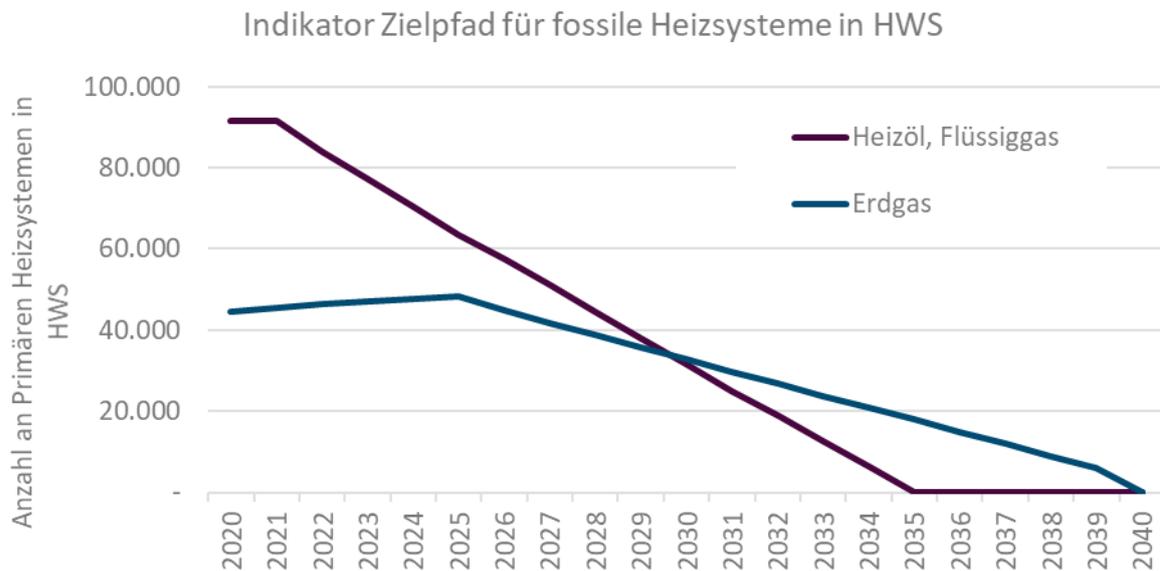


Abbildung 50: Indikator-Zielpfad für fossile primäre Heizsysteme in Hauptwohnsitzwohnungen; Quelle: (Statistik Austria, 2021), und Berechnungen AEA

Der Mikrozensus ist leider für ein aussagekräftiges Monitoring auf Landesebene ungeeignet, weil er mit einer Unsicherheit von rund 17 % belegt ist (lt. Auskunft der Statistik Austria). Im Erneuerbaren-Wärme-Gesetz ist geplant, eine Heizkesseldatenbank auf Landesebene zu etablieren, um die Arten der Heizsysteme direkt zu erfassen. Die Steiermark hat im Jahr 2016 eine Heizungs- Klimaanlagendatenbank eingeführt. Die Befüllung der Datenbank und die laufende Aktualisierung der Anlagendaten für feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe obliegt den zuständigen Rauchfangkehrer-Betrieben und den Prüforganen für die wiederkehrende Prüfung. Die Datenbank kann zukünftig als Primärindikator für das Monitoring der Heizungstausch-Aktivitäten herangezogen werden.

Da die Steiermark plant, langfristig 0,5 TWh an Biomethan im Raumwärmebereich einzusetzen – wäre eine konkrete Zertifikatsregel für die Anrechenbarkeit von Biomethan für das Monitoring dieses Indikators notwendig. Dies sollte der Definition des Grüngassiegels (EAG) entsprechen, um Zertifikatskauf aus dem Ausland auszuschließen.

6.1.2 Sanierung

Eine detaillierte Berechnung der Sanierungsrate wurde für die Modellierung nicht durchgeführt, diese wurde nur vereinfacht abgeschätzt. Für die Definition eines Sanierungs-Indikator-Zielpfades sollte eine detaillierte Berechnung der notwendigen Sanierung durchgeführt werden.

Als Sanierungsrate sollte die von UBA und IIBW (2020) vorgeschlagene Formel-Definition verwendet und für die Steiermark für 2020 als Ausgangsbasis für den Monitoring-Indikator berechnet werden: „Im Zähler die Summe umfassender thermisch-energetischer Sanierungen sowie kumulierter Einzelmaßnahmen (je vier Einzelmaßnahmen ergeben ein umfassendes Sanierungsäquivalent); im Nenner der Gesamtbestand an Wohnungen im jeweiligen Segment.“ (UBA und IIBW, 2020) Als Datenquellen sollte sowohl der Mikrozensus der Statistik Austria und deren Sonderauswertung zum „Energieeinsatz der Haushalte“ und die Wohnbauförderung der Länder verwendet werden, um sowohl die geförderten als auch die freifinanzierten Sanierungen und Wohnungen ohne Hauptwohnsitz ableiten zu können. In Zukunft soll eine bundesweite Energieausweisdatenbank zur Verfügung stehen, die dann ebenfalls herangezogen werden kann.

In den modellierten Szenarien wird von einer jährlichen Reduktion des Energieverbrauchs in der Nutzenergiekategorie Raumwärme im Haushaltssektor von 1,5 % für den Zeitraum 2021 bis 2050 ausgegangen. Hiervon können ca. 1,1 % auf Sanierungsaktivität und 0,4% auf Energiereduktion durch den Austausch von Altbau- durch Neubau-Gebäuden entfallen. Diese Daten können als Grundlage für die Berechnung von Indikator-Zielpfaden, nach der oben beschriebenen Anwendung der Methodik auf die Steiermark, dienen. Falls eine solche separate Analyse nicht durchgeführt werden kann, können auch die von UBA und IIBW für Österreich vorgeschlagenen Ziele für Sanierungsraten als Indikator-Zielpfad verwendet werden: 2,5 % bis 2024; 3,0 % ab 2025 (UBA und IIBW, 2020).

6.1.3 Wohnfläche

Es wird im Modell von einer Stabilisierung der Wohnfläche auf 50m²/Person ausgegangen, dies kann als Monitoring-Indikator verwendet werden. Bei einer weiteren Steigerung der konditionierten Wohnfläche pro Person muss mit geringeren EEV-Reduktionen im Haushaltsbereich gerechnet werden und diese müssen entsprechend anderweitig kompensiert werden, z. B. durch eine noch höhere Sanierungsrate, eine höhere Anzahl an Abrissen und Neubauten oder durch einen höheren Energieträgereinsatz im Haushaltsbereich.

6.2 Verkehr

Im Verkehr sind im Modell drei wesentliche Parametergruppen für Monitoring-Indikatoren für die Entwicklung von Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen relevant:

- die Verkehrsleistung im Motorisierten Individualverkehr (MIV) und Güterverkehr auf der Straße
- der Anteil von emissionsfreien Fahrzeugen für Pkw, LNF, Bus, Lkw und Zug im Fahrzeugbestand

Der Preis von Diesel und Benzin im Vergleich mit den Nachbarländern (wegen Tanktourismus), ist ein weiterer wichtiger Indikator, welcher allerdings alleinig in Bundeskompetenz liegt und deshalb hier nicht näher betrachtet wird. Geschwindigkeitsbegrenzungen spielen für den Energieverbrauch bei hohen Geschwindigkeit, auf Autobahnen und Autostraßen, eine viel größere Rolle als bei niedrigen Geschwindigkeiten. Auch dies wird somit im Bundeskompetenzbereich gesehen. Weitere mögliche Indikatoren sind zum Beispiel die ÖV-Güteklassen in der Steiermark, dies wurde allerdings in der vorliegenden Studie nicht explizit berücksichtigt und wird aus diesem Grund hier nicht näher ausgeführt.

6.2.1 Emissionsfreie Fahrzeuge

Die folgenden Indikator-Zielpfade für Pkw, LNF, Lkw und Busse – Anteil emissionsfreier Fahrzeuge – sind direkt den hier berechneten Szenarien entnommen. Der Vorteil des Anteils emissionsfreier Fahrzeuge ist, dass dieser sowohl historische Entwicklung berücksichtigt, als auch den Gesamtbestand an Fahrzeugen und den Bestand an emissionsfreien Fahrzeugen. Die Datenquelle für all diese Indikatoren sind Daten, welche von der Statistik Austria im Rahmen der Statistik für Kraftfahrzeugneuzulassungen und –bestand erhoben werden, ausgewertet für die Steiermark. Für die Indikator-Zielpfade wurden weder Hybrid-Plug-in noch Vollhybride Fahrzeuge berücksichtigt, da diese vorwiegend fossile Treibstoffe nutzen.

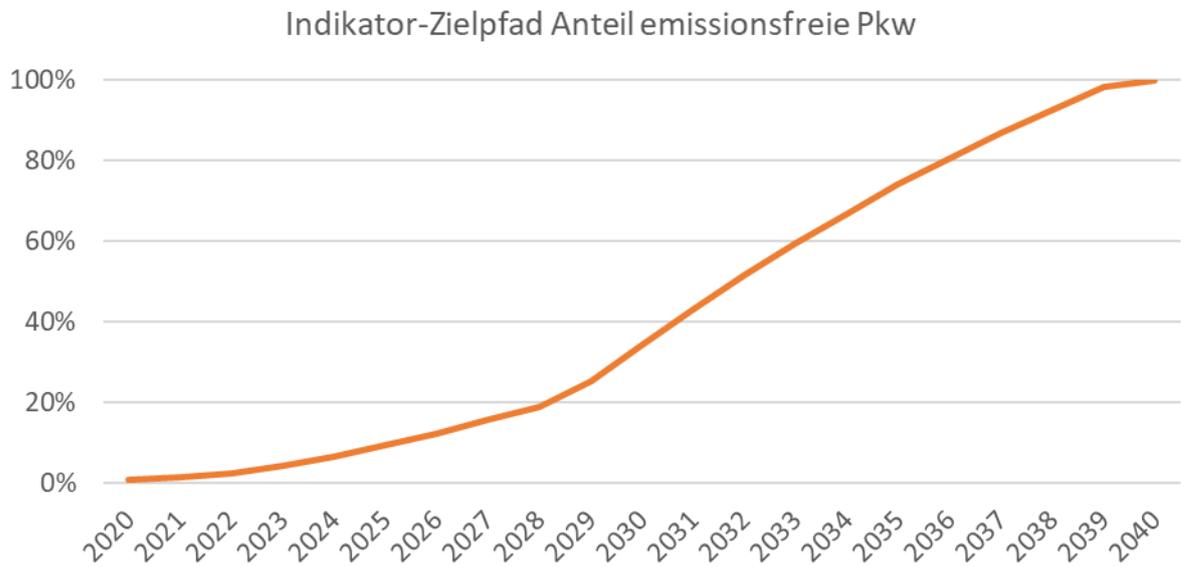


Abbildung 51: Indikator-Zielpfad – Anteil emissionsfreie Pkw in der Steiermark; Quelle: Berechnungen AEA

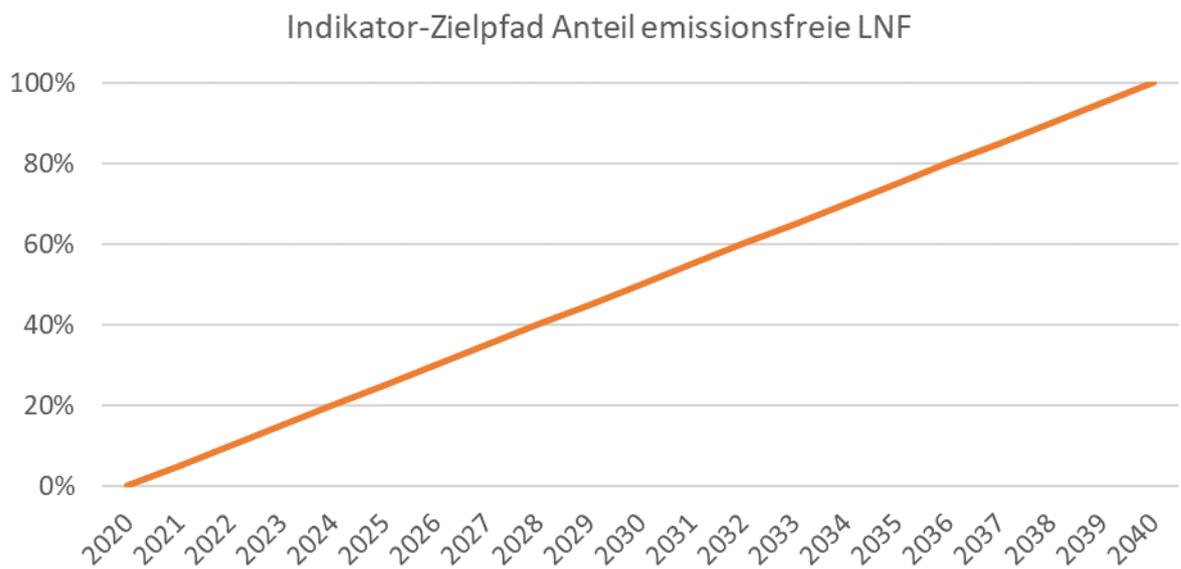


Abbildung 52: Indikator-Zielpfad – Anteil emissionsfreie LNF in der Steiermark; Quelle: Berechnungen AEA

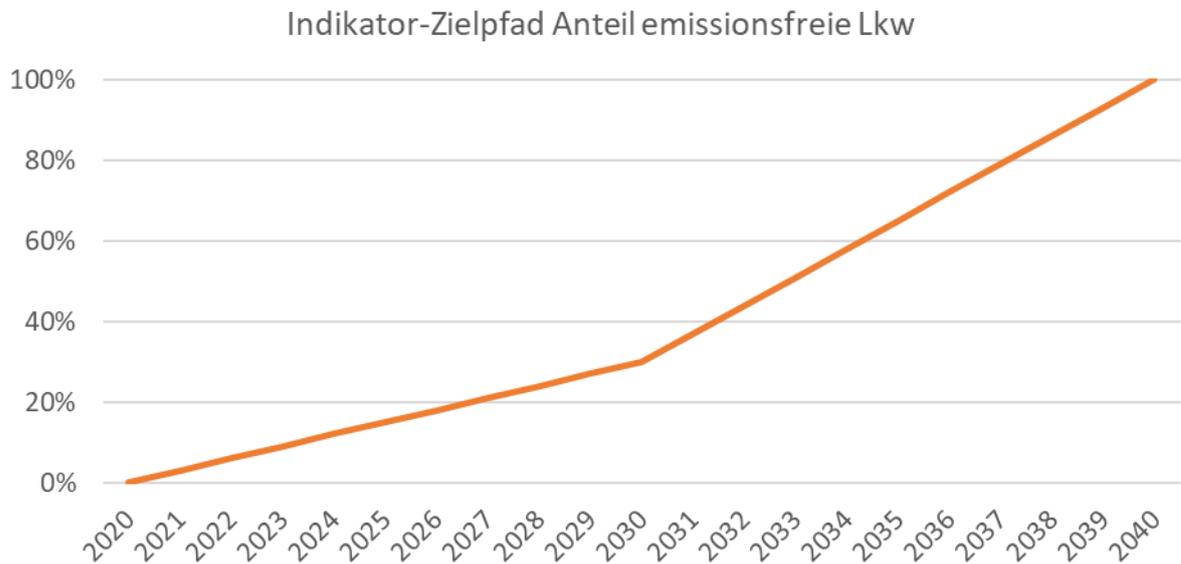


Abbildung 53: Indikator-Zielfad – Anteil emissionsfreie Lkw in der Steiermark; Quelle: Berechnungen AEA

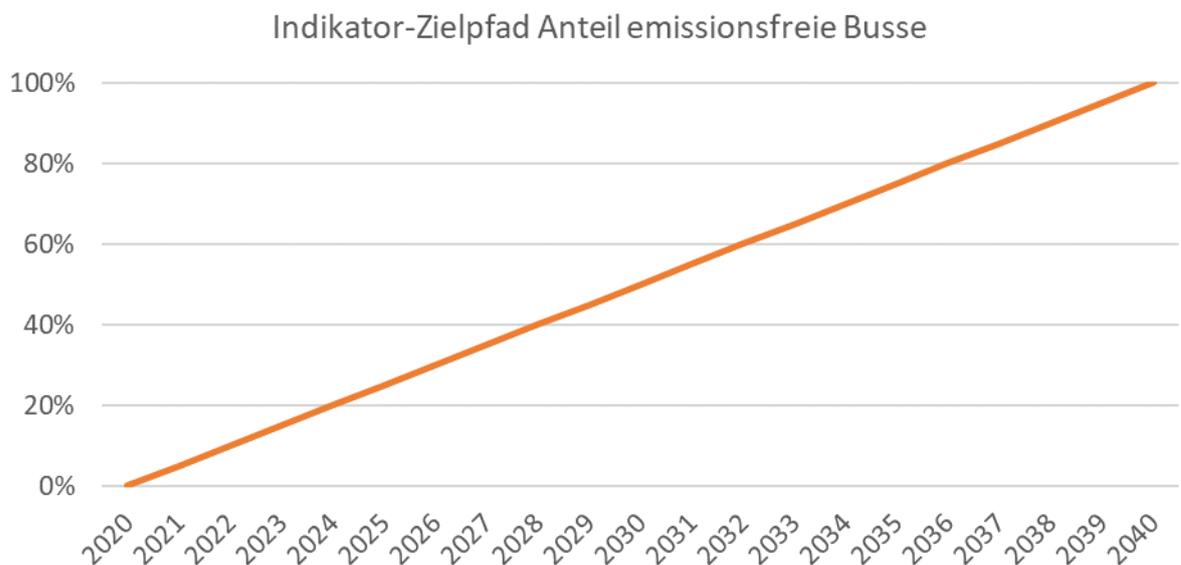


Abbildung 54: Indikator-Zielfad – Anteil emissionsfreie Busse in der Steiermark; Quelle: Berechnungen AEA

Aus diesen Zielen können im Weiteren auch Ziele für öffentliche Ladeinfrastruktur für Pkw, Lkw und LNF sowie für Betriebshöfe von Bussen als Indikator-Zielfade abgeleitet werden.

6.2.2 Verkehrsleistung

Im Rahmen dieser Studie und für die Modellierung wurde keine separate Analyse der durchschnittlichen Verkehrsleistung unterschiedlicher Nutzklassen durchgeführt. Stattdessen wurden als Proxy die durchschnittlichen Verkehrsleistungen von Österreich verwendet und die Verkehrsentwicklungsziele aus dem Mobilitätsmasterplan angewandt.

Für die Berechnung eines für die Steiermark spezifischen Monitoring-Indikators für die Verkehrsleistungen unterschiedlicher Fahrzeugtypen, können die Daten der automatischen Dauerzählstellen am hochrangigen Straßenverkehrsnetz in Österreich und Rohdaten zu den Kilometerständen gem. §57a, StVO überprüfter Kraftfahrzeuge in der Steiermark als Basis verwendet werden. Die Entwicklung der Verkehrsleistungen im Mobilitätsmasterplan kann als Basis für den Indikator-Zielpfad gemeinsam mit der vorher erwähnten Datenbasis verwendet werden um spezifische Indikatoren für die Steiermark zu berechnen. Ein Beispiel einer solchen Auswertung für Österreich ist in dem Bericht des Umweltbundesamtes „Detailbericht zur Nahzeitprognose der österreichischen Treibhausgasemissionen im Verkehr“ (UBA, 2023d) enthalten.

6.3 Energie

Im Energiebereich sind der Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung und der Fernwärmeerzeugung wichtige Indikatorgruppen. Für die Fernwärmeerzeugung werden hier derzeit keine Monitoring-Indikatoren dargestellt, da der Einsatz von grünem Gas, Wasserstoff, Wärmepumpen und Geothermie hauptsächlich mit 2030 einsetzt, und die Indikator-Zielpfade im Moment vorwiegend für die Zeitperiode 2024 bis 2030 relevant sind.

6.3.1 Stromerzeugung

Für die Indikator-Zielpfade für die erneuerbare Stromerzeugung kann direkt die Stromerzeugung bzw. normalisierte Stromerzeugung verwendet werden, dies sind Primärindikatoren für Wasserkraft, Windkraft und Biomasse. Für Photovoltaik ist dies großteils ein Primärindikator. Der produzierte PV-Strom, welcher direkt zur Eigenverbrauchsabdeckung verwendet wird, muss allerdings abgeleitet werden, deswegen ist die produzierte Strommenge aus Photovoltaik ein Sekundärindikator. Um ein Monitoring im Energiebereich zu ermöglichen, wären Netzbetreiber (Gas und Strom) über einen künftigen rechtlichen Rahmen zu verpflichten, beispielsweise im Zuge der Energieraumplanung Verbrauchsdaten von Zählpunkten inkl. Standortkoordinaten für hoheitliche Planungsaufgaben an das Land Steiermark zu liefern. Da sich die Stromerzeugung von Photovoltaik und Windkraft in den Szenarien unterscheiden, werden hier die Indikator-Zielpfade für HS4.0, HS4.1, HS4.2, HS4.3, HS4.4, HS4.5, HS4.6 gemeinsam für diese Technologien dargestellt. Je nach den gewählten Entscheidungen in der KESS-Überarbeitung sollte natürlich nur einer der dargestellten Indikator-Zielpfade gewählt werden.

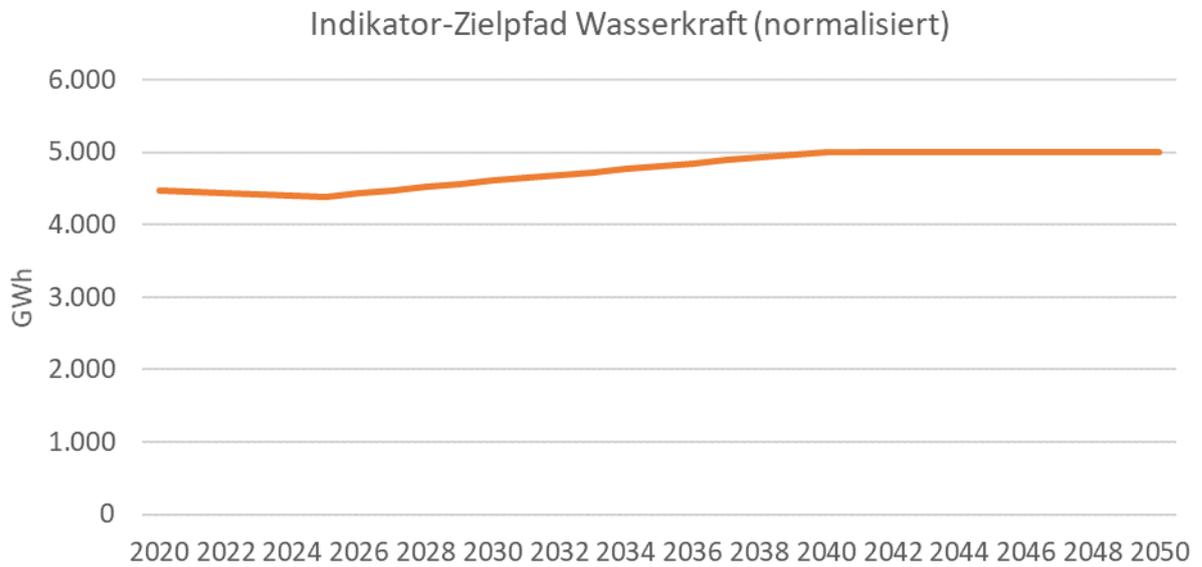


Abbildung 55: Indikator-Zielfad – Stromerzeugung aus Wasserkraft in der Steiermark (normalisiert); Quelle: Berechnungen AEA

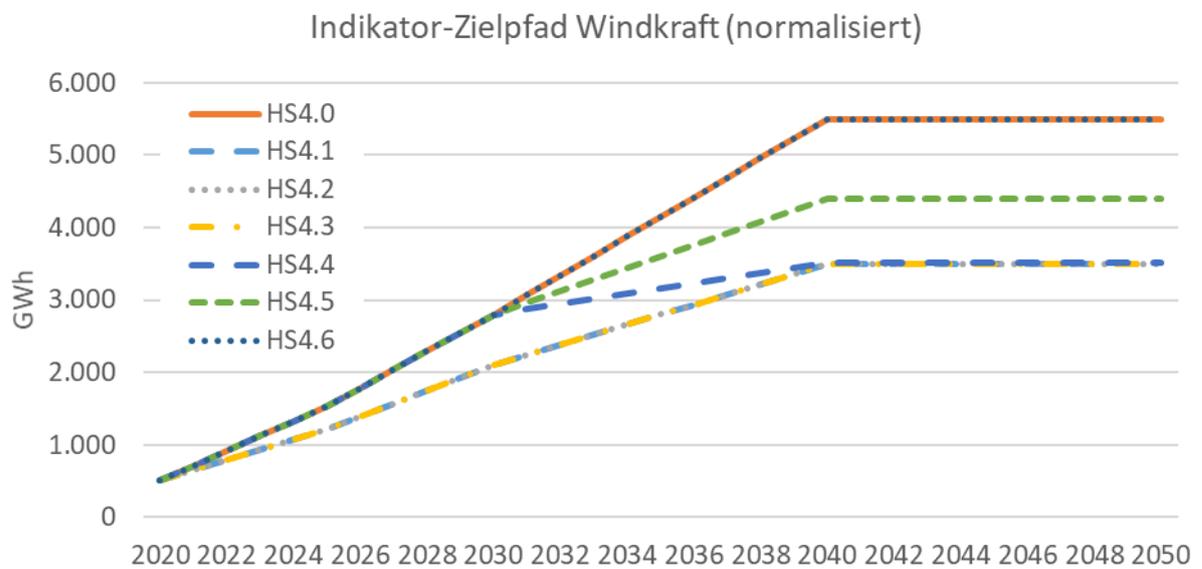


Abbildung 56: Indikator-Zielfad – Stromerzeugung aus Windkraft in der Steiermark (normalisiert); Quelle: Berechnungen AEA

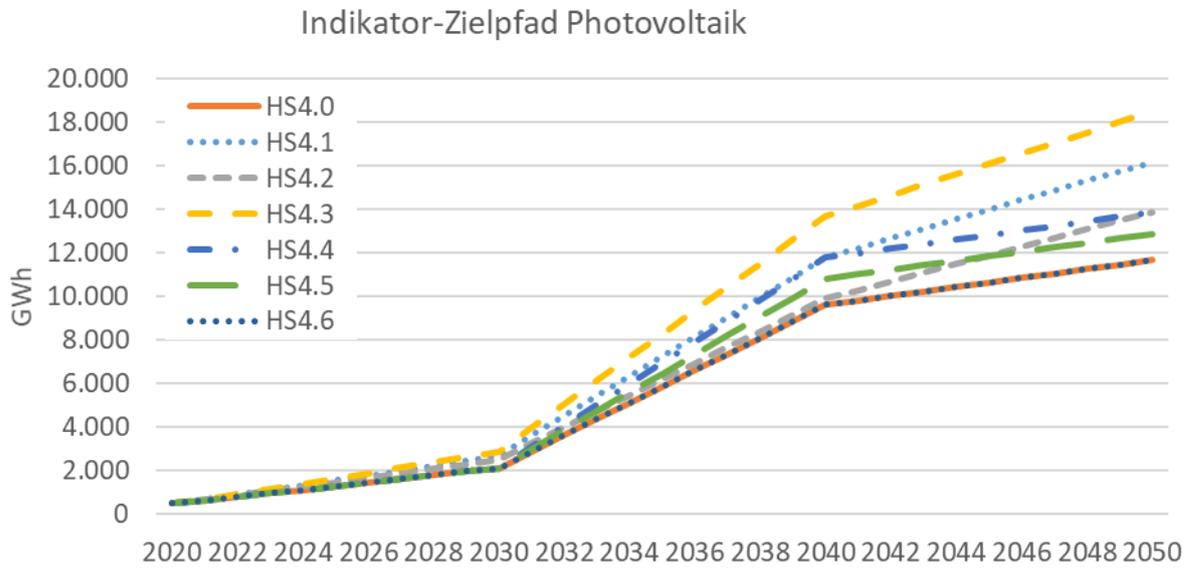


Abbildung 57: Indikator-Zielpfad – Stromerzeugung aus Photovoltaik in der Steiermark; Quelle: Berechnungen AEA

7 Anhang I – Beschreibung der Methodik

Alle Szenarien dieser Studie berücksichtigen die Wirkungen von Klima- und Energiemaßnahmen, um die jeweiligen THG-Reduktionsziele zu erreichen. Die zukünftigen Treibhausgasemissionen werden getrennt für energetische und nicht-energetische Emissionen berechnet. Energetische Treibhausgasemissionen machen ca. 75 % und nicht-energetische Emissionen ca. 25 % der Gesamtemissionen im Jahr 2018 aus.²⁵ Dieses Kapitel beschreibt die Grundlagen der Berechnungsmethodik für die Ermittlung der Maßnahmenwirkungen sowie grundsätzliche Annahmen für die Analysen.

7.1 Relevante Sektoren

Energieverbräuche werden in dieser Studie nach den Sektoren der Nutzenergieanalyse und der Energiebilanz der Statistik Austria dargestellt. Diese Sektoren sind:

- Industrie (ETS- und Non-ETS-Bereich) – Energieverbrauch, energetische Emissionen, Abfallverbrennung (in 13 Subsektoren);
- Verkehr – Straßenverkehr, Bahnverkehr, Schifffahrt, Flugverkehr, Transport von fossilen Energieträgern;
- Haushalte – Energieverbrauch von Haushalten (je Nutzenergiekategorie);
- Dienstleistungen – Energieverbrauch von Dienstleistungsgebäuden;
- Landwirtschaft – Energieverbrauch von land- und forstwirtschaftlichen Betrieben;
- Energie (ETS- und Non-ETS-Bereich) – Energieerzeugung, Verbrauch des Sektors Energie sowie Strom- und Fernwärmetransport, beinhaltet sowohl den Strom als auch die Fernwärme.

Zur Vervollständigung der THG-Bilanz werden relevante nicht-energetische Emissionen berücksichtigt:

- Industrie – Prozessemissionen (z. B. Stahlerzeugung, Zementproduktion);
- Landwirtschaft – Emissionen von Düngung und Viehhaltung;
- Abfallwirtschaft – Emissionen aus Abfalldeponien und
- Fluorierte Gase – Emissionen aus der Industrie und Nutzung.

7.2 Energetische Treibhausgasemissionen

Die energetischen Emissionen werden für die Verbrauchssektoren²⁶ sowie für Energieerzeugung, -transport und -nutzung separat berechnet. Hierfür werden die in den jeweiligen Sektoren eingesetzten Energieträger mit Treibhausgas-Emissionsfaktoren für die Jahre 2022 bis 2050 multipliziert. Die Grundlagen für die Projektion des Energieverbrauchs in den jeweiligen Sektoren nach Energiebilanz (EB-Sektoren) sind

²⁵ Laut dem Klimabericht 2019 (Amt der Steiermärkischen Landesregierung 2020) wurden im Jahr 2018 insgesamt 13,7 Mio. t CO₂eq (energetische und nicht-energetische Emissionen) in der Steiermark emittiert. Laut eigenen Berechnungen auf Basis der Energiebilanz für die Steiermark (Statistik Austria, 2022) betragen die energetischen THG-Emissionen 10,3 Mio. t CO₂eq (ca. 75 %).

²⁶ Dazu wurden die Sektoren der Nutzenergieanalyse auf die Sektoren nach dem Klimaschutzgesetz umgerechnet.

- für den Energieverbrauch die historischen Daten der Bundesländer-Nutzenergieanalyse (Statistik Austria, 2022b) und
- für die Energieerzeugung sowie den Energietransport die historischen Daten der Bundesländer-Energiebilanz (Statistik Austria, 2022).

Die historischen Daten der Sektoren bilden die Grundlage für die Projektionen in den Szenarien. Die Projektionen in die Zukunft werden auf Basis der individuellen Wachstumsfaktoren und der Trendentwicklung der Energieintensitäten (welche ermittelt werden, indem der jeweilige Energieverbrauch durch den Wachstumsfaktor dividiert wird) berechnet.

Die Trendanalyse wurde in zwei Schritten bis 2050 durchgeführt:

- WOM – Entwicklung ohne Maßnahmen (welches ein reines Trendszenario ist und als Grundlage für die Berechnung der weiteren Szenarien dient – wurde in diesem Bericht nicht gesondert dargestellt)
- Hauptszenarien – Entwicklung mit angenommenen Entwicklungen für Hauptindikatoren

Die Datenbasis für die Endenergieverbräuche der Sektoren bildet für beide Schritte die Nutzenergieanalyse (1993 bis 2021) der Statistik Austria für die Steiermark.

Für das WOM-Szenario wurde der zukünftige Endenergieverbrauch je Sektor bzw. Subsektor mittels projizierten Wachstumsfaktoren (auch „Treiber“ genannt) und projizierten Energieintensitäten berechnet. Historische Energieintensitäten wurden mit den historischen Endenergieverbrauchsdaten und relevanten Treibern (z. B. Bevölkerungswachstum, Wirtschaftswachstum, Branchenwachstum, gefahrene Kilometer) ermittelt. Im WOM-Szenario wurden Energieintensitäten in den meisten Sektoren anhand von historischen Trends in die Zukunft fortgeschrieben, wobei diese über die Jahre sukzessive abgeschwächt wurden.

Als Wachstumsfaktor für die Industrie wird zum Beispiel das Branchenwachstum in der Steiermark (auf Basis von Prognosen des realen Wirtschaftswachstums) herangezogen. In den Szenarien ist somit für den Zeitraum 2022 bis 2050 ein jährliches Produktionswachstum in der Industrie von 0,9 %/p.a. hinterlegt. Für den Dienstleistungssektor wird ein jährliches Wachstum von 1,3 % bis 1,4 % für die Entwicklung des EEV verwendet

Weitere Wachstumsfaktoren in den Verbrauchssektoren sind:

- für Haushalte das Bevölkerungswachstum in der Steiermark und die Wohnfläche pro Person: Laut (Statistik Austria, 2023c) wird die Bevölkerungsanzahl in der Steiermark von 1,26 Mio. im Jahr 2021 auf 1,30 Mio. im Jahr 2050 (ein Wachstum von insgesamt 3 %) steigen.
- Für den Landwirtschaftsbereich wird ebenfalls eine Entwicklung nach der im Industriebereich beschriebenen Methode ermittelt. Die so errechnete Entwicklung entspricht einer Reduktion im Landwirtschaftsbereich von 0,1 % bis 0,3 % p.a.

Die Entwicklungen der Energieintensitäten werden auf Basis der historischen Trends fortgeschrieben, wobei Sättigungseffekte berücksichtigt werden. Dies führt dazu, dass sich die Energieintensitäten mittelfristig stabilisieren.

Die im weiteren Verlauf beschriebenen Veränderungen zielen entweder auf eine Reduktion der Nachfrage in einzelnen Teilbereichen, eine Erhöhung der Energieeffizienz oder einen Wechsel von fossilen zu erneuerbaren Energieträgern ab. Es wird darauf hingewiesen, dass im gegenständlichen Modell Maßnahmenwirkungen implementiert sind und nicht direkt die zugrundeliegenden, quantifizierten Maßnahmen. Die Maßnahmenwirkungen können auch als Entwicklung von Monitoring-Indikatoren verstanden werden. Ausgewählte Monitoring Indikatoren werden in Kapitel 6 genauer beschrieben.

Die Hauptszenarien bauen auf dem WOM-Szenario auf und beziehen zusätzliche Entwicklungen wichtiger Indikatoren als Proxy für quantifizierbare Wirkungen in die Berechnung ein. Die Höhe der Veränderung wurde in dem Ausmaß verstärkt, wie dies auf Basis österreichischer oder steirischer Strategien bzw. anhand der im Rahmen des Projektes besprochen Annahmen begründet sind. Diese Verstärkung der Veränderung kann durch unterschiedliche Faktoren erreicht werden:

- eine Vorverlegung des Startzeitpunkts für den Eintritt der Veränderung (z. B. von 2030 auf 2025),
- eine kürzere Zeitdauer bis zur vollständigen Veränderung (z. B. von 2050 auf 2040) oder
- eine Verstärkung der Veränderungsrate (z. B. höhere Sanierungsraten).

7.2.1 Treibhausgas-Emissionsfaktoren

Die Entwicklung der Treibhausgasemissionen wird für energetische und nicht-energetische Emissionen getrennt berechnet. Energetische Emissionen werden je Verbrauchs- und Erzeugungsssektor anhand der in Tabelle 38 angeführten Emissionsfaktoren berechnet. Hierfür wurden die Sektoren nach Nutzenergieanalyse auf die Sektoren nach Klimaschutzgesetz vereinfacht umgerechnet.

Ausgangspunkt für die Berechnung der Treibhausgas-Emissionsfaktoren waren die Emissionsfaktoren für die Verbrennung von Energieträgern auf Basis des Heizwertes aus „Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories“ von Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006) und die Global Warming Potentials des Fifth Assessment Reports (GWP AR5) (Myhre, 2013). Auf Basis dieser Faktoren sowie der Anteile der Energieträger am Bruttoinlandsverbrauch der Steiermark wurden Emissionsfaktoren für die aggregierten Energieträger berechnet. Vorketten (z. B. Transport von Brennholz) sind nicht enthalten, da diese in den Inventaren anderer Länder oder Sektoren (z. B. Transportsektor) enthalten sind. Die oben beschriebenen THG-Emissionen von Biomasse beruhen auf CH₄- und N₂O-Emissionen ohne CO₂-Emissionen. Da die Emissionen auf Basis des Energieträgerverbrauchs berechnet werden, ist erzeugter Wasserstoff emissionsfrei, jedoch nicht auch automatisch die Wasserstoffherzeugung. Bei Wasserstoffimporten fallen die Emissionen im Land der Erzeugung an. Die verwendeten Treibhausgas-Emissionsfaktoren sind:

Tabelle 38: Berechnete Treibhausgasemissionsfaktoren; Quelle: Berechnungen AEA

Emissionsfaktoren	CO ₂ eq (t/GWh)
Fossil-fest	371,2
Fossil-flüssig	264,1
Fossil-gasförmig	202,2
Biogen-fest	5,2
Biogen-flüssig	0,2
Biogen-gasförmig	0,9

7.3 Nicht-energetische Treibhausgasemissionen

Nicht-energetische Emissionen in den Sektoren Industrie, Landwirtschaft, Abfall und F-Gase wurden berücksichtigt. Für die Projektion der nicht-energetischen Treibhausgasemissionen werden Ergebnisse

unterschiedlicher Studien des UBAs für Österreich auf die Steiermark umgelegt. Um die Klimaneutralitätszeile zu erreichen, wurden in manchen Bereichen zusätzliche Maßnahmenwirkungen berücksichtigt.

8 Anhang II – Beschreibung der Industrie-Maßnahmenwirkungen

Die zugrundeliegenden Annahmen sind,

- dass die entsprechenden Zielverschärfungen im Emissionshandel umgesetzt werden und
- dass durch Maßnahmensetzung im Inland der Ankauf von Zertifikaten aus anderen EU-Mitgliedstaaten im ETS-Bereich weitestgehend vermieden wird.
- Die Dekarbonisierung (und der entsprechende Energieträgerwechsel von fossilen zu erneuerbaren Energieträgern) der einzelnen Industrie-Subsektoren wurde weitestgehend basierend auf der Studie IndustRiES (AIT, 2019) modelliert. Details sind auf den nächsten Seiten und in den vorhergehenden Kapiteln beschrieben. Änderungen zu der Studie IndustRiES betreffen Großteils:
 - In der Eisen- und Stahlindustrie wird die im Haupttext beschriebene Strategie der Voestalpine für Donauwitz bis 2027 hinterlegt und die Annahme getroffen, dass die verbliebenen Kohle- und Koksverbräuche entsprechend der Szenario-Annahmen in ähnlicher Form dekarbonisiert werden
 - Die Verwendung von Biomasse in der Industrie wird stattdessen teilweise durch Biomethan und erneuerbaren Wasserstoff gedeckt
 - nicht-energetische Prozessemissionen.

Mit „x“ wird in Tabelle 39 beschrieben, welche Einzelmaßnahmen in den jeweiligen Industriesektoren in den Szenarien bis 2030, 2040 und 2050 berücksichtigt werden (Quelle: IndustRiES (AIT, 2019)). Abweichend von der Originalquelle wurde für den Sektor Sonst. Produzierende Bereiche zusätzliche Maßnahmen – markiert mit „z“ in der Tabelle unten in dem Modell angenommen.

Tabelle 39: Industrie Einzelmaßnahmen; Quelle: (AIT, 2019)

Nutzenergiekategorie	Beschreibung der Einzelmaßnahme	Bau	Steine, Erden und Glas	Maschinenbau	Nahrungs- und Genussmittel, Tabak	Papier und Druck	Holzverarbeitung	Bergbau	Chemie und Petrochemie	Eisen- und Stahlerzeugung	Fahrzeugbau	Nichteisenmetalle	Textil und Leder	Sonstige produzierende Industrie
Raumheizung und Klimaanlage	Substitution foss. und biogener sowie brennbarer Abfälle durch Wärmepumpen (COP = 3,5) + Wärmedämmung und -rückgewinnung; Fernwärme und urspr. elektr. EEV bleiben konstant. Effizienzmaßnahmen (Wärmedämmung und -rückgewinnung) werden umgesetzt, wodurch der Endenergieverbrauch um 30 % reduziert werden kann.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Dampferzeugung	Fossile werden zu gleichen Teilen durch biogene Ress. und elektr. Wärmepumpen ersetzt (COP = 2,3). Prozessseitige EE-Maßnahmen reduzieren EEV um 5 % (in den Hauptszenarien Substitution nur mit Wärmepumpen). Ursprüngl. Fernwärme, biogene Brennstoffe und Elek. Energie bleiben ident.	x	x	x			x	x	x	x		x		

	sinkt um 80 % wegen des höheren Wirkungsgrades. EEV bei bereits vorhandenen elektr. Antrieben sinkt um 20 %.														
	Fossil betriebene Standmotoren werden zu 25 % auf biogene Treibstoffe und zu 75 % auf elektr. Antriebe umgestellt. EEV sinkt um 80 % wegen des höheren Wirkungsgrades. EEV bei bereits vorhandenen elektr. Antrieben sinkt um 15 %.								x						
	Fossil betriebene Standmotoren werden auf elektr. Antriebe umgestellt. EEV sinkt um 80 % wegen des höheren Wirkungsgrades. EEV bei bereits vorhandenen elektr. Antrieben sinkt um 15 %.		x	x	x	x	x			x	x		x	x	z
	Fossil betriebene Standmotoren werden auf elektr. Antriebe umgestellt. EEV sinkt um 80 % wegen des höheren Wirkungsgrades. EEV bei bereits vorhandenen elektr. Antrieben sinkt um 20 %.												x		
Elektrochemische Zwecke	Effizienzmaßnahmen reduzieren EEV um 5 %.			x									x		

9 Änderungen

Version	Datum	Anpassungen
V1.01	7.11.2023	Kapitel 2.1.1 Ergänzung indikative ETS-Zielpfad-Tabelle Kapitel 4.4 – Korrektur Tabelle 25 Geringfügige redaktionelle Anpassungen
V1.02	30.01.2024	Redaktionelle Anpassungen in Kapitel 2.1.3 und Kapitel 4.6 Ergänzung neues Kapitel 9 „Änderungen“

10 Literaturverzeichnis

AEA, 2020. *Kärnten 2030 - Der Weg in eine klimaneutrale Energiezukunft*, s.l.: Kelag.

AEA, 2021a. *Szenarien zur Entwicklung des steirischen Energiesystems bis 2040/2050*, Wien: Österreichische Energieagentur, im Auftrag vom Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Abteilung 15.

AEA, 2021b. *Anhang - Szenarien zur Entwicklung des steirischen Energiesystems bis 2040/2050 Hauptszenario 3*, Wien: Österreichische Energieagentur, im Auftrag vom Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Abteilung 15.

AEA, 2021. *Klima- und Energiestrategien der Länder - Energie, Treibhausgasemissionen und die Kongruenz von Länder- und Bundeszielen*, Wien: Austrian Energy Agency.

AEA, 2023a. *Klima- und Energiestrategien der Länder: 2023*, Wien: Austrian Energy Agency.

AEA, 2023b. *Aufteilung der österreichischen Klimaschutzziele auf die Bundesländer*. [Online]
Available at: https://www.erneuerbare-energie.at/s/AEA_PR2.PDF
[Zugriff am 15 07 2023].

AEE Intec, E. M. E.-T., 2021. *Abwärmekataster III Steiermark - Öffentlicher Kurzbericht*, s.l.: AEE - Intec - Institut für Nachhaltige Technologien.

AIT, 2019. *IndustRIES – Energieinfrastruktur für 100% Erneuerbare Energie in der Industrie*, Wien: Erstellt im Auftrag des Klima- und Energiefonds .

Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2017. *Klima- und Energiestrategie Steiermark 2030*, Graz: Abteilung 15 - Energie, Wohnbau, Technik; Fachabteilung Energie und Wohnbau; Referat Energietechnik und Klimaschutz.

Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2019. *Klima- und Energiestrategie Steiermark 2030 - Aktionsplan 2019-2021*, Graz: Abteilung 15 - Energie, Wohnbau, Technik; Fachabteilung Energie und Wohnbau.

Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2020. *Zahlen, Daten und Fakten zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen und des Klimastatus in der Steiermark*, Graz: s.n.

Amt der Steiermärkischen Landesregierung, o.J.. *Statistik - Berichte über die Wohnbau- und Ökoförderungen*. [Online]
Available at: <https://www.wohnbau.steiermark.at/cms/ziel/113384032/DE/>
[Zugriff am 30 Juni 2020].

Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2020. *Klimabericht 2019 - Zahlen, Daten und Fakten zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen und des Klimastatus in der Steiermark*, Graz: Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Abteilung 15 - Energie, Wohnbau, Technik.

AVL, 2023. *Auto & Wirtschaft*. [Online]
Available at: <https://autoundwirtschaft.at/news/40210-e-fuels-den-grossteil-brauchen-wir-fur-luft-und-schifffahrt>
[Zugriff am 30 06 2023].

BGBl. I Nr. 150/2021, 2021. 150. *Bundesgesetz: Erneuerbaren-Ausbau-Gesetzespaket - EAG-Paket*, s.l.: Bundeskanzleramt Österreich.

BGBl. I Nr. 72/2014, 2023. *Bundesgesetz über die Verbesserung der Energieeffizienz bei Haushalten, Unternehmen und dem Bund sowie Energieverbrauchserfassung und Monitoring (Bundes-Energieeffizienzgesetz – EEffG)* BGBl. I Nr. 72/2014 i.d.F. BGBl. I Nr. 59/2023, Wien: Nationalrat.

Biermayr P., D. C. E. M. E. M. F. H. F. B. J.-F. M. L. K. M. S. P. E. S. S. S. C. S. C. W. W. W. M. W. P. W. E., 2022. *Innovative Energietechnologien in Österreich Marktentwicklung 2021 - Biomasse Brennstoffe, Kessel und Öfen, Photovoltaik, Photovoltaik-Batteriespeicher, Solarthermie, Großwärmespeicher, Wärmepumpen, Gebäudeaktivierung und Windkraft*, Wien: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK).

BMK und BMDW, 2022. *Wasserstoffstrategie für Österreich*, Wien: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, und Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort.

BMK, 2021. *Mobilitätsmasterplan 2030 für Österreich*, Wien: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie.

BMK, 2023a. *Entwurf - Integrierer nationaler Energie- und Klimaplan für Österreich Periode 2021-2030*, Wien: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie.

BMK, 2023b. *Integrierter österreichischer Netzinfrastukturplan - Entwurf zur Stellungnahme*, Wien: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie.

BMNT, 2019a. *Fortschrittsbericht 2019 nach § 6 Klimaschutzgesetz inkl. Evaluierung der gesetzlichen Maßnahmen*, Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.

BMNT, 2019b. *Integrierter nationaler Energie- und Klimaplan für Österreich Periode 2021-2030*, Wien: Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus.

BMNT, B., 2018. *#mission2030 - Die österreichische Klima- und Energiestrategie*, Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus und Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.

BR AT, 2022. *Regierungsvorlage - Bundesgesetz zum Ausstieg aus der fossil betriebenen Wärmebereitstellung (Erneuerbare-Wärme-Gesetz - EWG)*, Wien: Österreichische Bundesregierung.

Coalition for Energy Savings, 2019. *Article 7 Energy Efficiency Directive: new period, new savings*. [Online] Available at: https://energycoalition.eu/wp-content/uploads/2021/03/20190222_TheCoalitionForEnergySavings_EED_Article_7_New_period_new_savings-1.pdf [Zugriff am 01 08 2023].

Diewald, M. et al., 2019. *Wärmeversorgung Graz 2020/2030*, Graz: Grazer Energieagentur.

EA Steiermark, 2021. *E-Fuels - Darstellung der aktuellen Studienlage zu Power-to-X-Produkten*, Graz: Energieagentur Steiermark.

EASA, 2023. *"Fit für 55" und "ReFuelEU Aviation"*. [Online] Available at: <https://www.easa.europa.eu/de/light/topics/fit-55-and-refueleu-aviation> [Zugriff am 30 07 2023].

EK, 2020. *Emissionshandelssystem (EU-EHS)*. [Online]
Available at: https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_de
[Zugriff am 18.02.2021].

Energie Steiermark, 2021. *Aktionsplan KESS 2030 - Wasserkraftpotenzial Steiermark 2020 - Aktualisierung Juni 2021*, s.l.: Energie Steiermark, im Auftrag des Land Steiermark.

Energiewerkstatt, 2014. *Das realisierbare Windpotential Österreichs für 2020 und 2030*, Friedburg: Energiewerkstatt.

Energiewerkstatt, 2019. *Windpotentiale und Standortdifferenzierung*.

Energy Economics Group (EEG), T. W. u. Z. f. E. u. U., 2017. *Energieszenarien bis 2050: Wärmebedarf der Kleinverbraucher*.

EU, 2019. *Directive (EU) 2019/1161 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2019 amending Directive 2009/33/EC on the promotion of clean and energy-efficient road transport vehicles (Text with EEA relevance.)*, Brussels: The European Parliament and the Council of the European Union.

EU, 2023a. *Verordnung (EU) 2023/857 zur Änderung der Verordnung (EU) 2018/842 zur Festlegung verbindlicher nationaler Jahresziele für die Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Zeitraum 2021 bis 2030 als Beitrag zu Klimaschutzmaßnahmen*, Brüssel: Europäischen Parlament und Europäischer Rat.

EU, 2023b. *EU Richtlinie 2003/87/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Europäischen Union i.d.F. Richtlinie (EU) 2023/959*, Brüssel: Europäisches Parlament und Europäischer Rat.

EU, 2023c. *Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/631 im Hinblick auf eine Verschärfung der CO₂-Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge im Einklang mit dem ehrgeizigeren Klima*, Brüssel: Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union.

EU, 2023. *Directive of the European Parliament and of the Council on energy efficiency and amending Regulation (EU) 2023/955 (recast)*, Brüssel: The European Parliament and the Council.

Eurocontrol, 2021. *The EU's "Fit for 55" Package: what does it mean for aviation*. [Online]
Available at: <https://www.eurocontrol.int/article/eus-fit-55-package-what-does-it-mean-aviation>
[Zugriff am 30.07.2023].

European Commission, 2018. *A Clean Planet for all, A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy*, Brüssel: European Commission.

Fechner, H., 2020. *Ermittlung des Flächenpotentials für den Photovoltaik-Ausbau in Österreich*, Wien: Oesterreichs Energie.

IG Wind, 2018. *Neubewertung des Potentials zur Nutzung der Windkraft in Österreich bis zum Jahr 2030*, St. Pölten: Interessensgemeinschaft Windkraft.

IG Wind, 2020. *Outlook 2024*, St. Pölten: Interessensgemeinschaft Windkraft.

IPCC, 2006. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Chapter 2: Stationary Combustion*, s.l.: s.n.

- Kögler, H. L. H. P. G. D.-G. C., 2020. *Grünes Herz Steiermark 2050, Zukunftsworkshop und Zusammenfassung der Kommentare im Rahmen des Energiecamps der Holzwelt Murau, 3.4.2020*,. Online Workshop, s.n.
- Land Steiermark, 2016. *Landesstrategie Elektromobilität Steiermark 2030*, Graz: Abteilung 15 Energie, Wohnbau, Technik; Fachabteilung Energie und Wohnbau; Referat Energietechnik und Klimaschutz.
- Landesregierung, A. d. S., 2019b. *Entwurf zum Luftreinhalteprogramm*, Graz: ABT13, Umwelt und Raumordnung.
- Landesregierung, A. d. S., 2019c. *Agenda Weiss-Grün Steiermark gemeinsam gestalten*, Graz: Amt der Steiermärkischen Landesregierung.
- Landesregierung, A. d. S., 2020. *Einreichung zum Energy Globe Award 2020*, Graz: ABT15.
- Lebensministerium, 2013. *Maßnahmenprogramm 2013/2014 des Bundes und der Länder als Beitrag zur Erreichung des nationalen Klimaziels 2013-2020*.
- Lebensministerium, 2015. *Maßnahmenprogramm des Bundes und der Länder nach Klimaschutzgesetz zur Erreichung des Treibhausgasziels bis 2020*.
- Mathelitsch, S., 2019. *Ich tu's BeraterInnen-Netzwerk*. netEB ERFA-Treffen, Graz: s.n.
- McKinsey&Company, 2018. *Decarbonization of industrial sectors: the next frontier*.
- MUL EVT, 2022. *Grünes Gas Steiermark - Berechnung von Bandbreiten erschließbarer Potenziale an Biomethan und Synthetic Natural Gas (SNG) aus Reststoffen unter Einbindung eines Stakeholderprozesses*, Leoben: Montan Universität Leoben und Energie Verbund Technik.
- Myhre, G. D. S. F. B. W. C. J. F. J. H. D. K. J. L. D. L. B. M. T. N. A. R. G. T. T. a. H. Z., 2013. *Anthropogenic and Natural Radiative Forcing*, s.l.: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- ÖBV, 2020. *Bedeutung der Bioenergie*. [Online]
Available at: <https://www.biomasseverband.at/bedeutung-der-bioenergie/>
[Zugriff am 21 09 2020].
- OEE, 2022. *Österreichs Weg in eine klimaneutrale Energiezukunft*, Wien: Österreichs Energie.
- OIB, 2019. *Langfristige Renovierungsstrategie*.
- OÖ, 2022. *Oberösterreichische Klima- und Energiestrategie*. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung: s.n.
- Österreichisches Institut für Bautechnik, 2020. *OIB-Dokument zur zur Langfristigen Renovierungsstrategie*, Wien: OIB.
- PIK, 2023. *E-Fuels - Aktueller Stand und Projektionen*, Potsdam: Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung.
- Pöyry, 2018. *Wasserkraftpotenzialstudie Österreich - Aktualisierung 2018*, Wien: Pöyry Austria GmbH.
- PÖYRY, 2018. *Wasserkraftpotenzialstudie Österreich - Aktualisierung 2018*.

Ref-NEKP, 2019. *Referenzplan als Grundlage für einen wissenschaftlich fundierten und mit den Pariser Klimazielen in Einklang stehenden Nationalen Energie- und Klimaplan für Österreich*, s.l.: Kirchengast, G., Kromp-Kolb, H., Steininger, K., Stagl, S., Kirchner, M., Ambach, Ch., Grohs, J., Gutsohn, A., Peisker, J., Strunk, B..

Standard, 2021. *Plan für neues Gesetz: Werden die Klimaziele verfehlt, müssen Bund und Länder zahlen*. [Online]
 Available at: <https://www.derstandard.at/story/2000126127747/plan-fuer-neues-gesetz-werden-die-klimaziele-verfehlt-muessen-bund>
 [Zugriff am 05 12 2022].

Statistik Austria, 2013. *Wohnungen 2011 nach Wohnsitzangabe, Nutzfläche der Wohnung und Bundesland*, Wien: s.n.

Statistik Austria, 2020. *Jahresdurchschnittsbevölkerung 1952-2018 nach Bundesland*, Wien: s.n.

Statistik Austria, 2021. *Heizungen 2003 bis 2020 nach Bundesländern, verwendetem Energieträger und Art der Heizung*, Wien: Statistik Austria.

Statistik Austria, 2022b. *Nutzenergieanalyse für Steiermark 1993-2021*, Wien: Statistik Austria.

Statistik Austria, 2022. *Bundesländer-Energiebilanzen - Steiermark 1988-2021*, Wien: Statistik Austria.

Statistik Austria, 2023c. *Bevölkerungsprognose 2022-2100 Wien*, Wien: Statistik Austria.

Statistik Austria, 2023. *Kfz-Bestand*. [Online]
 Available at: <https://www.statistik.at/statistiken/tourismus-und-verkehr/fahrzeuge/kfz-bestand>
 [Zugriff am 28 07 2023].

STS und verkehrplus, 2016. *Mikro-ÖV-Strategie Steiermark im Auftrag des Landes Steiermark*, Graz: ABT 16.

TU Wien, 2018. *Wärmezukunft 2050: Erfordernisse und Konsequenzen der Dekarbonisierung von Raumwärme und Warmwasserbereitstellung in Österreich*.

UBA und IIBW, 2020. *Definition und Messung der thermisch-energetischen Sanierungsrate in Österreich*, Wien: Umweltbundesamt und Institut für Immobilien, Bauen und Wohnen GmbH.

UBA, 2017. *Energie- und Treibhausgas-Szenarien im Hinblick auf 2030 und 2050*, Wien: Umweltbundesamt.

UBA, 2018. *Sachstandsbericht Mobilität und mögliche Zielpfade zur Erreichung der Klimaziele 2050 mit dem Zwischenziel 2030*, Wien: Umweltbundesamt.

UBA, 2019a. *Bundesländer Luftschadstoff-Inventur 1990-2017*, Wien: Umweltbundesamt.

UBA, 2019b. *Sachstandsbericht Mobilität - Mögliche Zielpfade zur Erreichung der Klimaziele 2050 mit dem Zwischenziel 2030*, Wien: Umweltbundesamt.

UBA, 2022. *Bundesländer Luftschadstoff-Inventur 1990-2020*, Wien: Umweltbundesamt.

UBA, 2022. *Transition Mobility 2040*, Wien: Umweltbundesamt.

UBA, 2023a. *Bundesländer Luftschadstoff-Inventur 1990 - 2021, Auskunft Land Steiermark (THG berechnet nach GWP AR5)*, s.l.: Umweltbundesamt, Auskunft Land Steiermark.

UBA, 2023b. *Szenarien für die realisierbare erneuerbare Stromerzeugung im Jahr 2030 und 2040*, Wien: Umweltbundesamt.

UBA, 2023c. *Reduktion von Treibhausgasen in der Landwirtschaft - Maßnahmen zur Treibhausgasreduktion in der Landwirtschaft zur Erreichung der Ziele des Klimaschutzgesetzes*, Wien: Umweltbundesamt.

UBA, 2023d. *Detailbericht zur Nahzeitprognose der österreichischen Treibhausgas-Emissionen des Verkehrs*, Wien: Umweltbundesamt.

Wirtschaftsinitiative Nachhaltigkeit, 2020. *Wirtschaftsinitiative Nachhaltigkeit - Evaluierung 2019*. [Online] Available at: <https://www.win.steiermark.at/cms/beitrag/12776650/10341104> [Zugriff am April 2020].

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Hauptszenario 4 – energetischer Endverbrauch nach Energieträgern 2000–2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA	4
Abbildung 2: Hauptszenario 4 – Stromaufbringung 2000–2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022), Berechnungen AEA	6
Abbildung 3: Hauptszenario 4 – Fernwärmeaufbringung 2000–2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022), Berechnungen AEA	6
Abbildung 4: Historische steirische THG-Emissionen im Non-ETS-Bereich von 2005 bis 2021 und Zielpfad von 2021 bis 2030 nach ESR-Methodik und mit minus 48 %-Ziel für das Jahr 2030 (auf Basis 2005); Quelle: (UBA, 2023a), (EU, 2023a), Berechnungen AEA	13
Abbildung 5: Historische steirische THG-Emissionen im ETS-Bereich von 2005 bis 2021 und indikativer Zielpfad von 2021 bis 2030 abgeleitet aus dem minus 62 %-Ziel für das Jahr 2030 (auf Basis 2005); Quelle: (UBA, 2023a), (EU, 2023b), Berechnungen AEA	14
Abbildung 6: Historische steirische THG-Emissionen im Non-ETS-Bereich von 2005 bis 2021 und Zielpfad von 2021 bis 2030 nach ESR-Methodik und mit minus 48 %-Ziel für das Jahr 2030 (auf Basis 2005) und Annahmen für die Zeitperiode 2031 bis 2050; Quelle: (UBA, 2023a), (EU, 2023a), Abstimmungsmeetings mit dem Land Steiermark, und Berechnungen AEA	16
Abbildung 7: Historische steirische THG-Emissionen im ETS-Bereich von 2005 bis 2021 und Zielpfad von 2021 bis 2030 abgeleitet anhand des minus 62 %-Ziels für das Jahr 2030 (auf Basis 2005) und Annahmen für die Zeitperiode 2031 bis 2050; Quelle: (UBA, 2023a), (EU, 2023b), Abstimmungsmeetings mit dem Land Steiermark, Berechnungen AEA	17
Abbildung 8: Historische steirische gesamte THG-Emissionen von 2005 bis 2021 und kombinierter Zielpfade für ETS und Non-ETS; Quelle: (UBA, 2023a), (EU, 2023a), (EU, 2023b), Abstimmungsmeetings mit dem Land Steiermark, Berechnungen AEA	17
Abbildung 9: Steiermark historische sektorale Treibhausgasemissionen von 2005 bis 2021, sowie Annahme für Sektor-Ziele bis 2030; Quelle: (UBA, 2023a), Berechnungen AEA.....	21
Abbildung 10: EEV-Zielpfad für die Steiermark; Quelle: (Statistik Austria, 2022); (BGBl. I Nr. 72/2014, 2023); Berechnungen AEA	22
Abbildung 11: HS4 – energetischer Endverbrauch nach Energieträgern 2000–2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA.....	25
Abbildung 12: HS5 – energetischer Endverbrauch nach Energieträgern 2000–2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA.....	25
Abbildung 13: HS6 – energetischer Endverbrauch nach Energieträgern 2000–2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA.....	25
Abbildung 14: HS4 – Entwicklung Endenergieverbrauch – Industrie 2000-2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA.....	28
Abbildung 15: HS5 – Entwicklung Endenergieverbrauch – Industrie 2000-2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA.....	29
Abbildung 16: HS6 – Entwicklung Endenergieverbrauch – Industrie 2000-2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA.....	29
Abbildung 17: Ziele für die Entwicklung an zurückgelegten Personenkilometer in Millionen; Quelle: (BMK, 2021)	31
Abbildung 18: Ziele für die Entwicklung an Güterverkehrsleistung in Millionen Tonnenkilometer; Quelle: (BMK, 2021).....	31

Abbildung 19: HS4 – Entwicklung Endenergieverbrauch – Verkehr 2000-2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA	34
Abbildung 20: HS5 – Entwicklung Endenergieverbrauch – Verkehr 2000-2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA	34
Abbildung 21: HS6 – Entwicklung Endenergieverbrauch – Verkehr 2000-2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA	34
Abbildung 22: HS4 / HS5 / HS6– Entwicklung Endenergieverbrauch – Haushalte 2000-2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA	35
Abbildung 23: HS4 / HS5 / HS6 – Entwicklung Endenergieverbrauch – Dienstleistungen 2000-2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA	36
Abbildung 24: HS4 / HS5 / HS6 – Entwicklung Endenergieverbrauch – Landwirtschaft 2000-2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA	37
Abbildung 25: HS4 – Stromaufbringung in der Steiermark 2000–2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022), Berechnungen AEA	44
Abbildung 26: HS5 – Stromaufbringung in der Steiermark 2000–2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022), Berechnungen AEA	44
Abbildung 27: HS6 – Stromaufbringung in der Steiermark 2000–2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022), Berechnungen AEA	44
Abbildung 28: Beispielhafte saisonale Stromerzeugung im Jahr 2040 – HS4.0 - niedrige Stromerzeugung mittels Windenergie; Quelle: Berechnungen AEA.....	48
Abbildung 29: Beispielhafte saisonale Stromerzeugung im Jahr 2040 – HS4.6 - hohe Stromerzeugung mittels Windenergie; Quelle: Berechnungen AEA.....	48
Abbildung 30: Variantenvergleich Teil 1; Quelle: Berechnungen AEA	50
Abbildung 31: Variantenvergleich Teil 2; Quelle: Berechnungen AEA	51
Abbildung 32: Variantenvergleich Teil 3; Quelle: Berechnungen AEA	52
Abbildung 33: HS4 – Fernwärmeerzeugung in der Steiermark 2000–2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022), Berechnungen AEA	53
Abbildung 34: HS5 und HS6 – Fernwärmeerzeugung in der Steiermark 2000–2050; Quelle: (Statistik Austria, 2022), Berechnungen AEA.....	53
Abbildung 35: Biomasse und Bio-Methan in HS4, HS5 und HS6; Quelle: Berechnungen AEA	59
Abbildung 36: Anteil Erneuerbarer Energieträger – HS4, HS5 und HS6; Quelle: Statistik Austria (Statistik Austria, 2022) und Berechnungen AEA.....	61
Abbildung 37: Anteil Erneuerbare im Sektor Elektrizitätserzeugung – HS4, HS5 und HS6; Quelle: Statistik Austria (Statistik Austria, 2022) und Berechnungen AEA	62
Abbildung 38: Anteil Erneuerbare im Sektor Fernwärmeerzeugung – HS4, HS5 und HS6; Quelle: Statistik Austria (Statistik Austria, 2022) und Berechnungen AEA	63
Abbildung 39: Anteil anrechenbare Erneuerbare im Sektor Verkehr – HS4, HS5 und HS6; Quelle: Statistik Austria (Statistik Austria, 2022) und Berechnungen AEA	64
Abbildung 40: Anteil Erneuerbare, Anteil Erneuerbare Stromerzeugung, Anteil Erneuerbare Fernwärmeerzeugung und Anteil Erneuerbare Verkehr HS4; Quelle: Statistik Austria (Statistik Austria, 2022) und Berechnungen AEA.....	65
Abbildung 41: Anteil Erneuerbare, Anteil Erneuerbare Stromerzeugung, Anteil Erneuerbare Fernwärmeerzeugung und Anteil Erneuerbare Verkehr HS5; Quelle: Statistik Austria (Statistik Austria, 2022) und Berechnungen AEA.....	65

Abbildung 42: Anteil Erneuerbare, Anteil Erneuerbare Stromerzeugung, Anteil Erneuerbare Fernwärmeerzeugung und Anteil Erneuerbare Verkehr HS6; Quelle: Statistik Austria (Statistik Austria, 2022) und Berechnungen AEA.....	66
Abbildung 43: Steirische Treibhausgasemissionen mit Entwicklung aus HS4 bis 2050, Klimaschutzszenario = HS4; Quelle: (UBA, 2019a), Berechnungen AEA	68
Abbildung 44: Steirische Treibhausgasemissionen je Sektor mit Entwicklung aus HS4 bis 2050, Klimaschutzszenario = HS4; Quelle: (UBA, 2019a), Berechnungen AEA.....	68
Abbildung 45: Steirische Treibhausgasemissionen mit Entwicklung aus HS5 bis 2050, Klimaschutzszenario = HS5; Quelle: (UBA, 2019a), Berechnungen AEA	69
Abbildung 46: Steirische Treibhausgasemissionen je Sektor mit Entwicklung aus HS5 bis 2050, Klimaschutzszenario = HS5; Quelle: (UBA, 2019a), Berechnungen AEA.....	69
Abbildung 47: Steirische Treibhausgasemissionen mit Entwicklung aus HS6 bis 2050, Klimaschutzszenario = HS6; Quelle: (UBA, 2019a), Berechnungen AEA	70
Abbildung 48: Steirische Treibhausgasemissionen je Sektor mit Entwicklung aus HS6 bis 2050, Klimaschutzszenario = HS6; Quelle: (UBA, 2019a), Berechnungen AEA.....	70
Abbildung 49: Prozess von der Festlegung der Ziele, Maßnahmen, Zuständigkeiten sowie Budgetplanung, Monitoring und Evaluierung; Quelle: (AEA, 2023b)	71
Abbildung 50: Indikator-Zielpfad für fossile primäre Heizsysteme in Hauptwohnsitzwohnungen; Quelle: (Statistik Austria, 2021), und Berechnungen AEA	73
Abbildung 51: Indikator-Zielpfad – Anteil emissionsfreie Pkw in der Steiermark; Quelle: Berechnungen AEA....	75
Abbildung 52: Indikator-Zielpfad – Anteil emissionsfreie LNF in der Steiermark; Quelle: Berechnungen AEA	75
Abbildung 53: Indikator-Zielpfad – Anteil emissionsfreie Lkw in der Steiermark; Quelle: Berechnungen AEA	76
Abbildung 54: Indikator-Zielpfad – Anteil emissionsfreie Busse in der Steiermark; Quelle: Berechnungen AEA .	76
Abbildung 55: Indikator-Zielpfad – Stromerzeugung aus Wasserkraft in der Steiermark (normalisiert); Quelle: Berechnungen AEA	78
Abbildung 56: Indikator-Zielpfad – Stromerzeugung aus Windkraft in der Steiermark (normalisiert); Quelle: Berechnungen AEA	78
Abbildung 57: Indikator-Zielpfad – Stromerzeugung aus Photovoltaik in der Steiermark; Quelle: Berechnungen AEA	79

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Historische steirische THG-Emissionen im Non-ETS-Bereich für 2005, 2020 und 2021 sowie Zielpfad von 2021 bis 2030 nach ESR-Methodik und mit minus 48 %-Ziel für das Jahr 2030 (auf Basis 2005), in 1.000 t CO ₂ -Äquivalent; Quelle: (UBA, 2023a), (EU, 2023a), Berechnungen AEA	13
Tabelle 2 Historische steirische THG-Emissionen im ETS-Bereich für 2005, 2020 und 2021 und indikativer Zielpfad von 2021 bis 2030 abgeleitet aus dem minus 62 %-Ziel für das Jahr 2030 (auf Basis 2005); Quelle: (UBA, 2023a), (EU, 2023b), Berechnungen AEA	14
Tabelle 3: Ziele für Non-ETS und ETS-Bereich für HS4, HS5 und HS6; Prozent in Minus, bezogen auf das Jahr 2005; Quelle: (EU, 2023a), (EU, 2023b), (Standard, 2021) und Abstimmungsmeetings mit dem Land Steiermark	15
Tabelle 4: Annahmen für relativen Treibhausgasemissions-Reduktionsziele für die Sektoren in der Steiermark, Prozent in Minus, bezogen auf das Jahr 2005; Quelle: (BMK, 2023a), (Standard, 2021), Annahmen und Berechnungen AEA	19
Tabelle 5: Annahmen für absolute Treibhausgasemissions-Zielwerte für die Sektoren in der Steiermark; Quelle: (BMK, 2023a), (Standard, 2021), Annahmen und Berechnungen AEA.....	20
Tabelle 6: Allgemeine Annahmen für die Szenarien bezüglich Erneuerbaren-Anteil und Anteil an Stromimporten	23
Tabelle 7: EEV für ausgewählte Energieträger für HS4, HS5 und HS6; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA	26
Tabelle 8: EEV der Industrie für ausgewählte Energieträger für HS4, HS5 und HS6; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA.....	29
Tabelle 9: Ziele für Neuzulassung und Bestand an emissionsfreien Fahrzeugen; Quelle: (BMK, 2021).....	31
Tabelle 10: Annahmen für Antriebsmix der emissionsfreien Fahrzeuge bezogen auf die Anzahl an Fahrzeugen; Quelle: Besprechungen mit Land Steiermark	32
Tabelle 11: EEV des Verkehrs für ausgewählte Energieträger für HS4, HS5 und HS6; Quelle: (Statistik Austria, 2022b), Berechnungen AEA.....	33
Tabelle 12: Ausgewählte Ergebnisse HS4, HS5 und HS6 – EEV Haushalte; Quelle: Berechnungen AEA	36
Tabelle 13: Ausgewählte Ergebnisse HS4 / HS5 / HS6 – EEV Dienstleistungen; Quelle: Berechnungen AEA.....	37
Tabelle 14: Ausgewählte Ergebnisse HS4 / HS5 / HS6 – EEV Landwirtschaft; Quelle: Berechnungen AEA.....	38
Tabelle 15: Hauptszenario-Annahmen (HS4.0 / HS5.0 / HS6.0) und Annahmen für Varianten für H2- und E-Fuel-Importe HS4.1 / HS5.1 / HS6.1, HS4.2 / HS5.2 / HS6.2, HS4.3 / HS5.3 / HS6.3	40
Tabelle 16: Hauptszenario-Annahmen (HS4.0 / HS5.0 / HS6.0) und Annahmen für Varianten für Windkraftherzeugung HS4.4 / HS5.4 / HS6.4, HS4.5 / HS5.5 / HS6.5, HS4.6 / HS5.6 / HS6.6	40
Tabelle 17: Hauptszenario-Annahmen (HS4.0 / HS5.0 / HS6.0) und Annahmen für Varianten für E-Fuel-Verbrauch im Verkehrssektor HS4.7 / HS5.7 / HS6.7, HS4.8 / HS5.8 / HS6.8, HS4.9 / HS5.9 / HS6.9 (theoretische nicht plausible Variante),.....	41
Tabelle 18: HS4, HS5 und HS6 - berücksichtigter Ausbau erneuerbare Stromerzeugung; Quelle: Berechnungen AEA	44
Tabelle 19: HS4, HS5 und HS6 – Analyse PV-Stromerzeugung; Quelle: Berechnungen AEA.....	45
Tabelle 20: HS4, HS5 und HS6 – Analyse Wind-Stromerzeugung – Abschätzung der notwendigen Anzahl an WKAs; Quelle: Berechnungen AEA	47
Tabelle 21: Variantenvergleich Teil 1; Quelle: Berechnungen AEA	50
Tabelle 22: Variantenvergleich Teil 2; Quelle: Berechnungen AEA	51
Tabelle 23: Variantenvergleich Teil 3; Quelle: Berechnungen AEA	52

Tabelle 24: HS4, HS5 und HS6 – Fernwärmeerzeugung; Quelle: Berechnungen AEA	54
Tabelle 25: Wasserstoffbedarf in den Hauptszenarien; Quelle: Berechnungen AEA	55
Tabelle 26: Wasserstoffimport und -produktionsquoten in der Steiermark; Quelle: Berechnungen AEA	55
Tabelle 27: Stromverbrauch für die Wasserstoffproduktion in der Steiermark; Quelle: Berechnungen AEA	55
Tabelle 28: E-Fuel-Bedarf in den Varianten in dem Hauptszenario HS4 und relevanten Varianten; Quelle: Berechnungen AEA	57
Tabelle 29: E-Fuel-Bedarf in den Varianten in den Hauptszenarien HS5 / HS6 und relevanten Varianten; Quelle: Berechnungen AEA	57
Tabelle 30: E-Fuelimport und -produktionsquoten in der Steiermark; Quelle: Berechnungen AEA	57
Tabelle 31: Stromverbrauch für die E-Fuel-Produktion in der Steiermark für HS4 und relevanten Varianten; Quelle: Berechnungen AEA	58
Tabelle 32: Stromverbrauch für die E-Fuel-Produktion in der Steiermark für HS5 / HS6 und relevanten Varianten; Quelle: Berechnungen AEA	58
Tabelle 33: Biomasse und Bio-Methan in HS4, HS5 und HS6; Quelle: Berechnungen AEA	59
Tabelle 34: Anteil Erneuerbarer Energieträger – HS4, HS5 und HS6; Quelle: Statistik Austria (Statistik Austria, 2022) und Berechnungen AEA	61
Tabelle 35: Anteil Erneuerbare im Sektor Elektrizitätserzeugung – HS4, HS5 und HS6; Quelle: Statistik Austria (Statistik Austria, 2022) und Berechnungen AEA	62
Tabelle 36: Anteil Erneuerbare im Sektor Fernwärmeerzeugung – HS4, HS5 und HS6; Quelle: Statistik Austria (Statistik Austria, 2022) und Berechnungen AEA	63
Tabelle 37: Anteil anrechenbare Erneuerbare im Sektor Verkehr – HS4, HS5 und HS6; Quelle: Statistik Austria (Statistik Austria, 2022) und Berechnungen AEA	64
Tabelle 38: Berechnete Treibhausgasemissionsfaktoren; Quelle: Berechnungen AEA	82
Tabelle 39: Industrie Einzelmaßnahmen; Quelle: (AIT, 2019)	85

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
AEA	Österreichische Energieagentur
AVL	AVL List GmbH
BEEV	Bruttoendenergieverbrauch
BMDW	Bundesministerium für Arbeit und Wirtschaft
BMK	Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
ca	circa
CBAM	Carbon Border Adjustment Mechanism
CCUS	Carbon Capture Utilization and Storage
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
CO ₂ eq	Kohlendioxid-Äquivalent
COP	Arbeitszahl
DACC	Direct Air Carbon Capture
Dep	Deponie
EAG	Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz
E-Fuel	Synthetischer Kraftstoff
E-Pkw	Elektroauto
EB	Energiebilanz der Statistik Austria
EED	Energieeffizienzrichtlinie (EU)
EEff	Energieeffizienz
EEffG	Energieeffizienz-Gesetz
EEV	Endenergieverbrauch
ETS	Emissionshandel
EK	Europäische Kommission
Elek	Elektrisch

EI	Energieintensität
ESR	Effort Sharing Regulation
ET	Energieträger
EU	Europäische Union
GW	Gigawatt
GWh	Gigawattstunden (1.000.000 kWh)
ha	Hektar
HS	Hauptszenario
H ₂	Wasserstoff
HWS	Hauptwohnsitz
KSG	Österreichisches Klimaschutzgesetz (BGI, I 106/2011)
km	Kilometer
km ²	Quadratkilometer
kt	1000 Tonnen
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
kWp	Kilowatt peak
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge
LULUCF	Land Use, Land Use Change, and Forestry (Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft)
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
Lkw	Lastkraftwagen
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge
Mio.	Millionen
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MMP	Mobilitätsmasterplan
MÖSt	Mineralölsteuer
Mrd.	Milliarden
MW	Megawatt

N	Stickstoff
NEKP	Nationaler Energie- und Klimaplan
NIP	Integrierter österreichischen Netzinfrasturkturplans
Non-ETS	Nicht-Emissionshandel
N ₂ O	Lachgas
OIB	Österreichisches Institut für Bautechnik
ÖV	Öffentlicher Verkehr
p. a.	Pro Jahr
Pkw	Personenkraftwagen
PIK	Potsdam Institut für Klimafolgenforschung
PJ	Petajoule
PV	Photovoltaik
RES III	Erneuerbare-Energien-Richtlinie (EU)
RES	Erneuerbare
RES-E	Erneuerbarer Strom
SAF	Sustainable Aviation Fuel
SNG	Synthetic Natural Gas
t	Tonne(n)
THG	Treibhausgas
TWh	Terawattstunden
u.	und
u. a.	Unter anderem
UBA	Umweltbundesamt
Verk	Verkehr
WAM	With Additional Measures
WOM	Without Measures

Über die Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency (AEA)

Die Österreichische Energieagentur liefert Antworten für die klimaneutrale Zukunft: Ziel ist es, unser Leben und Wirtschaften so auszurichten, dass kein Einfluss mehr auf unser Klima gegeben ist. Neue Technologien, Effizienz sowie die Nutzung von natürlichen Ressourcen wie Sonne, Wasser, Wind und Wald stehen im Mittelpunkt der Lösungen. Dadurch wird für uns und unsere Kinder das Leben in einer intakten Umwelt gesichert und die ökologische Vielfalt erhalten, ohne dabei von Kohle, Öl, Erdgas oder Atomkraft abhängig zu sein.

Das ist die missionzero der Österreichischen Energieagentur.

Mehr als 85 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus vielfältigen Fachrichtungen beraten auf wissenschaftlicher Basis Politik, Wirtschaft, Verwaltung sowie internationale Organisationen. Sie unterstützen diese beim Umbau des Energiesystems sowie bei der Umsetzung von Maßnahmen zur Bewältigung der Klimakrise.

Die Österreichische Energieagentur setzt zudem im Auftrag des Bundes die Klimaschutzinitiative klima**aktiv** um. Der Bund, alle Bundesländer, bedeutende Unternehmen der Energiewirtschaft und der Transportbranche, Interessenverbände sowie wissenschaftliche Organisationen sind Mitglieder dieser Agentur.

Besuchen Sie uns auf unserer Webseite: energyagency.at.



AUSTRIAN ENERGY AGENCY

energyagency.at