Memo

Die Entwicklung der österreichischen Treibhausgasemissionen bis 2024

Tobias Eibinger, Hans Manner, Karl W. Steininger

Institut für Volkswirtschaftslehre, Universität Graz
Wegener Center für Klima und Globalen Wandel, Universität Graz

August 2025

>> Daten der Zeitreihen für Abbildungen Z.1 und Z.2

Zusammenfassung

Dieser Bericht analysiert die Treibhausgasemissionen (THG) in Österreich bis 2024.

Die Treibhausgas-Emissionen sind gegenüber 1990 um rund 15,9 % gesunken, wobei seit Anfang 2022 besonders starke Rückgänge erzielt wurden. Im Gebäudesektor lagen die Emissionen zuletzt um über 50 % niedriger (bzw. um knapp 7 Mio t CO_2eq[1]), in den verbleibenden Sektoren nunmehr 24 % unter deren Höchstwert aus 2005 (bzw. um 19,6 Mio t CO_2eq niedriger), und liegen hier seit 2022, mittlerweile deutlich, unter dem Emissions-niveau von 1990, und zwar 2024 um 8,5 % (bzw. 5,7 Mio t CO_2eq). Die Emissionen insgesamt sind so gering wie seit 1970 nicht mehr.

Im Folgenden stellen wir die Entwicklungen dar für (a) den Gebäudesektor und (b) alle anderen Sektoren. **Im Gebäudebereich** sanken 2024 die Emissionen gegenüber dem Vorjahr um 0,4 Mio t CO_2eq, was einer Reduktion von 6,6 % der Emissionen des Gebäudesektors entspricht. Davon sind geschätzt rund 2,1 %-Punkte auf einen milderen Winter zurückzuführen (gemessen an österreichweit regional beobachteten und bevölkerungs-gewichteten Heizgradtagen). Die darüber hinaus gehende Reduktion ist strukturell, insbesondere sind 4,3 %-Punkte auf die Umstellung der Heizsysteme, d.h. einen erhöhten Anteil erneuerbarer Energieträger, zurückzuführen. Gestiegene Energiepreise (auch aufgrund des neu eingeführten stufenweise ansteigenden nationalen CO_2-Preises) seit Ende 2022 erklären rund 72 % dieses gestiegenen Anteils Erneuerbarer, d. h. lassen sich als Grund für die Umstellung des Heizsystems ausmachen. Zudem wirken hier umfangreiche Förderungen sowie das Verbot fossiler Heizanlagen im Neubau. Im Jahr davor 2023 sanken die Emissionen gegenüber dem Vorjahr um knapp 14 %. Da dies ein nur leicht wärmeres Jahr als dessen Vorjahr 2022 war, sind davon 0,6 %-Punkte dem milderen Winter zuzuordnen. 9 %-Punkte sind dem höheren Anteil Erneuerbarer zuordenbar. Die weiteren durchaus breit wirksamen Gründe dürften hier Jahres-spezifisch sein, und zwar insbesondere durch Initiativen bedingt sein, die der nach dem russischen Überfall auf die Ukraine verschärften Energiekrise folgten, wie Temperaturabsenkungen in öffentlichen Gebäuden und Reduktionen der insbesondere Gasnachfrage auch in privaten Haushalten.

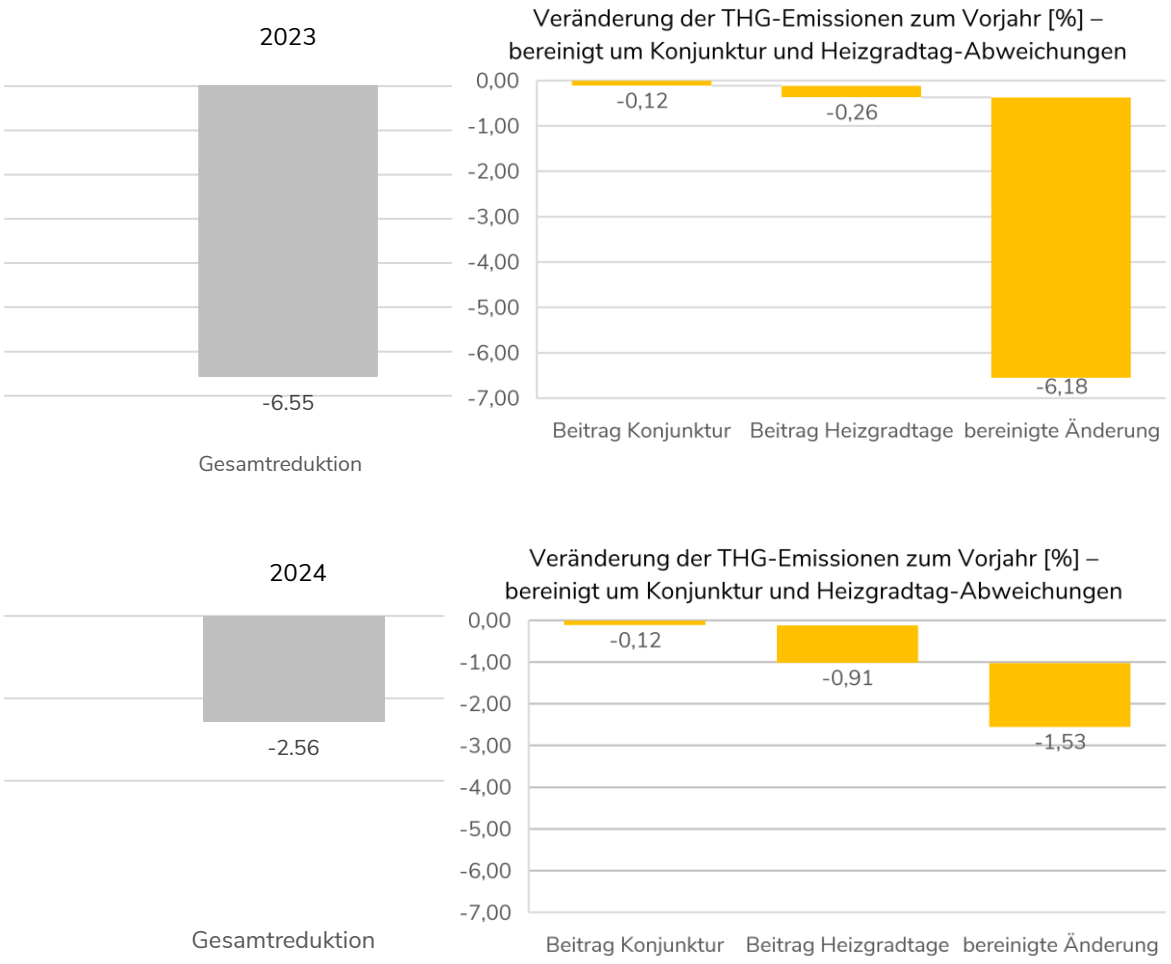
In den verbleibenden Sektoren (d. h. im Nicht-Gebäude-Bereich) hatte die Energiekrise wesentliche Emissionsauswirkungen. Im ersten Krisenjahr, 2022, sanken die Emissionen relativ zum Vorjahr um 4,5 %. Im Folgejahr 2023 sanken die Emissionen im Nicht-Gebäude-Bereich relativ zum Vorjahr um rund 3,8 Mio t CO_2eq (ca. -5,8 %). Die gegenüber dem langjährigen Trend schwache Entwicklung des BIP trägt dazu 1,3 %-Punkte bei, der verstärkte Einsatz erneuerbarer Energieträger würde im langfristigen Trend weitere 5,1 %-Punkte der Reduktion erklären und ein im Vergleich milderer Winter 0,2 %-Punkte. Wie auch im Folgejahr haben sich diese aus dem langfristigen Trend abgeleiteten Wirkungen nicht vollständig materialisiert. 2024 sanken Emissionen um 2,15 % relativ zu 2023. Im langfristigen Trend würde sich aus den folgenden Bestimmgründen eine insgesamt stärkere Reduktion erklären lassen, die sich so nicht materialisert hat, weil die Wirkungsstärke nicht im langfristigen Trend liegt, sondern abgenommen hat (etwa wirkt bei einer mittlerweile stärker

[1] Millionen Tonnen CO_2-Äquivalente

auf Erneuerbaren basierender Fernwärme- und Stromproduktion eine Veränderung der Heizgradtage nicht mehr so stark auf die Emissionen). Im langfristigen Trend ließen sich 1,3 %-Punkte durch eine erneute Reduktion im BIP (-1,17 %) erklären, 2,9 %-Punkte durch den Anstieg im Anteil Erneuerbarer Energien (+ 6,6 %) und 0,8 %-Punkte auf einen milden Winter und Rückgang in den Heizgradtagen zurückführen. Der Anstieg des Anteils erneuerbarer Energieträger 2024 (+6,6 %) lässt sich durch gestiegene Energiepreise seit 2022 zu knapp 50 % erklären.

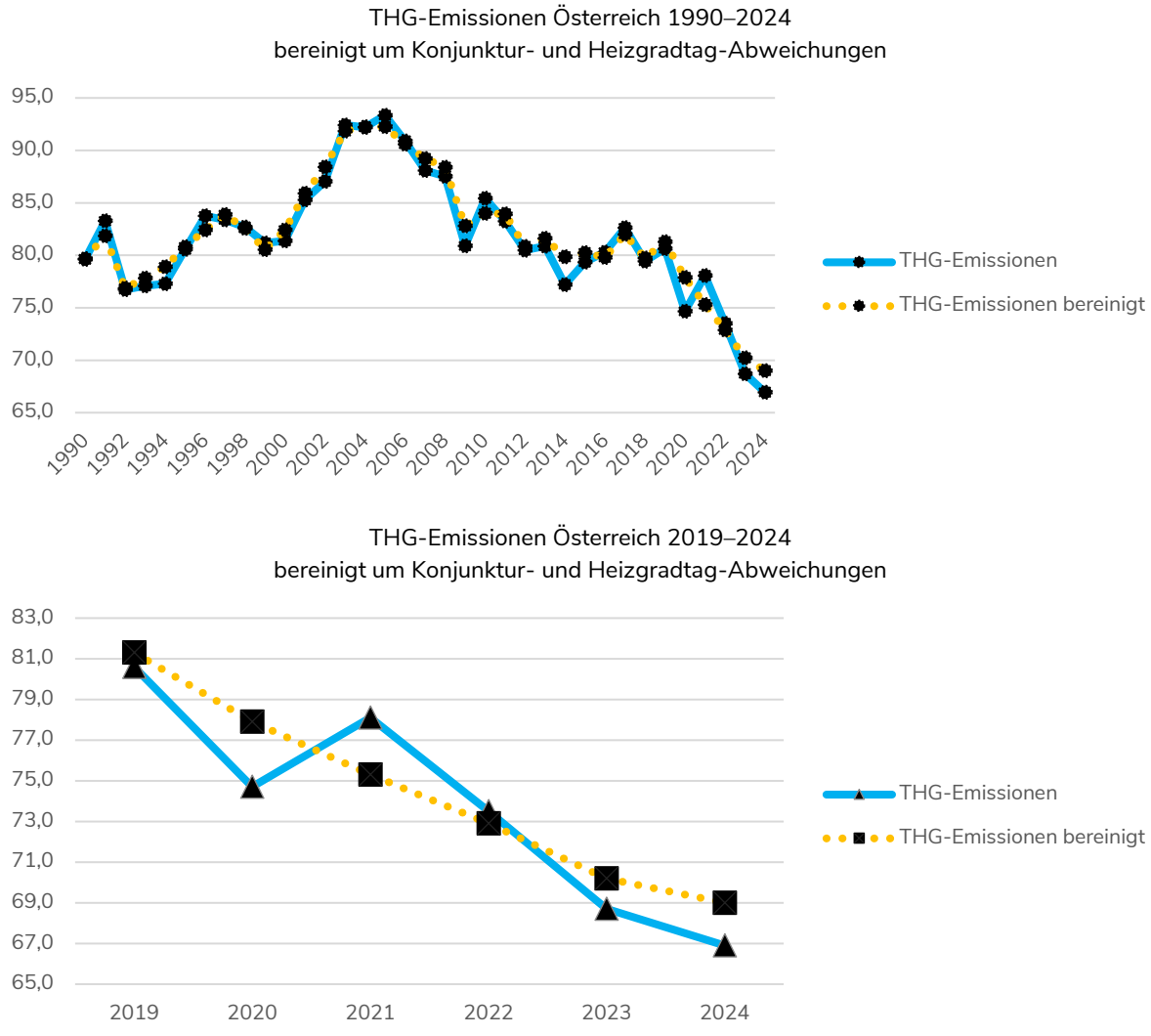
Auf die Gesamtemissionen der beiden Jahre **bezogen** zeigt sich, wie in Abbildung Z.1 dargestellt, dass im Jahr 2023 die schwache Konjunktur die Emissionen (aus Nicht-Gebäude-Sektoren entstehend) relativ zum Vorjahr leicht um 0,12 % sinken ließ, der vergleichsweise warme Winter diese um 0,26 % geringer ausfallen ließ (über alle Sektoren), sodass der um Konjunktur und Heizgradtagabweichungen vom langjährigen Mittel bereinigte Jahresbeitrag mit 6,18 % Emissionssenkung minimal geringer ausfiel als die beobachtete Reduktion in Höhe von 6,55%. Ähnlich waren im Jahr 2024 Anteile der insgesamt gemessenen Emissionsrückgänge (2,56 %) auf die schwache Konjunktur (Beitrag 0,12 %-Punkte) als auch auf den noch wärmeren Winter (Beitrag 0,91 %-Punkte) zurückzuführen. Sie führen dazu, dass der um Konjunktur und Heizgradtage bereinigte Jahresbeitrag somit eine Emissionsreduktion in Höhe von 1,53 %-Punkten beträgt.

Abbildung Z.1: Bereinigung der THG-Emissionsänderungen gegenüber dem Vorjahr um Konjunktur- und Heizgradtagabweichungen vom langjährigen Mittel für die Jahre 2023 und 2024



Eine alternative Art der Betrachtung kann aufzeigen, wie hoch die THG-Emissionen in einem Jahr gewesen wären, wenn sowohl Konjunktur (bei Nicht-Gebäude-Sektoren) als auch die Summe der Heizgradtage und somit die Wintertemperatur auf deren langjährigen Durchschnittsniveaus gewesen wären. Für diese Betrachtung werden die für eine solche Annahme **hypothetischen Emissionen** ermittelt, und können mit den tatsächlichen Emissionswerten verglichen werden. Abbildung Z.2 stellt die Ergebnisse dieser Analyse dar, sowohl für den Zeitraum 1990–2024, als auch dann spezifisch hineingezoomt auf die letzten Jahre. Es zeigt sich, dass im Jahr 2020 der starke Konjunktureinbruch wesentlich zur Emissionsreduktion beigetragen hat (und zwar auch viel stärker als der leicht wärmere Winter sie gesenkt hat), die bereinigten Emissionen in diesem Jahr somit deutlich höher ausgefallen wären. Im Jahr 2021 hingegen führten ein sowohl überdurchschnittliches Wirtschaftswachstum als auch kalter Winter zu höheren Emissionen als es die bereinigten (in einem Jahr mit durchschnittlichen Bedingungen) gewesen wären. 2022 trieb die starke Konjunktur die Emissionen über deren bereinigten hypothetischen Wert, während 2023 sowie 2024 sowohl die schwache Konjunktur als auch der warme Winter zur Emissionssenkung beitrugen, der bereinigte Emissionswert also höher liegt.

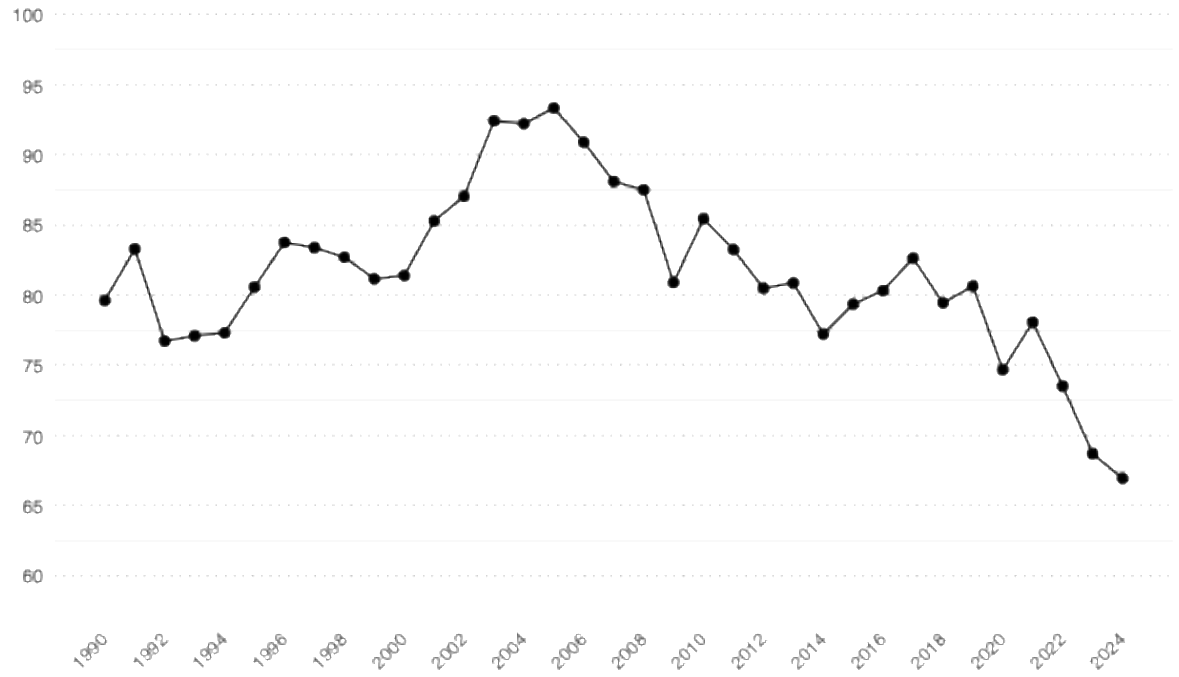
Abbildung Z.2: Hypothetische Emissionsniveaus bei Unterstellung einer durchschnittlichen Konjunkturentwicklung und Wintertemperatur (Summe Heizgradtage, bevölkerungsgewichtet)



1. Einleitung

Dieses Memo untersucht die Entwicklung der Treibhausgas (THG) Emissionen in Österreich in den Jahren 2024 und 2023 jeweils im Vergleich zum Vorjahr. Daten für 2024 stammen aus dem UBA-NowCast sowie der vorläufigen Energiebilanz für Österreich. Vor allem in den Jahren seit 2022 sind Emissionen zum jeweiligen Vorjahr stark gesunken. Abbildung 1 zeigt den Verlauf der Emissionen von 1990–2024 über alle Sektoren. 2024 rel. zu 2023 sanken die Emissionen um 2,6 % und 2023 rel. zu 2022 um 6,5 %. Wir fragen uns im Folgenden im Detail, auf welche Faktoren diese Rückgänge jeweils zurückzuführen sind. Wir stellen unsere Methode anhand der Veränderungen der Emissionen im Jahr 2024 dar, und wenden diese anschließend auch auf jene im Jahr 2023 an. Dabei unterscheiden wir zwischen Emissionen aus dem Gebäudesektor sowie verbleibenden Emissionen. Letztere umfassen Treibhausgase aus den Sektoren Energie, Industrie, Verkehr, Abfallwirtschaft, F-Gase und Landwirtschaft. THG-Emissionen aus dem Gebäudebereich sind 2024 relativ zu 2023 um 6,6 % und 2023 rel. zu 2022 um 13,7 % gesunken. In den verbleibenden Sektoren gab es eine Reduktion von 2,1 % (2024 rel. zu 2023) und 5,8 % (2023 rel. zu 2022).

Abb. 1: Österreichs THG-Emissionen, in Mio t CO_2eq (1990–2024)



Wir sind besonders daran interessiert, den Effekt struktureller Veränderung zu schätzen und von anderen Effekten, wie den Auswirkungen warmer Winter oder von Veränderungen im gesamtwirtschaftlichen Aktivitätsniveau (z. B. Rezession) zu trennen. Im Gebäudebereich werden Emissionen durch niedrigeren Heizbedarf in warmen Wintern beeinflusst. Strukturelle Effekte können sich durch den Anteil Erneuerbarer Energien ergeben. Dieser Anteil kann seinerseits wiederum durch erhöhte Energiepreise steigen. Emissionen in den verbleibenden

Bereichen stehen insbesondere in Zusammenhang mit dem Niveau wirtschaftlicher Aktivität, aber in Bezug auf die darin enthaltenen Bereiche Fernwärme und Elektrizität ebenso in Zusammenhang mit den Wintertemperaturen (Heizgradtage), sowie insgesamt mit dem Anteil Erneuerbarer Energien, welcher wiederum durch Preiseffekte beeinflusst ist.

Zur Analyse verwenden wir eine statistische Methode: Die Regressions-Methode der Kleinsten Quadrate. Bei diesem Verfahren erklären wir die Treibhausgase durch verschiedene erklärende Variablen. Dabei versuchen wir eine möglichst gute lineare Beziehung zwischen der abhängigen und erklärenden Variablen zu schätzen. Das Verfahren minimiert dabei die quadrierte Differenz der Abweichung der beobachteten Treibhausgas-Emissionen von den Schätzungen basierend auf der linearen Beziehung. Für unsere Schätzungen stehen uns jährliche Daten von 1990–2023 zur Verfügung. Die geschätzten Beziehungen basierend auf diesen Daten wenden wir auf Veränderungen 2024 an, um so den Erklärungsgehalt der verschiedenen Faktoren für die Emissionsreduktion zu bestimmen. Die Interpretation solcher Modelle erfolgt immer unter der Annahme, dass sich eine erklärende Variable verändert, während alle anderen unverändert bleiben. Daher gehen wir bei beiden Emissionsbereichen in zwei Schritten vor.

Im Gebäudebereich schätzen wir zuerst die Beziehung zwischen Emissionen und Heizgrad-tagen sowie dem Anteil Erneuerbarer. Wir verwenden dabei den Anteil anstatt absoluter Werte, um Änderungen im absoluten Verbrauch zu erlauben. Für die Emissionen aus den verbleibenden Sektoren gehen wir ähnlich vor und schätzen zuerst die Beziehung zwischen Emissionen, Wirtschaftswachstum, Heigradtagen und dem Anteil Erneuerbarer. In einem zweiten Schritt schätzen wir jeweils für die beide Bereiche den Effekt von Energiepreisen auf den Anteil Erneuerbarer.

Wir diskutieren die Ergebnisse im Folgenden. Eine formale Darstellung der geschätzten Modelle ist in Appendix A gegeben, detaillierte Ergebnisse und Tests zur Modellgüte sind in Appendix B zu finden.

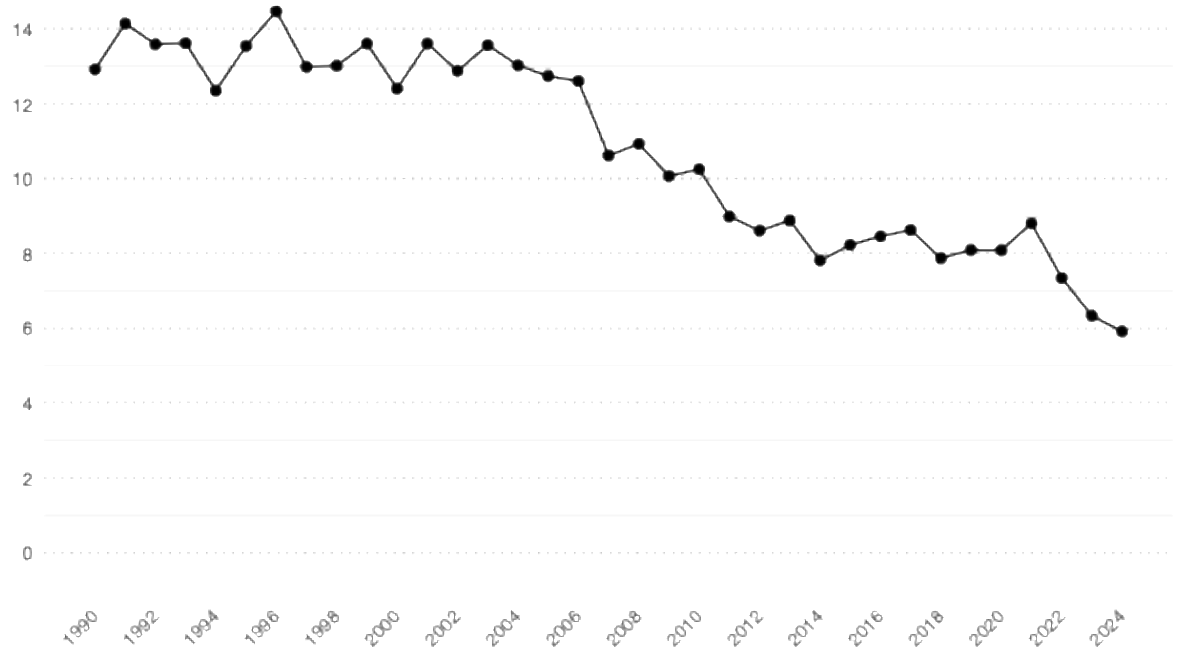
2. Emissionen aus dem Gebäudesektor

Zur Analyse des Gebäudebereichs beziehen wir uns auf Emissionen, die nach dem Klimaschutzgesetz (KSG) abgedeckt sind, also Emissionen außerhalb des Emissionshandels, die dem Gebäudesektor zuzuordnen sind. Gebäudeemissionen sind im Zeitraum 1990-2024 um über 50 % gesunken. Seit Anfang 2022 konnten besonders starke kontinuierliche Rückgänge erzielt werden. 2022 sanken die Emissionen relativ zu 2021 um knapp 17 % (1,5 Mio t CO_2eq 2023 relativ zu 2022 um knapp 14 % (1 Mio t CO_2eq). Laut dem NowCast des Umweltbundesamtes sanken die Emissionen 2024 relativ zu 2023 um 0,4 Mio t CO_2eq, was einer Reduktion von rund 6,6 % entspricht.

Die Emissionen für Heizen und Warmwasser im Gebäudesektor sind hauptsächlich auf den Verbrauch fossiler Energieträger zurückzuführen. Am Beispiel des Jahres 2024: Laut der vorläufigen Energiebilanz der Statistik Austria ging der Verbrauch von Öl signifikant zurück, um rund 15 %. Jener von Kohle und Gas stagnierte. Fernwärme und elektrische Energie gehen

in den Gebäudebereich mit Null-Emissionen ein, da diese im Energiesektor verbucht werden. Somit führen diese Energieträger zu keinen im Gebäudebereich verbuchten Emissionen und werden hier (nicht aber im Energiesektor) als zur Gänze nicht-fossile (d.h. erneuerbare) Energieträger geführt. Nach dieser Definition stiegen Erneuerbare Energieträger 2024 minimal um rund 0,16 %. Der Anteil Erneuerbarer erhöhte sich aber aufgrund des Rückgangs der fossilen Energieträger (hier v.a. Öl) um 1,1 Prozentpunkte von 74 % 2023 auf 75 % 2024.

Abb. 2: Österreichs THG-Emissionen im Gebäudesektor, in Mio t CO_2eq (1990–2024)



Im Jahr 2024 erlebte Österreich wieder einen ungewöhnlich milden Winter. Der Heizbedarf dürfte also bedingt durch wärmere Temperaturen in Wintermonaten gesunken sein. Dieser Bedarf kann auf Heizgradtage (HGT) bezogen dargestellt werden, welche wie folgt definiert sind. Heizgradtage sind die Summe der täglich ermittelten Differenzen zwischen der Raumlufttemperatur (20°C) und der Tagesmitteltemperatur der Außenluft an jenen Tagen, an denen die Tagesmitteltemperatur der Außenluft 12,0°C unterschreitet. Die Heizgradtage gingen 2024 im Vergleich zum ebenfalls bereits sehr milden Vorjahr nochmal zurück, und zwar um 3,4 %.

Ein Grund für einen höheren Energieverbrauch kann auf Preisssenkungen zurückzuführen sein. Dazu können wir den Energiepreisindex (Basis 1986) der Statistik Austria analysieren. Diesem Index zufolge sind Energiepreise im Bereich Raumwärme und Warmwasser 2024 relativ zu 2023 um ca. 7 % gesunken. Gerade Preise können aber auch einen verzögerten Effekt haben. Energiepreise sind 2023 relativ zu 2022 um rund 16 % und 2022 relativ zu 2021 um knapp 37 % gestiegen, was sich auch auf ein verändertes Heizverhalten oder den Umstieg auf Erneuerbare Energieträger in Folgejahren auswirken kann.

Tabelle 1: Veränderungen 2022-2024

Jahr	THG-Gebäude	HGT	Preis Energieträger Raumwärme	Öl	Gas	Kohle	Ernb	Anteil Ernb
2022	-16,6	-10,2	36,8	-14,1	-18,1	-15,5	-6,4	2,4
2023	-13,8	-1,0	16,5	-22,9	-5,3	-11,5	-1,5	2,3
2024	-6,6	-3,4	-6,9	-15,0	-0,5	0,5	0,2	1,1

Notiz: Gerundet auf eine Kommastelle. Veränderungen im Vergleich zum Vorjahr. Veränderungen von Anteil Ernb sind in Prozentpunkten gegeben. Alle anderen Veränderungen in Prozent.

2.1. Heizgradtage und Anteil Erneuerbarer

Wir fokussieren auf Differenzen (jährliche Änderungen) in den Variablen. Die Änderung der Treibhausgas-Emissionen wird durch Änderungen in den Heizgradtagen und im Anteil Erneuerbarer erklärt. Die Ergebnisse unserer Regression ergeben eine Elastizität der Emissionen auf Heizgradtage von 0,62. Dies können wir wie folgt interpretieren: Eine Reduktion der Heizgradtage um ein Prozent führt zu einer Reduktion der THG um 0,62 %. Für den Anteil Erneuerbarer schätzen wir folgende Beziehung: Steigt der Anteil Erneuerbarer um einen Prozentpunkt, reduzieren sich die THG um 3,96 %.

Die THG im Gebäudesektor gingen 2024 im Vergleich zum Vorjahr um 6,6 % zurück. Heizgradtage reduzierten sich um 3,4 % und der Anteil Erneuerbarer stieg um 1,1 Prozentpunkte. Laut unseren Schätzungen ist der Rückgang der Heizgradtage somit für einen Rückgang der THG von 2,1 %-Punkten verantwortlich (entspricht rund einem Drittel des Emissionsrückgangs). Der Anstieg des Anteils Erneuerbarer ist für einen Rückgang der THG-Emissionen von rund 4,3 %-Punkten verantwortlich. Unsere Ergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Erklärung Rückgang THG Gebäudebereich 2024 gegenüber Vorjahr

Rückgang THG Gebäudebereich	6,6 %
Dafür erklärend:	
Heizgradtage	2,1 %-Punkte
Anteil Erneuerbarer	4,3 %-Punkte

Notiz: THG des Gebäudesektors sanken 2024 relativ zu 2023 um 6,6 %. Heizgradtage sind für einen Rückgang von 2,1 %-Punkte und der Anstieg des Anteils Erneuerbarer für 4,3 %-Punkte verantwortlich.

Im Jahr 2023 sind die Heizgradtage um rund 1 % im Vergleich zum Vorjahr gesunken. THG-Emissionen im Gebäudesektor sind 2023 um 13,8 % gesunken, wobei Heizgradtage unseren Schätzungen nach für rund 0,6 %-Punkte dieses Rückgangs verantwortlich waren. Der Anteil Erneuerbarer erklärt zusätzlich rund 9%-Punkte. Darüber hinaus war somit zudem das Bündel an weiteren Maßnahmen für die Emissionsreduktion grundlegend, von Energiesparinitiativen in der Energiekrise bis zu Gebäude-Sanierungsprogrammen.

Im Folgenden betrachten wir, in welchem Ausmaß Preiseffekte für den Anteilsanstieg bei den Erneuerbaren verantwortlich sind.

2.2. Preiseffekt

Für die Beziehung zw. dem Anteil Erneuerbarer und Energiepreisen schätzen wir ein sogenanntes Fehlerkorrekturmodell. Dieses Modell unterstellt eine langfristige Gleichgewichtsbeziehung zwischen den beiden Variablen. Liegt eine solche Beziehung tatsächlich vor, erlaubt uns dies eine statistisch effizientere Schätzung. Zudem können wir dynamische Beziehungen abbilden. Statistische Tests in Tabelle B3 in Appendix B lassen eine solche Langzeitbeziehung vermuten. Abbildung 3 zeigt den geschätzten dynamischen Effekt einer Änderung der Energiepreise über die Zeit basierend auf einem Fehlerkorrekturmodell. Auf der Abszisse sind Zeitperioden in Jahren abgetragen und auf der Ordinate der geschätzte Effekt einer Preisänderung. Die durchgezogene schwarze Linie gibt die geschätzten Effekte an und statistische Unsicherheitsintervalle sind in grau um diese Linie abgetragen. Wann immer diese graue Fläche über der Null-Linie liegt, sind die geschätzten Effekte statistisch signifikant. Wir sehen, dass eine Preiserhöhung in derselben Periode, also zum Zeitpunkt 0, einen geringen und statistisch nicht signifikanten Effekt hat. Der Effekt eine Periode in der Zukunft hat einen deutlich stärkeren Effekt und ist statistisch hoch signifikant. Der Effekt reduziert sich in den weiteren Perioden und tendiert wieder gegen Null.

Wenn wir diese geschätzten Effekte interpretieren möchten, ist es sinnvoll folgendes Szenario zu betrachten. Energiepreise sind 2024 rel. zu 2023 um rund 7 % gesunken. Dies führt zu einer kontemporären Reduktion des Anteils Erneuerbarer um 0,34 Prozentpunkte. Dieser Effekt ist jedoch statistisch insignifikant. Energiepreise sind 2023 rel. zu 2022 um rund 16,5 % gestiegen. Berücksichtigen wir zusätzlich noch, dass diese Preissteigerung auch einen Effekt auf den Anteil Erneuerbarer 2024 hat, können wir für 2024 schon einen Anstieg von rund 0,8 Prozentpunkten erklären (72 % des Anstiegs im Jahr 2024 in Höhe von 1,1%). 2022 rel. zu 2021 stiegen die Energiepreise um rund 37 %. Würden wir auch diesen Effekt für 2024 berücksichtigen, würden wir anhand der Preissteigerungen seit 1. 1. 2022 einen Anstieg im Anteil Erneuerbarer um rund 2,7 Prozentpunkte erwarten die sich so nicht mehr in tatsächlich so hohem Anstieg des Anteils Erneuerbarer im Jahr 2024 materialisiert haben, wohl insbesondere weil die Energiepreise 2024 bereits wieder gesunken sind. Diese Effekte sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Ohne den 2022 eingeführten, und seither jährlich stufenweise ansteigenden nationalen CO_2-Preis wären die (fossilen) Energiepreise 2024 deutlich stärker gesunken. Für den Treibstoff und Heizöl-Preis für Haushalte etwa bewirkte allein die Steigerung des nationalen CO_2-Preises im Jahr 2024 (von 32,5 auf 45€ pro Tonne CO_2äqu), dass diese nur halb so stark fielen. Abgesehen davon waren 2024 auch weitere nationale Maßnahmen wirksam auf die Erhöhung des Anteils Erneuerbarer: umfangreiche Förderungen für Sanierung und Heizungsumstellung, sowie das nunmehrige Verbot der Errichtung fossiler Heizanlagen im Neubau.

Abb. 3: Dynamische Multiplikatoren Preisindex

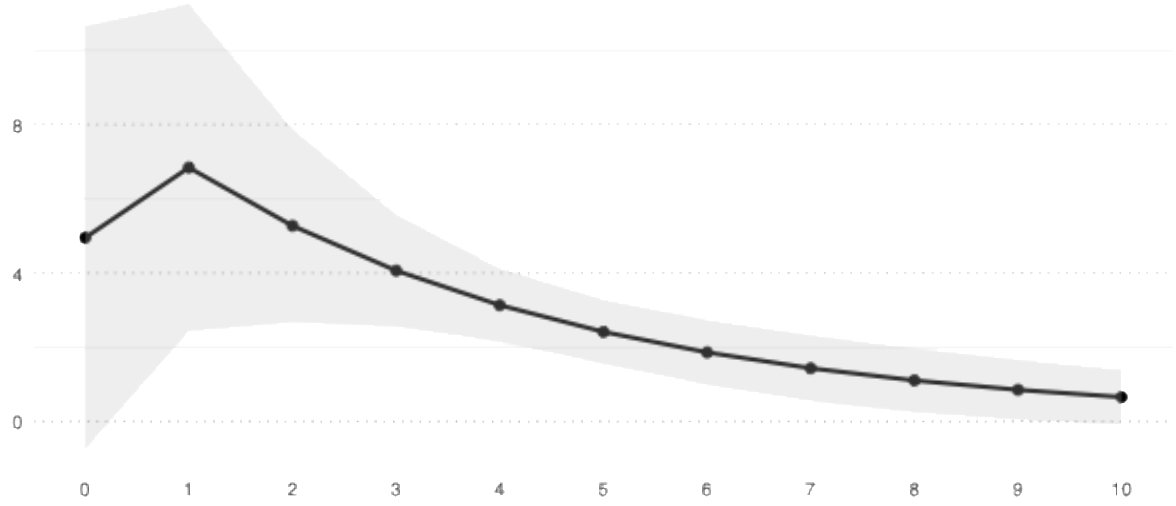


Tabelle 3: Erwarteter Anstieg Erneuerbarer im Jahr 2024 durch Anstieg Energiepreisindex

seit 1.1.2023	0,8 %-Punkte
seit 1.1.2022	2,7 %-Punkte

Notiz: Der Anteil Erneuerbarer ist 2024 im Vorjahresvergleich um 1,1 Prozentpunkte gestiegen. Der erwartete Anstieg durch die Steigerung im Energiepreisindex seit Anfang 2023 beträgt 0,8 Prozentpunkte. Bei Berücksichtigung von Preisanstiegen seit Anfang 2022 wären es 2,7 Prozentpunkte, die sich so nicht mehr in tatsächlich so hohem Anstieg des Anteils Erneuerbarer im Jahr 2024 materialisiert haben, wohl insbesondere weil die Energiepreise 2024 bereits wieder gesunken sind.

2.3. Hypothetische Emissionen in einem Jahr mit durchschnittlich kaltem Winter

2024 erlebte Österreich einen milden Winter im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt (2015–2024). Wir fragen uns nun, wie hoch die Emissionen im Jahr 2024 bei einem durchschnittlichen Winter gewesen wären. Dazu berechnen wir die mittleren Heizgradtage über die letzten 10 Jahre (2015–2024) und kommen auf einen Mittelwert von 3.747. Im Jahr 2024 gab es hingegen 3.481 Heizgradtage. Die Emissionen bei einem durchschnittlichen Winter wären 2024 also deutlich höher gewesen. Unter Verwendung der zuvor geschätzten Elastizität (0,62), errechnen wir ein Emissionsplus von rund 4,4 % (+ 0,26 Mio t CO_2eq). Das Jahr 2023 verzeichnet ebenso einen – wenn auch nicht ganz so – warmen Winter im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt mit 3.604 Heizgradtagen. Hier errechnen wir für einen durchschnittlich warmen Winter ein Emissionsplus von rund 2,4 % (+ 0,15 Mio t CO_2eq). Diese Berechnungen sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Hypothetische Emissionen mit durchschnittlich kaltem Winter

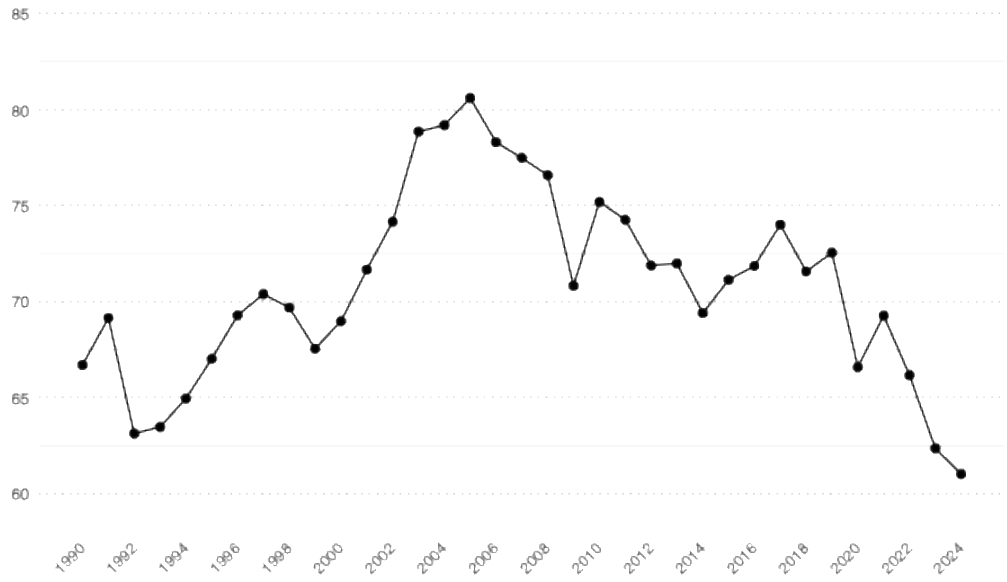
	HGT	Diff. zu 10J.-Mittel	Hypothetisches Emissionsplus (%)	Hypothetisches Emissionsplus (Mio t CO_2eq)
2024	3481	-266	4,4	0,26
2023	3604	-144	2,4	0,15
2022	3638	-149	2,4	0,18

Notiz: Mittlere Heizgradtage zw. 2015-2024 betragen 3747 (2014-2023: 3748, 2013-2022: 3787). „Diff. zu 10J.-Mittel" ist die Differenz der tatsächlichen HGT zu diesem Mittelwert. Das hypothetische Emissionsplus wird mit der geschätzten HGT-Elastizität von 0,62 berechnet.

3. Emissionen aus anderen Sektoren

Emissionen aus den Nicht-Gebäudesektoren beinhalten Energie, Industrie, Verkehr, Abfallwirtschaft, F-Gase und Landwirtschaft. Diese Emissionen beschränken sich nicht nur auf Emissionen, die dem Klimaschutzgesetz (KSG) unterliegen, sondern beinhalten auch Emissionen, die dem Europäischen Emissionshandel unterliegen (European Emission Trading System, EU ETS), z.B. im Sektor Industrie. Die Entwicklung dieser Emissionen ist in Abbildung 4 dargestellt. Auch hier sehen wir einen deutlichen Rückgang in den letzten Jahren. 2024 sanken Emissionen um 1,3 Mio t CO_2eq (-2,15 %), zuvor 2023 um 3,8 Mio t CO_2eq (-5,8 %).

Abb. 4: Österreichs THG-Emissionen in Nicht-Gebäudesektoren, in Mio t CO_2eq (1990-2024)



Emissionen aus dem Nicht-Gebäudebereich stehen insbesondere auch in Zusammenhang mit dem Niveau wirtschaftlicher Aktivität (Wirtschaftswachstum). Dieses ist nach dem ersten Jahr der COVID-Pandemie (2020) gestiegen. 2021 und 2022 erhöhte sich das BIP (preisbereinigt, in nationaler Währung) um 4,8 % bzw. 5,3 % im Vergleich zum jeweils vorherigen Jahr, 2023 sank es um 0,95 % und 2024 um 1,17 %.

Wir berücksichtigen auch bei Nicht-Gebäudesektoren den Anteil Erneuerbarer. Da die Emissionen hier aber teilweise auch dem Emissionshandel unterliegen, beziehen wir im Anteil Erneuerbarer dementsprechend daher auch die Bereiche Fernwärme und elektrische Energie ein. Fernwärme wurde 2024 rund 43 % aus Erneuerbaren Energiequellen bezogen, bei elektrischer Energie waren es sogar rund 88 %. Der Anteil Erneuerbarer stieg 2024 um 1,85 Prozentpunkte. Die Entwicklung dieser Variablen ist in Tabelle 5 gelistet.

Tabelle 5: Veränderungen 2022-2024

Jahr	THG	BIP	ÖI	Gas	Kohle	Fern	Elek	Ernb	Anteil Ernb
2022	-4,5	5,3	-0,8	-7,6	-2,5	-0,3	-3,3	-0,6	0,2
2023	-5,8	-0,9	0,6	-15,0	-5,3	-4,0	-6,1	11,2	3,6
2024	-2,1	-1,2	-1,0	-1,3	-0,4	-0,8	2,2	6,6	1,8

Notiz: Gerundet auf eine Kommastelle. Veränderungen im Vergleich zum Vorjahr. Veränderungen von Anteil Ernb sind in Prozentpunkten gegeben. Alle anderen Veränderungen in Prozent. BIP sind preisbereinigt in heimischen Währungseinheiten. Anteil erneuerbarer Energien bei Fernwärme und Elektrische Energie wurden über alle Sektoren gerechnet.

3.1. BIP und Anteil Erneuerbarer

Wir erklären THG-Emissionen im Nicht-Gebäudebereich durch die Entwicklung des BIP (preisbereinigt, in heimischen Währungseinheiten), dem Anteil Erneuerbarer Energieträger (inkl. Fernwärme und elektrischer Energie) sowie durch die Entwicklung der Heizgradtage (für die Emissionsmenge aus Fernwärme und wärmesystembedingter Stromnachfrage). THG-Emissionen sanken 2024 rel. zum Vorjahr um 2,1 %. Das BIP sank um 1,17 %. Relativ zum durchschnittlichen Wirtschaftswachstum der letzten 10 Jahre (+ 1,16 %) lag das BIP-Wachstum damit um 2,31 %-Punkte unter dem langjährigen Durchschnitt. Wir schätzen eine Elastizität des BIP bez. THG von 0,52. Folglich erklärt das gegenüber dem langjährigen Durchschnitt geringere BIP-Wachstum eine Emissionsreduktion in Höhe von rund 1,3 % bzw. 0,79 Mio t CO_2eq. Der Anteil Erneuerbarer stieg 2024 um 1,85 %-Punkte. Hier schätzen wir eine Elastizität von -1,5 %, womit der gestiegene Anteil erneuerbarer Energieträger die Emissionen um geschätzte 2,87 %-Punkte senkt. Heizgradtage sanken 2024 um 3,4 %, was mit der geschätzten Elastizität von 0,23 eine Reduktion von 0,80 %-Punkten ergibt. Insgesamt sind die THG-Emissionen nicht so stark gesunken, es hatten somit weitere Faktoren einen netto-Emissionserhöhenden Einfluss. Nach den Energiekrisenjahren 2022 und 2023 könnten dies insbesondere Nachholeffekte gewesen sein. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 zusammengefasst, die Regressionsergebnisse sind in Tabelle B1 in Appendix B gesammelt.

Tabelle 6: Erklärung Rückgang THG Nicht-Gebäudebereich 2024 gegenüber Vorjahr

Rückgang THG-Emissionen Nicht-Gebäude Sektoren	2,1 %
Dafür erklärend:	
Abweichung BIP-Veränderung vom langjährigen Ø	1,30 %-Punkte
Anteil Erneuerbarer	2,87 %-Punkte
Heizgradtage	0,80 %-Punkte

Notiz: THG des Nicht-Gebäudesektors sanken 2024 relativ zu 2023 um 2,1 %. Auf die Abweichung der Veränderung des BIP vom langjährigen Durchschnitt kann ein Rückgang von 1,30 %-Punkten und auf den Anstieg des Anteils Erneuerbarer einer von 2,87 %-Punkten zurückgeführt werden. Auf einen milderen Winter sind 0,80 %-Punkte zurückzuführen. Weitere hier nicht ausgewiesene Faktoren wirkten somit in Summe relativ zum Vorjahr leicht emissionserhöhend, dies dürfte insbesondere Ausgleichseffekte nach den Emissionsreduktionen in den Energiekrisenjahren 2022 und 2023 betreffen (Abkehr von der extremen Energienachfragereduktion und Rückkehr in Richtung Vorkrisenniveau).

2023 sind Emissionen um 5,8 % gesunken. Das BIP sank um 0,9 % und lag damit in seiner Wachstumsrate um 2,3 %-Punkte unter dem langjährigen Durchschnitt (10-Jahres-Mittel 2014–2023, 1,35 %), was nach unseren Schätzungen zu einer Reduktion der Emissionen um 1,29 %-Punkte führt. Der Anteil Erneuerbarer stieg um 3,6 %-Punkte und führt zu einer geschätzten Emissionsreduktion von 5,1 %-Punkten. Der Winter 2023 war leicht milder als jener 2022, Heizgradtage lagen um rund 1 % niedriger und können einen Emissionsrückgang 2023 von 0,22 %-Punkten erklären.

Die durch den Überfall Russlands auf die Ukraine bedingten massiven Änderungen im Energiemarkt und in der Energiepolitik erklärten praktisch den gesamten Emissionsrückgang im Jahr 2022. Zwei Faktoren seien daraus herausgegriffen: Stark erhöhte fossile Energiepreise führen in der kurzen Frist primär zu einer Reduktion der Nachfrage nach Energie insgesamt, erst mittelfristig umsetzbar ist die Umstellung auf Erneuerbare (siehe Abschnitt 3.2), wodurch der Anteil an Erneuerbaren sich im Jahr 2022 selbst noch nicht in der erst ab dem zweiten und Folgejahren sichtbaren Höhe der Preiswirkung verändert. Im Jahr selbst hingegen geht die Energienachfrage insgesamt zurück. Eine Verschiebung der Preisstruktur in Treibstoffen relativ zu den Nachbarländern führte dazu, dass der langjährig in Österreich relativ günstigere Treibstoff (Diesel) diesen Vorteil verlor, somit die primär schweren Nutzfahrzeuge nicht mehr im gleichen Ausmaß bei der Durchfahrt durch Österreich gezielt volltankten, die Menge des Kraftstoffexports im Tank sank im Jahr 2022 um 17% und erklärt den größten Teil des Rückgangs der Verkehrsemissionen um 4,5% (oder 1,5% Punkte der gesamten Emissionen des Nicht-Gebäude Bereichs).

3.2. Preiseffekt

Wie in der Analyse des Gebäudebereichs, widmen wir uns dem Effekt der Energiepreise auf den Anteil Erneuerbarer. Kointegrationstests in Tabelle B3 lassen auf eine kointegrierende Beziehung der beiden Variablen schließen. Wir schätzen daher wieder ein Fehlerkorrekturmodell, um den dynamischen Effekt der Preise abzubilden. Die Regressionsergebnisse sind in Tabelle B1 in Appendix B gelistet. Abbildung 5 zeigt diesen dynamischen Effekt. Wir sehen keinen statistisch signifikanten kontemporären Effekt. Preisänderungen in Periode 0 haben aber einen stat. signifikanten Effekt in der Folgeperiode. In weiteren Perioden verringert sich dieser Effekt stätig und tendiert mit zunehmender Zeitverzögerung gegen Null.

Der Anteil Erneuerbarer stieg 2024 rel. zum Vorjahr um 1,85 %-Punkte bzw. um 6,6 % an. Energiepreise sanken 2024 um 7 %, 2023 stiegen sie um 16,5 % und 2022 um 37 % rel. zum jeweiligen vorangegangenen Jahr. Berücksichtigen wir Preisänderungen seit 2023, schätzen wir anhand dieser Preisänderungen einen Anstieg der Erneuerbaren 2024 von rund 0,97 %-Punkten. Unter Berücksichtigung jener seit 2022 würden wir eine Steigerung von rund 2,1 %-Punkten erwarten. Diese Schätzungen sind in Tabelle 7 zusammengefasst. In diesen Preisänderungen ist bei den fossilen Energieträgern auch zunehmend der 2022 eingeführte und stufenweise ansteigende nationale CO_2-Preis wirksam.

Abb. 5: Dynamische Multiplikatoren Preisindex

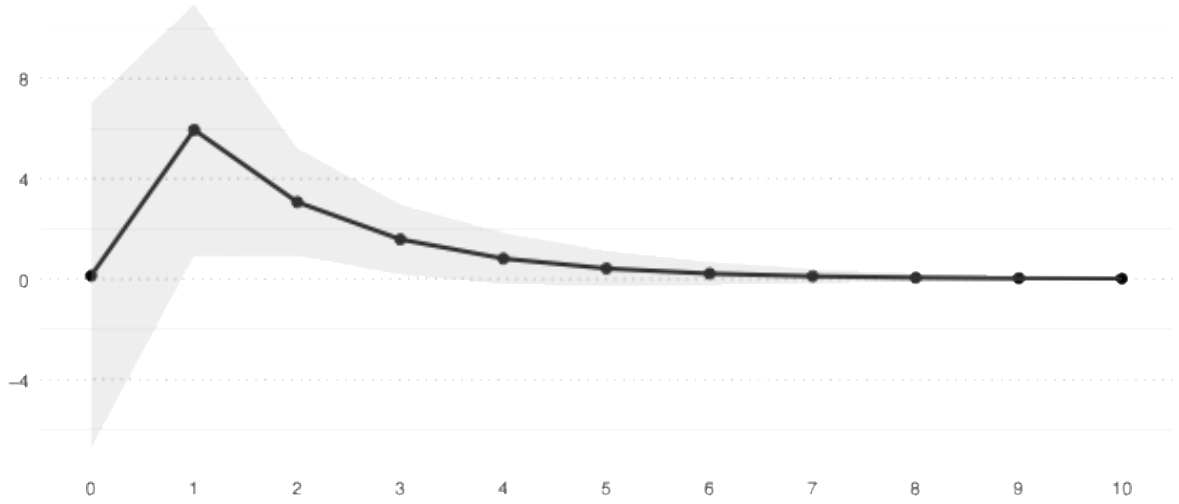


Tabelle 7: Erwarteter Anstieg Erneuerbarer im Jahr 2024 durch Anstieg Energiepreisindex

seit 1.1.2023	0,97 %-Punkte
seit 1.1.2022	2,10 %-Punkte

Notiz: Der Anteil Erneuerbarer ist 2024 im Vorjahresvergleich um 1,85 Prozentpunkte gestiegen (+ 6,6 %). Der erwartete Anstieg durch die Steigerung im Energiepreisindex seit Anfang 2023 beträgt 0,97 Prozentpunkte. Bei Berücksichtigung von Preisanstiegen seit Anfang 2022 sind es 2,1 Prozentpunkte.

3.3. Hypothetische Emissionen mit durchschnittlichem BIP-Wachstum und durchschnittlich kaltem Winter

In diesem Abschnitt berechnen wir hypothetische Emissionen zunächst für ein Jahr mit durchschnittlichem BIP-Wachstum. Das durchschnittliche Wirtschaftswachstum der letzten 10 Jahre beträgt + 1,16 % (2015-2024). 2024 lag das BIP-Wachstum bei -1,17 % im Vergleich zum Vorjahr. Somit lag das BIP-Wachstums 2024 rel. zum Vorjahr um 2,34 %-Punkte unter dem langjährigen Durchschnitt. Folglich würden die hypothetischen Emissionen im Jahr 2024 mit durchschnittlichem BIP-Wachstum höher ausfallen. Unter Einbezug der zuvor geschätzten Elastizität des BIP-Wachstums (0,52) berechnen wir ein hypothetisches Emissionsplus von rund 1,20 % bzw. ein Plus von 0,73 Mio t CO_2eq für 2024. Im Jahr 2023 betrug das BIP-Wachstum -0,95 % und das durchschnittliche BIP-Wachstum der letzten 10 Jahre (2014-2023) + 1,35 %. Somit lag es ebenso unter dem langjährigen Durchschnitt. In diesem Jahr würden die hypothetischen Emissionen demnach ähnlich höher ausfallen. Wir berechnen mehr Emissionen in Höhe von rund 1,19 % bzw. von 0,74 Mio t CO_2eq. Diese Berechnungen sind in Tabelle 8.1 zusammengefasst.

Tabelle 8.1: Hypothetische Emissionen mit durchschn. BIP-Wachstum

	BIP-Wachstum	Diff. zu Mittel (%-Punkte)	Hyopthetisches Emissionsplus (%)	Hypothetisches Emissionsplus (Mio t CO_2eq)
2024	-1,17	-2,33	1,30	0,79
2023	-0,95	-2,30	1,29	0,80
2022	5,3	3,9	-2,16	-1,43

Notiz: Das mittlere BIP-Wachstum zw. 2015-2024 beträgt 1,16 % (2014-2023: 1,35 %, 2013-2022: 1,4 %). Diff. zu Mittel ist die Differenz des tatsächlichen Wirtschaftswachstums zu diesem Mittelwert. Emissionsplus wird mit der geschätzten Elastizität von 0,52 berechnet.

Nun fragen uns, wie hoch die Emissionen in den restlichen Sektoren im Jahr 2024 bei einem durchschnittlichen Winter gewesen wären. 2024 gab es einen relativ zum langjährigen Durchschnitt deutlich wärmeren Winter. Die Emissionen bei einem durchschnittlichen Winter wären 2024 also höher gewesen. Unter Verwendung der zuvor geschätzten Elastizität (0,23), errechnen wir ein Emissionsplus von rund 1,7 % (+ 1 Mio t CO_2eq). Das Jahr 2023 verzeichnet ebenso einen warmen Winter im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt mit 3.604 Heizgradtagen. Hier errechnen wir für einen durchschnittlich warmen Winter ein Emissionsplus von rund 0,90 % (+ 0,56 Mio t CO_2eq). Diese Berechnungen sind in Tabelle 8.2 zusammengefasst.

Tabelle 8.2: Hypothetische Emissionen mit durchschnittlich kaltem Winter (durschnittlichen Heizgradtagen, HGT)

	HGT	Diff. zu 10J.-Mittel	Hypothetisches Emissionsplus (%)	Hypothetisches Emissionsplus (Mio t CO_2eq)
2024	3481	-266	1,7	1,01
2023	3604	-144	0,90	0,56
2022	3638	-149	0,92	0,61

Notiz: Mittlere Heizgradtage zw. 2015-2024 betragen 3747 (2014-2023: 3748, 2013-2022: 3787). „Diff. zu 10J.-Mittel" ist die Differenz der tatsächlichen HGT zu diesem Mittelwert. Das hypothetische Emissionsplus wird mit der geschätzten HGT-Elastizität von 0,23 berechnet.

Appendix A

Das OLS-Modell wird in ersten Differenzen spezifiziert und geschätzt:

$$\Delta \log(THG)_t = \beta_0 + \beta_1 \Delta \log(X)_t + \beta_2 \Delta Antei_Ernb_t + u_t,$$

wobei X für HGT oder BIP stehen kann. Das Autoregressive-Distributed-Lag Modell erster Ordnung, i.e. ARDL(1,1), wird in Levels geschätzt und enthält jeweils eine Verzögerung der abhängigen sowie unabhängigen Variablen:

$$Antei_Ernb_t = \alpha + \theta_1 Antei_Ernb_{t-1} + \delta_0 \log(Pidx)_t + \delta_1 \log(Pidx)_{t-1} + u_t.$$

Falls die abhängige und unabhängige Variable eine langfristige Gleichgewichtsbeziehung aufweisen, kann das ARDL-Modell als Fehlerkorrekturmodell (Error-Correction Modell, ECM) geschrieben werden. Dies ermöglicht eine effizientere Schätzung sowie eine Unterscheidung zwischen dem Anpassungsmechanismus gegenüber Abweichungen vom Gleichgewicht sowie kurzfristigen Effekten. Das ECM-Modell ist eine reine Umformung des ARDL-Modells und kann geschrieben werden als (z.B. Greene 2018):

$$\Delta Antei_Ernb_t = \alpha + \delta_0 \Delta \log(Pidx)_t + (\theta_1 - 1)(Antei_Ernb_{t-1} - \theta \log(Pidx)_{t-1}) + u_t,$$

wobei:

$$\theta = -\frac{(\delta_0 + \delta_1)}{(\theta_1 - 1)}.$$

Der Term $(\theta_1 - 1)$ ist der Fehlerkorrekturterm und gibt die Anpassungsgeschwindigkeit zum Gleichgewicht nach Abweichungen von diesem an.

Das ARDL-Modell kann zudem als infinites Distributed-Lag Modell geschrieben werden:

$$Antei_Ernb_t = \alpha + \sum_{s=0}^{\infty} \beta_s \log(Pidx)_{t-s} + u_t.$$

Diese Form ermöglicht es uns, den dynamischen Effekt von Veränderungen im Preisindex über mehrere Perioden hinweg zu verfolgen. Diese Multiplikatoren sind dann gegeben durch:

$$\beta_s = \frac{\partial Anteil_Ernb_t}{\partial \log(Pidx)_{t-s}}.$$

Die Multiplikatoren basieren auf einem Level-Log Modell. Eine Veränderung des Preisindex um 1 % führt zu einer Veränderung des Anteils Erneuerbarer um $\beta_s/100$ Einheiten. 2024 reduzierte sich der Preisindex um 7 %. Der kontemporäre Effekt auf ist dann $\frac{\beta_0}{100} * (-7) = -0{,}34$. Demnach schätzen wir für den Gebäudebereich eine Reduktion des Anteils Erneuerbarer um 0,34 Prozentpunkte. Der Anstieg des Anteils Erneuerbarer beträgt 2024 2,3 Prozentpunkte. Addieren wir den Effekt der Preisänderungen aus dem Vorjahr hinzu, erhalten wir: $[\frac{\beta_0}{100} * (-7)] + [\frac{\beta_1}{100} * (-16{,}5)] = 0{,}79$. Vergangene Veränderungen des Preisindex können äquivalent berechnet werden und führen zu den Ergebnissen in Tabelle 3.

Appendix B

Tabelle B1 zeigen die Ergebnisse der Regressionen basierend auf dem OLS sowie dem ARDL-Modell und dessen Äquivalent als Fehlerkorrektur-Form (ECM).

Tabelle B1: Regressionsergebnisse für OLS und ARDL / ECM

	Gebäude			Rest. Sektoren		
Variable	OLS	ARDL	ECM	OLS	ARDL	ECM
Δlog(HGT)	0.622***			0.234***		
	(0.088)			(0.063)		
Δlog(BIP)				0.559**		
				(0.161)		
ΔAnteil Ernb	−0.040***			−0.015***		
	(0.005)			(0.003)		
Lag(Anteil Ernb)		0.771***			0.516***	
		(0.072)			(0.134)	
ECT			−0.229***			−0.484***
			(0.072)			(0.134)
log(Pidx)		4.950*			0.135	
		(2.911)			(3.518)	
Lag(log(Pidx))		3.026			5.880	
		(4.197)			(4.201)	
Δlog(Pidx)			4.950*			0.135
			(2.911)			(3.518)
Intercept	0.009	−25.039***	−25.039***	−0.007	−20.068***	−20.068***
	(0.005)	(7.302)	(7.302)	(0.005)	(5.531)	(5.531)
T	33	33	33	34	33	33
R^2	0.907	0.988	0.425	0.662	0.867	0.371
Adjusted R^2	0.901	0.986	0.365	0.627	0.853	0.306

Notiz: $^*p < 0.1$, $^{**}p < 0.05$, $^{***}p < 0.01$. OLS ist in ersten Differenzen geschätzt; ARDL ist ein Autoregressives-Distributed Lag Modell mit einem Lag. ECM ist die Fehlerkorrektur-Form des ARDL Modells, wobei ECT der Fehlerkorrektur-Term ist.

Tabelle B2 zeigt Tests zur Modellgüte. Es werden Ergebnisse des Breusch-Godrey LM-Tests (Breusch 1978 und Godfrey 1978) auf Autokorrelation sowie eines Ljung-Box ARCH-Tests (Ljung und Box 1978) auf Heteroskedastizität für jeweils bis zu 1, 2, 3 und 4 Lags gezeigt. Die Nullhypothesen sind keine Autokorrelation sowie keine Heteroskedastizität.

Tabelle B2: Tests für Autokorrelation und Heteroskedastizität

Sektor		*OLS*		*ARDL*	
		B-G LM	*ARCH*	*B-G LM*	*ARCH*
Gebäude	Lag 1	0,6873	0,4662	0,1914	0,8800
	Lag 2	0,2959	0,7643	0,4267	0,7710
	Lag 3	0,4310	0,9065	0,6137	0,6377
	Lag 4	0,5999	0,9579	0,7778	0,4460
Rest. Sektoren	Lag 1	0,3359	0,5528	0,4360	0,7471
	Lag 2	0,6314	0,8059	0,5830	0,3088
	Lag 3	0,8156	0,8773	0,5592	0,4268
	Lag 4	0,8296	0,9008	0,5874	0,2051

Notiz: Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test (B-G LM) mit H0: keine serielle Korrelation. ARCH Test für Heteroskedastizität (ARCH) mit H0: keine Heteroskedastizität. Die p-Werte sind für jeden Test angegeben.

Tabelle B3 zeigt Tests auf Kointegration. Dabei wird der Bounds F-Test und Bounds T-Test (Pesaran et al. 2001) gezeigt, der direkt auf dem ARDL-Modell basiert.

Tabelle B3: Kointegrationstests

Sektor	Bounds T-Test	Bounds F-Test
Gebäude	$p = 0,066$	$p = 0,056$
Rest. Sektoren	$p = 0,028$	$p = 0,019$

Notiz: Der Bounds T-Test und der Bounds F-Test basieren auf dem ARDL-Modell. Der Bounds F-Test und T-Test lehnen keine Kointegration im Gebäudesekor auf dem 10% Niveau und in den restlichen Sektoren auf dem 5% Niveau ab. Die Nullhypothese für den Bounds T-Test und den Bounds F-Test lautet, dass keine Kointegration vorliegt.

Tabelle B4 zeigt die dynamischen Multiplikatoren für bis zu 10 Perioden und die dazugehörigen Standardfehler, auf denen Abbildung 2 basiert.

Tabelle B4: Dynamische Multiplikatoren (s-Perioden Verzögerungen)

Periode	**Gebäude**		**Rest. Sektoren**	
	Delay-Multip.	Std.-Fehler	Delay-Multip.	Std.-Fehler
0	4.95	2.91	0.14	3.52
1	6.84	2.25	5.95	2.57
2	5.27	1.33	3.07	1.10
3	4.06	0.77	1.58	0.72
4	3.13	0.51	0.82	0.53
5	2.41	0.44	0.42	0.37
6	1.86	0.45	0.22	0.24
7	1.43	0.45	0.11	0.15
8	1.11	0.44	0.06	0.09
9	0.85	0.41	0.03	0.06
10	0.66	0.38	0.02	0.03

Notiz: Dynamische Multiplikatoren für s-Perioden Verzögerungen und dazugehörige Standardfehler für zwei Sektoren.

Literatur

Breusch, T.S. (1978): Testing for Autocorrelation in Dynamic Linear Models, *Australian Economic Papers*, 17, 334-355.

Godfrey, L.G. (1978): Testing Against General Autoregressive and Moving Average Error Models when the Regressors Include Lagged Dependent Variables', *Econometrica*, 46, 1293-1301.

Greene, W. H. (2018). *Econometric analysis* (8th ed.). Pearson.

Ljung, G. M., & Box, G. E. P. (1978). On a Measure of Lack of Fit in Time Series Models. *Biometrika*, 65(2), 297-303.

Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289-326