

STUDIE IM AUFTRAG DES FISKALRATES



Kosteneffektivität von Klimaschutzmaßnahmen in Österreich

Johannes Holler
Susanne Maidorn

Wien, Februar 2025

Die Kosteneffektivität von Klimaschutzmaßnahmen in Österreich

Studie im Auftrag des Fiskalrates¹

Klimapolitische Instrumente können anhand unterschiedlicher Zieldimensionen bewertet werden. Neben klimapolitischer Effektivität, Treibhausgas-Vermeidungskosten und Verteilungseffekten sind Überlegungen zur politischen Umsetzbarkeit von besonderer Bedeutung. Ein optimaler klimapolitischer Maßnahmenmix nutzt daher die unterschiedlichen Vor- und Nachteile aus preisabhängigen und regelbasierten Maßnahmen, öffentlichen Investitionen und Informationskampagnen. Die aktuelle klimapolitische Strategie Österreichs laut Nationalem Energie- und Klimaplan scheint dem Ziel der Kosteneffektivität klimapolitischer Maßnahmen eine eher geringe Bedeutung beizumessen. Kostenineffektive Maßnahmen wie das Klimaticket werden umgesetzt, kosteneffektive regulatorische Maßnahmen wie die Reduktion des Tempolimits auf Österreichs Straßen bleiben hingegen unberücksichtigt. Durch die stärkere Nutzung von regulatorischen Maßnahmen und Informationskampagnen könnte die Rückführung der CO₂-Emissionen mit deutlich geringeren gesamtwirtschaftlichen und budgetären Kosten umgesetzt werden.

Durch das „Fit for 55“-Paket der Europäischen Kommission und das nationale Vorhaben der Klimaneutralität 2040 ist Österreich mit einem ambitionierten notwendigen Pfad zur Reduktion seiner Treibhausgasemissionen konfrontiert. Im Fall der internationalen Vorgaben sind die eingegangenen Verpflichtungen auch mit potenziell notwendigen Emissionsrechtzukaufen bzw. finanziellen Strafzahlungen verbunden. Die geplanten Maßnahmen zur Rückführung der Emissionen sind mit hohen gesamtwirtschaftlichen und auch budgetären Kosten verbunden. Die Beauftragung der vorliegenden Studie durch den Fiskalrat besteht im direkten Zusammenhang mit dem daraus erwachsenden budgetären Risiko für die Republik Österreich. Daher fokussiert die Studie auf die Bewertung von Kosten und Nutzen der von Österreich geplanten Emissionsreduktionsmaßnahmen im Rahmen des Nationalen Energie- und Klimaplan (NEKP). Dabei wird aufgrund fehlender Datengrundlagen nur ein ausgewählter Teil der NEKP-Maßnahmen behandelt. Ein spezieller Fokus liegt dabei auf budgetär besonders relevanten Maßnahmen.

Österreich emittierte laut Prognose des Umweltbundesamts (UBA, 2024c) im Jahr 2024 Treibhausgase in der Höhe von 65,6 Mio Tonnen (t) CO₂-Äquivalenten. Davon wurden 23,3 Mio t CO₂-Äquivalente von Anlagen emittiert, die dem EU-Emissionshandel (EU Emissions Trading System – EU-ETS) zugerechnet werden. Die restlichen 42,3 Mio t CO₂-Äquivalente wurden hingegen von Sektoren emittiert, die der Lastenverteilungsverordnung der EU (Effort-Sharing Regulation – ESR) und damit einem vorgeschriebenen Zielpfad unterliegen. Der ESR-Zielpfad legt dabei einen Rückgang der Treibhausgasemissionen bis 2030 um 48% gegenüber dem Emissionswert von 2005 fest. Nach 2022 und 2023 wird Österreich diesen Zielpfad laut UBA-Prognose auch 2024 wieder unterschreiten. Trotz der Unterschreitungen der letzten Jahre bedarf das Erreichen des Emissionsreduktionsziels bis 2030 großer zusätzlicher Anstrengungen.

Die internationalen und auch europäischen Klimaschutzziele basieren auf der Festlegung eines weltweit zulässigen durchschnittlichen Temperaturanstiegs um deutlich unter 2 Grad Celsius. Mithilfe von Klimamodellen wird berechnet, welche maximale Menge an Treibhausgasemissionen weltweit noch ausgestoßen werden darf, um dieses Ziel einzuhalten. Dieses globale Treibhausgas-Budget kann anschließend in Emissionsziele für einzelne Länder oder Regionen übersetzt werden. Im Rahmen dieses Ansatzes finden Kosten-Nutzen-Analysen, die durch eine Gegenüberstellung von Schadenskosten und Treibhausgas-Vermeidungskosten ökonomisch optimale Treibhausgas-Ziele ableiten können, keine Anwendung. Das

¹ Die von den AutorInnen Johannes Holler und Susanne Maidorn in der Studie zum Ausdruck gebrachte Meinung gibt nicht notwendigerweise die Meinung des Fiskalrates wieder.

international vereinbarte Temperaturziel leitet sich ausschließlich aus der Vermeidung klimatischer Kippunkte ab, deren Erreichen zu sehr hohen Schadenskosten führen würde. Die Kosten der Emissionsvermeidung spielen in der Ableitung der Emissionsziele keine Rolle.

Um die Einhaltung der verpflichtenden Treibhausgas-Ziele bis 2030 sicherzustellen, müssen EU-Mitgliedstaaten geplante klimapolitische Maßnahmen im Rahmen von nationalen Energie- und Klimaplänen (NEKPs) beschreiben und nach Brüssel melden. Der österreichische Nationale Energie- und Klimaplan (NEKP) ² behandelt eine Vielzahl von Maßnahmen und umweltpolitischen Instrumenten zur Senkung des CO₂-Ausstoßes Österreichs. Kosten-Nutzen-Analysen von Klimaschutzmaßnahmen finden auch hier keine Anwendung. Für Einzelmaßnahmen des NEKP werden weder geplante Einsparungen von Treibhausgasen noch die damit verbundenen budgetären Kosten dargestellt. Die Auswahl der geplanten Maßnahmen und der verwendeten klimapolitischen Instrumente erfolgt ohne Berücksichtigung ihrer budgetären Kosten. Während dieser Ansatz im Fall der globalen Zielvorgaben aufgrund der komplexen klimatischen Zusammenhänge sowie bestehender Unsicherheiten und Schwierigkeiten in der Berechnung von globalen Schadens- und Vermeidungskosten sinnvoll scheint, sollten Kosten-Nutzen-Analysen von Klimaschutzmaßnahmen in der nationalen Implementierung international vereinbarter Ziele eine größere Rolle spielen.

Der vorliegende Bericht des Büros des Fiskalrats (FISK) fokussiert daher auf die Dimension der Kosten von Klimaschutzmaßnahmen, insbesondere auf die Kosteneffektivität von Maßnahmen des österreichischen NEKP, die anhand von Grenzvermeidungskosten betrachtet wird.

Das Konzept der Grenzvermeidungskosten beschreibt den Zusammenhang zwischen der Effektivität von Klimaschutzmaßnahmen, Emissionen zu reduzieren und den damit verbundenen Kosten. Dabei beschreiben die Grenzvermeidungskosten einer Maßnahme die Kosten, die anfallen, um eine weitere Tonne Treibhausgas zu reduzieren. Das Konzept kann dazu verwendet werden, um die Kosteneffektivität von Maßnahmen zur Emissionsminderung zu ermitteln. ³ Mit der Einführung von Emissionshandelssystemen und der Verabschiedung des Kyoto-Protokolls im Jahr 1997 rückte das Konzept verstärkt in den Fokus der Forschung. Anhand von sogenannten Grenzvermeidungskostenkurven wird die Reihung der verfügbaren Klimaschutzmaßnahmen bezüglich ihrer Kosteneffizienz grafisch dargestellt. Die Studien von McKinsey (2007, 2009, 2013) und Goldman Sachs (2021, 2022) zählen dabei zu den bekanntesten Publikationen von Grenzvermeidungskostenkurven. Diese Studien beschreiben die Grenzvermeidungskosten meist global oder sind aufgrund des schnell voranschreitenden technologischen Wandels bereits veraltet. Die Betrachtung der Grenzvermeidungskosten von Einzelländern bedarf einer Berücksichtigung von nationalen Rahmenbedingungen und dem vorherrschenden Technologieniveau. Die Resultate der internationalen Studien besitzen daher für die Beurteilung der Kosteneffektivität von Einzelmaßnahmen in Österreich nur eine untergeordnete Bedeutung. Wächter (2013) ist die einzige bisher für Österreich publizierte Grenzvermeidungskostenstudie. Die abgeleiteten Resultate beziehen sich hier auf die Grenzvermeidungskosten unterschiedlicher Technologieoptionen. Aufgrund der seit Veröffentlichung der Studie erfolgten technologischen Entwicklungen, dem gesetzten Fokus auf Technologien im Gegensatz zu Politikmaßnahmen und den teilweise seit Veröffentlichung der Studie bereits implementierten Maßnahmen, kann die Studie in der Ausgestaltung aktueller Klimaschutzmaßnahmen nur mehr bedingt Anwendung finden.

Die angesprochene starke Abhängigkeit von verfügbaren Technologien stellt einen der Hauptkritikpunkte an der Verwendung zeitpunktbezogener statischer Grenzvermeidungskostenkurven dar. Weitere Kritik an der Verwendung von Grenzvermeidungskostenkurven besteht aufgrund vernachlässigter Wechselwirkungen zwischen Einzelmaßnahmen, potenzieller Implementierungsbarrieren, der Berücksichtigung von

² Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2024).

³ Eine detaillierte Darstellung und Diskussion der unterschiedlichen Ansätze und Methoden im Bereich der Grenzvermeidungskosten kann Kesicki (2011) entnommen werden.

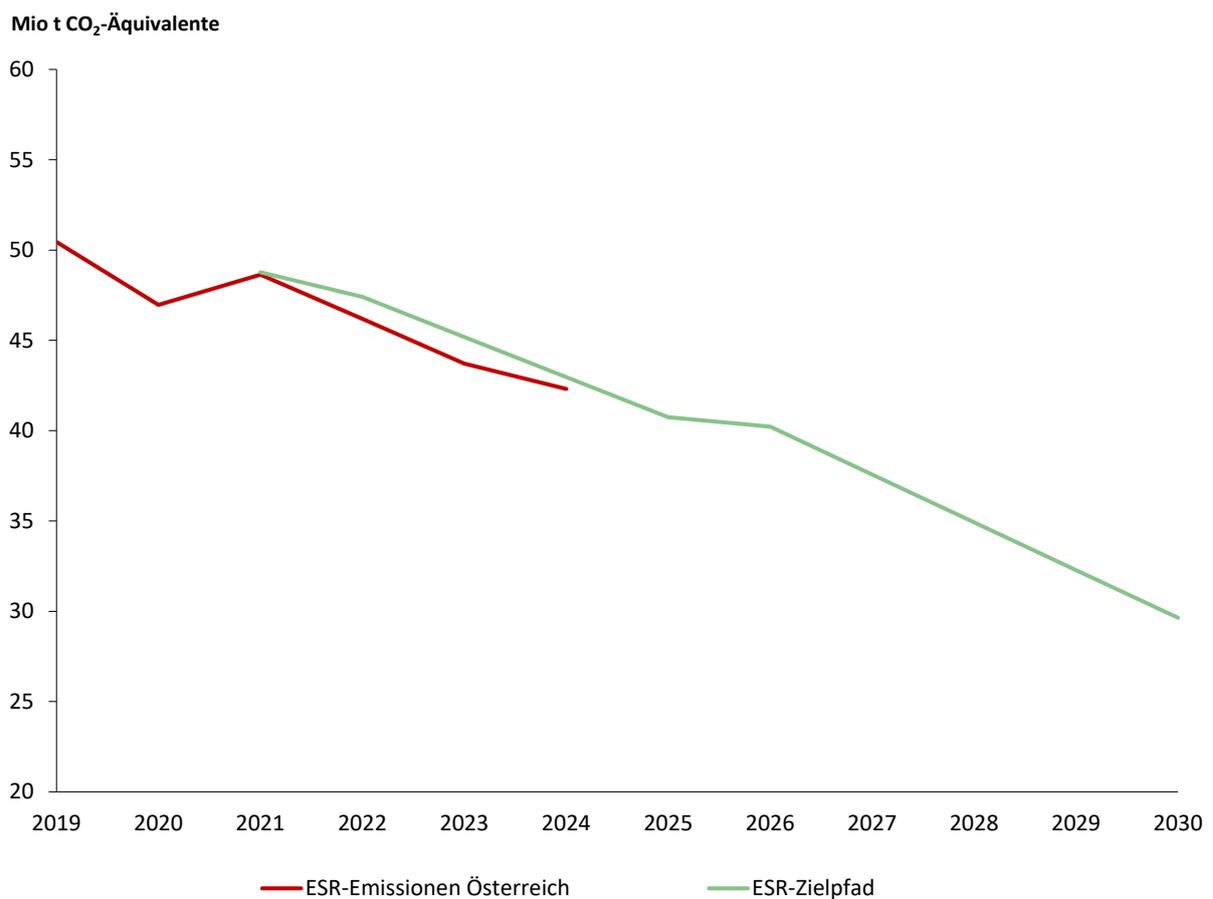
regulatorischen Unsicherheiten, der Vernachlässigung von intertemporaler Dynamik (Unterscheidung von Kurz- bzw. Langfristeffekten und Timing) und einer fehlenden Berücksichtigung von positiven Externalitäten (z. B. Gesundheitseffekte) und ökonomischen Feedbacks.⁴ Trotz dieser Kritikpunkte besitzt das im folgenden verwendete Konzept die Fähigkeit, gegenwartsbezogene Hilfestellungen in der Bewertung vorhandener Klimaschutzoptionen zu leisten.

Kapitel 1 diskutiert die grundsätzlich zur Verfügung stehenden klimapolitischen Instrumente.

Kapitel 2 widmet sich den Einzelmaßnahmen des NEKP in den Sektoren Gebäude und Verkehr und betrachtet deren Kosteneffektivität durch die Berechnung der Grenzvermeidungskosten von Einzelmaßnahmen. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der Verbindung zwischen der Menge an vermiedenem CO₂ und den damit verbundenen Vermeidungskosten.

Kapitel 3 fasst die Resultate zusammen und versucht, die österreichische Klimapolitik im Rahmen der potenziell zur Verfügung stehenden Instrumente bezüglich ihrer Kosteneffektivität einzuordnen.

Abbildung 1: Österreichische Treibhausgasemissionen vs. ESR-Zielpfad bis 2030



Quelle: Umweltbundesamt (2024c).

⁴ Kesicki (2011), Weltbank (2023), Cowlin et al. (2012), Schilb et al. (2018).

1. DISKUSSION KLIMAPOLITISCHER INSTRUMENTE

Die Umsetzung klimapolitischer Instrumente hat neben der primär intendierten, emissionsreduzierenden Wirkung weitreichende ökonomische, soziale, politökonomische und budgetäre Effekte. Die Zusammensetzung eines optimalen klimapolitischen Maßnahmenbündels kann daher anhand unterschiedlicher Zieldimensionen (IPCC (2007), IMF (2012), Caselli et al. (2021), D`Arcangelo et. al (2022)) erfolgen. Die zur Verfügung stehenden klimapolitischen Instrumente können anhand dieser Ziele kategorisiert und beurteilt werden.

1.1. Zieldimensionen der Klimapolitik

Die **klimapolitische Effektivität** der Zielerreichung: Hier geht es darum, wie effektiv Maßnahmen Treibhausgasemissionen reduzieren können. Verfügbare Technologien, technologischer Fortschritt und der Zeitpunkt bzw. die Geschwindigkeit der einsetzenden Wirkung sind hier von großer Bedeutung. Kurzfristige Ziele können z. B. nur durch kurzfristig wirkende Maßnahmen umgesetzt werden. Investitionen in Forschung und Entwicklung wirken mit großer Verzögerung und sind kurzfristig ineffektiv, während sie langfristig eine hohe Wirkung entfalten können.

Treibhausgas-Vermeidungskosten messen die mit einem Treibhausgas-Emissionsziel verbundenen Kosten der Emissionsreduktion. Dabei kann zwischen gesamtwirtschaftlichen, privaten und staatlichen Kosten unterschieden werden. Bei der Berechnung von Vermeidungskosten spielen verfügbare Technologien, gegenwärtiges Technologie-/Bestandsniveau, die Lebensdauer klimapolitischer Maßnahmen und die Zeitpräferenzrate (bzw. Diskontrate) eine wichtige Rolle.

Die Maßzahl der **Kosteneffektivität** stellt eine Verbindung zwischen Effektivität und Vermeidungskosten her. Dabei werden die Kosten klimapolitischer Maßnahmen ihrem Einsparungspotenzial gegenübergestellt. Eine Maßnahme mit hoher Kosteneffektivität besitzt die Eigenschaft, die gewünschte Reduktion von Treibhausgasen mit geringen Kosten zu erzielen. Der Grad der Kosteneffektivität wird in Euro pro vermiedener Tonne (t) CO₂-Äquivalente gemessen. Das Kriterium der Kosteneffektivität reagiert auf alle Dimensionen der Vermeidungskosten und klimapolitische Effektivität, z. B. unterschiedliche Zeithorizonte. Auch administrative Kosten der Umsetzung von Maßnahmen sollten Berücksichtigung finden.

Abseits der direkt entstehenden Vermeidungskosten können klimapolitische Maßnahmen über Änderungen des BIP-Wachstums oder Verhaltensänderungen **budgetäre Effekte** auf die Staatseinnahmen und Staatsausgaben auslösen. Eine geringere Nutzung privater Kraftfahrzeuge bzw. weniger zugelassene Fahrzeuge führen z. B. zu geringeren Einnahmen aus der Mineralölsteuer bzw. motorbezogenen Versicherungssteuer. Positive Externalitäten des Klimaschutzes – wie eine Verbesserung der Luftqualität und damit der Gesundheit – besitzen ebenfalls budgetäre Effekte, die in der vorliegenden Studie aber nicht berücksichtigt werden.

Die Wirkung von Klimaschutzmaßnahmen und -instrumenten unterscheidet sich für unterschiedliche Bevölkerungsgruppen und Industriezweige. Diese **Verteilungseffekte** sollten in der Ausgestaltung eines ausgewogenen Maßnahmenbündels mitgedacht werden, um intra- bzw. intergenerativer Fairness, der Akzeptanz in der Bevölkerung und Effekten auf die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen Rechnung zu tragen.

Die öffentliche Akzeptanz von Maßnahmen, die stark von gesellschaftlichen Normen beeinflusst wird, entscheidet oftmals über die **politische Umsetzbarkeit**, Annahme und nachhaltig andauernde Umsetzung der Maßnahmen und spielt damit auch im Rahmen der Kosteneffektivität eine wichtige Rolle (e. g. Anable, 2021).

1.2. Klimapolitische Instrumente

Die Senkung von Treibhausgasemissionen bzw. die Anpassung an den Klimawandel kann durch eine Vielzahl von Instrumenten umgesetzt werden. Grundsätzlich kann zwischen anreizorientierten und regulatorischen Instrumenten unterschieden werden.

Anreizorientierte Instrumente zielen darauf ab, über Preissignale Anreize für Emissionsemittenten zur Reduktion von Treibhausgasemissionen zu setzen. In der Realität finden sich diese Instrumente vor allem in der Form von CO₂-Steuern und handelbaren Emissionszertifikaten. Die genaue Ausgestaltung dieser beiden Instrumente kann sich aber stark unterscheiden. Der grundsätzliche Unterschied der Ansätze bezieht sich darauf, ob die eingesparte Menge an Treibhausgasemissionen festgesetzt und darauf aufbauend der CO₂-Preis frei bestimmt wird oder umgekehrt. Bei Einführung einer CO₂-Steuer ist die Menge an eingesparten Emissionen unklar, während der CO₂-Preis festgesetzt wird. Im Fall von handelbaren Emissionszertifikaten ist die Menge der erlaubten und damit eingesparten Emissionen bekannt, der CO₂-Zertifikatspreis leitet sich aber aus den CO₂-Vermeidungskosten der Emissionshandels-Teilnehmenden ab. Im Fall der handelbaren Zertifikate geht die Literatur wegen des vom Markt generierten CO₂-Preissignals von einer kosteneffizienteren Umsetzung der Treibhausgasreduktion im Vergleich zur CO₂-Steuer aus.

- Im Fall von **handelbaren Emissionszertifikaten (Cap-and-Trade System)** wird eine maximale Höhe von Emissionen festgelegt („Cap“). Diese Emissionsrechte werden in Form von standardisierten, homogenen Zertifikaten an Emittenten ausgegeben. Die Zertifikate werden entweder bilateral oder an Handelsplätzen/Börsen gehandelt. Durch den Handel mit den beschränkt zur Verfügung stehenden Zertifikaten entsteht ein Marktpreis für Zertifikate. Im Fall des EU-ETS I werden Zertifikate, die sich auf den CO₂-Austoß der teilnehmenden Unternehmen beziehen, („down-stream“) gehandelt. Alternativ können Emissionszertifikate in Bezug auf in der Produktion eingesetzte Energieträger und deren Emissionsintensität („up-stream“) verwendet werden (EU ETS II). Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass der Handel mit Up-stream-Zertifikaten bezüglich Kosteneffizienz deutliche Vorteile aufweist, da die Messung von Emissionen und der Zertifikathandel einen geringeren administrativen Aufwand als im Fall von Down-stream-Zertifikaten bedeuten. Die Einführung, der Betrieb und die Überwachung eines Emissionshandelssystems verursacht hohe administrative Kosten. Zusätzlich erscheint die politische Umsetzung, im Speziellen bei sehr hohen CO₂-Preisen, schwierig.
- **CO₂-Steuern:** Hier wird die erlaubte CO₂-Emissionsmenge nicht beschränkt, sondern durch die Erhöhung der Emissionskosten in Form einer Steuer ein Anreiz zur Emissionsreduktion gesetzt. Die stärkste Treibhausgasreduktion und damit die effektivste Art der CO₂-Besteuerung berücksichtigt die Emissionsintensität der Energieträger/Treibstoffe. Das bedeutet, dass Energieträger wie Kohle äquivalent zu ihrer Emissionsintensität und damit höher besteuert werden als Energieträger mit relativ niedriger Emissionsintensität wie z. B. Erdgas. Die Literatur weist darauf hin, dass diese Steuern optimalerweise direkt auf das Angebot an Energieträgern („up-stream“) implementiert werden sollten, um die administrativen Kosten minimal zu halten. Bei der in Österreich implementierten CO₂-Steuer handelt es sich um eine Steuer auf Gas und Treibstoffe und damit zum Teil auf bereits verarbeitete Rohstoffe („mid-stream“) und deren Emissionsintensität.
- **Verbrauchssteuern** auf Treibstoffe, Elektrizität und Fahrzeuge wirken ähnlich wie klassische CO₂-Steuern. Sie können aber einen schwächeren Konnex zwischen Emissionsintensität und Steuer besitzen und damit ineffektiver wirken (bei gleichem Steueraufkommen wird eine geringere Menge an CO₂ vermieden). Der geschwächte Konnex kann durch spezielle Regelungen in der Besteuerung bzw. durch Ausnahmeregelungen im Steuersystem erfolgen (z. B. Dieselp privileg). In Österreich findet dieses Instrument in Form von Mineralölsteuer, Energieabgaben, motorbezogener Versicherungssteuer und Normverbrauchsabgabe Anwendung.

- **Feebates**, eine Begriffskombination aus „Gebühr“ („Fee“) und „Rabatte“ („Rebates“), sind eine Kombination aus Gebühren für die Nichteinhaltung und Rabatten für die Übererfüllung von klimapolitischen Standards. So können z. B. Grenzwerte für den CO₂-Ausstoß von Autos pro gefahrenem Kilometer festgelegt werden, deren Überschreitung Gebühren verursacht, während deren Unterschreitung einen Rabatt bzw. eine Prämienzahlung auslöst. In ihrer grundlegenden Konzeption sind Feebates fiskalisch neutral konstruiert. Das bedeutet, dass die Summe der eingenommenen Gebühren der Summe der entgangenen Einnahmen aufgrund der Rabatte entspricht. Bei der Energieerzeugung beziehen sich Feebates auf Gebühren und Rabatte auf Stromerzeugungsgeneratoren je nach CO₂-Ausstoß pro produzierter kWh.
- Über **Förderungen** können die Preise für Alternativenenergien, klimaschonende Produktionsprozesse und die Entwicklung und Verbreitung neuer Technologien gesenkt und unterstützt werden. Da im Rahmen von Förderungen nur beschränkt zwischen unterschiedlichen Emittenten unterschieden werden kann, besitzt dieses Instrument im Vergleich zu direkt mit der Emissionsintensität verbundenen Steuern oder Handelszertifikaten eine geringere Kosteneffizienz.
- **Informationskampagnen** können dabei helfen, klimaschonende Verhaltensänderungen von Individuen auszulösen, die durch eine fehlende oder imperfekte Interpretation oder Wahrnehmung von Preissignalen entsteht.

Regulatorische Instrumente: Über den Erlass von Vorschriften können Regierungen klimaschädliches Verhalten einschränken bzw. verhindern. Neben der Festlegung detaillierter Regeln oder Standards (im österreichischen Fall z. B. das Verbot von fossilen Brennstoffen in Anlagen zur Wärmebereitstellung in neu errichteten Gebäuden im Rahmen des Erneuerbare-Wärme-Gesetzes) müssen die Einhaltung der Vorschriften überwacht und Verstöße sanktioniert werden. Im Vergleich zu anreizorientierten Instrumenten besitzt die Vermeidung von Treibhausgasen über regulatorische Instrumente meist eine geringere Kosteneffektivität, da Vorschriften und Standards alle Emittenten in gleicher Weise treffen und unterschiedliche Vermeidungskosten keine Berücksichtigung finden. Gleichzeitig existieren aber auch regulatorische Maßnahmen, die eine hohe Kosteneffektivität aufweisen (z. B. Reduktion des Tempolimits auf Österreichs Straßen). Aufgrund des hohen Verwaltungsaufwands in der Durchsetzung und Sanktionierung verursachen Regeln und Gebote auch hohe administrative Kosten. Trotz der bestehenden Nachteile können regulatorische Instrumente im Fall von Informationsmangel oder schwachen Reaktionen von Unternehmen und Verbraucherinnen und Verbraucher auf Preissignale einen Bestandteil des optimalen klimapolitischen Mixes darstellen. Grundsätzlich können die Vorschriften darauf abzielen, Emissionen zu vermeiden (z. B. Mindeststandards bei der Energieeffizienz eines Neubaus) oder zu senken (z. B. Gebäudesanierung). In verschiedenen Bereichen ist eine Kombination aus marktorientiertem Instrument und Vorschriften denkbar und nützlich (z. B. Mindestpreis für Emissionszertifikate). Regulatorische Instrumente können in einer Vielzahl von unterschiedlichen Maßnahmen ausgestaltet werden:

- **Technologieanforderungen** und **Emissionsgrenzwerte** verpflichten zur Einhaltung technischer Standards oder Verwendung klimafreundlicher Technologien oder legen eine maximal zulässige Menge an z. B. Treibhausgasemissionen fest. Diese Grenzwerte könne auch in Form von Energieeffizienzstandards für Autos, Energieerzeugung, Gebäude und Haushaltsgeräte formuliert werden.
- **Verbote, Beschränkungen** und **Gebote:** Hierzu zählen Verbote von energieineffizienten Technologien (z. B. Glühbirnen), Beschränkungen für den Einsatz von Produktionsfaktoren (z. B. von stickstoffhaltigen Düngemitteln) und Gebote wie die Mindestbeimengungspflicht für alternative Treibstoffe oder eine Geschwindigkeitsbeschränkung auf Autobahnen.
- Über **Quotenregelungen** kann die Verwendung eines bestimmten Anteils an klimaschonenden Technologien vorgeschrieben werden (z. B. Erneuerbare-Energien-Richtlinie (Renewable Energy Directive – RED III) der EU).

- **Kennzeichnungspflicht:** Über die Formulierung und verpflichtende Anführung von Energieeffizienzkennzeichen von Produkten können klimaschonende Änderungen des Konsumverhaltens ausgelöst werden.
- **Prozess- und Verfahrensvorgaben** wie Umweltverträglichkeitsprüfungen oder die Emissionsinventur legen fest, wie der Ablauf von Bauvorhaben oder die Qualität des Monitorings von Treibhausgasen verpflichtend ausgestaltet werden muss.

Neben marktbasieren und regulatorischen Instrumenten können Regierungen im Rahmen von **öffentlichen Investitionen** klimapolitische Maßnahmen setzen. Die Besonderheit dieser Maßnahmen besteht darin, dass sie direkt von der Regierung umgesetzt werden können. Preissignale und Vermeidungskosten spielen in der Entscheidung über öffentliche Investitionen meist eine untergeordnete Rolle. Dies liegt auch daran, dass alternative wirtschaftspolitische Ziele, wie z. B. Infrastrukturbereitstellung, klimapolitische Ziele ergänzen oder zum Teil mit ihnen konkurrieren und in der Entscheidung über öffentliche Investitionen mitberücksichtigt werden.

Klimapolitische Instrumente können auch direkt auf **Verhaltensänderungen** abzielen. Dazu zählen beispielsweise **Informationskampagnen** zur Erhöhung des Anteils an Wegen, die zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurückgelegt werden. Diese Kampagnen fokussieren vor allem auf die langfristige Treibhausgasvermeidung. Ihre Kosteneffektivität ist schwer abzuschätzen und kann stark variieren.

1.3. Zielerfüllung klimapolitischer Instrumente

Die zur Verfügung stehenden klimapolitischen Instrumente weisen je nach gewählter Zieldimension Vor- und Nachteile auf. Eine optimale Klimapolitik nutzt diese Tatsache und besteht aus einem Maßnahmenbündel, das alle existierenden Zieldimensionen berücksichtigt. Dabei sollten neben anreizorientierten und regulatorischen Instrumenten auch Maßnahmen zur Abmilderung unerwünschter Verteilungseffekte für Haushalte und Unternehmen Berücksichtigung finden (D'Arcangelo et al., 2022).

Die in Tabelle 1 dargestellten Bewertungen wurden der Literatur entnommen und vom FISK-Büro zusammengefügt und ergänzt. Je nach genauer Ausgestaltung des angeführten Instruments kann es hier zu abweichenden Einschätzungen kommen. Wenn auch die angeführte Bewertung einzelner Instrumente dementsprechend vorsichtig interpretiert werden sollte, können grundsätzliche Resultate abgeleitet werden:

- Handelbare Zertifikate und CO₂-Steuern besitzen die höchste Kosteneffektivität.
- Die größte Budgetbelastung entsteht durch öffentliche Investitionen und Förderungen.
- Alle klimapolitischen Instrumente lösen Verteilungseffekte aus. Im Fall von Instrumenten mit positiven Budgeteffekten können diese Effekte durch gezielte Transfers budgetneutral kompensiert werden.
- Viele der behandelten klimapolitischen Instrumente sind politisch schwer umsetzbar. Es kann davon ausgegangen werden, dass mit öffentlichen Investitionen und Förderungen die größte öffentliche Bereitschaft zur Umsetzung verbunden ist.

Tabelle 1: Klimapolitische Instrumente und deren Kosteneffektivität, Budgeteffekte und Umsetzbarkeit

	Klimapolitische Instrumente	Kosteneffektivität	Budgeteffekte	Umsetzbarkeit
Anreizorientierte Instrumente	Handelbare Emissionszertifikate	hoch	positiv	moderat bis niedrig
	CO ₂ -Steuer	hoch	positiv	niedrig
	Verbrauchssteuern	moderat	positiv	moderat
	Feebates	moderat bis hoch	neutral	moderat bis hoch
	Förderungen	moderat	negativ	hoch
	Informationskampagnen	moderat bis hoch	leicht negativ	hoch
Regulatorische Instrumente	Verbote, Gebote, Beschränkungen	moderat bis hoch	leicht negativ	niedrig
	Technologieanforderungen	niedrig	leicht negativ	moderat bis hoch
	Quotenregelungen	niedrig	leicht negativ	moderat
	Kennzeichnungspflicht	niedrig	leicht negativ	hoch
	Prozess- und Verfahrensvorgaben	niedrig	leicht negativ	moderat
	Öffentliche Investitionen	niedrig	negativ	hoch

Quelle: D'Arcangelo et al. (2022), Caselli et al. (2021), IMF (2012), IPCC (2007) und eigene

2. AKTUELLE KLIMAPOLITIK IN ÖSTERREICH – NEKP 2024

Österreich unterliegt einer Reihe von internationalen Verpflichtungen zur Treibhausgasreduktion. Diese basieren hauptsächlich auf internationalen Abkommen, woran Österreich als Vertragspartei beteiligt ist. Die wichtigsten für Österreich daraus entstehenden Verpflichtungen entstehen aus der UN-Klimarahmenkonvention, dem Kyoto-Protokoll, dem Pariser Abkommen und aus Österreichs Rolle als Mitgliedstaat der Europäischen Union (EU). Die aktuellen Vorgaben für EU-Mitgliedstaaten stellen dabei die verbindlichsten Vorgaben dar. Neben der verpflichtenden Teilnahme am EU-Emissionshandelssystem (EU-ETS) besteht für Österreich die Verpflichtung, die Emissionen der nicht am EU-ETS teilnehmenden Effort-Sharing-Regulation (ESR)-Sektoren bis 2030 um 48% gegenüber 2005 zu reduzieren.

Um u. a. die Umsetzung der mittelfristigen ESR-Emissionsziele sicherzustellen, sind die EU-Mitgliedstaaten dazu verpflichtet, nationale Energie- und Klimapläne (NEKP) zu veröffentlichen. Die erste Publikation erfolgte im Jahr 2019. Derzeit ist die Aktualisierung aus dem Jahr 2024 gültig⁵. Der NEKP legt konkrete Maßnahmen und Strategien zur Erreichung der Zieldimensionen der Energieunion, darunter der Klimaschutzziele, fest. Im Fall von Österreich kommen mit preisbasierten und regulatorischen Maßnahmen, öffentlichen Investitionen und Initiativen zur Verhaltensänderung alle Kategorien der im Kapitel 1 beschriebenen klimapolitischen Instrumente zum Einsatz. Der Fokus von Kapitel 2 liegt auf der Betrachtung der Kosteneffektivität von budgetär besonders relevanten NEKP-Maßnahmen in den Bereichen Gebäude und Verkehr, die zu den größten Emissionssektoren außerhalb der EU-ETS-Sektoren gehören. Innerhalb der NEKP-Maßnahmen dieser Sektoren werden ausschließlich die budgetär besonders relevanten klimapolitischen Instrumente, Förderungen und öffentlichen Investitionen analysiert.

2.1. Gebäude

Die Treibhausgasemissionen des Gebäudesektors waren im Jahr 2023 für 9,2% der nationalen Treibhausgasemissionen verantwortlich⁶. Gegenüber 1990 stellte das eine Reduktion um 51% dar, die v. a. auf eine verbesserte Energieeffizienz der Gebäude (thermische Sanierung, energieeffizienter Neubau) und die Verdrängung der Kohle- und Ölheizungen aus dem Bestand durch Heizungen mit Erdgas, Biomasse, Fernwärme und Wärmepumpen zurückzuführen war. Die Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich gingen überwiegend auf den Energieeinsatz in Privathaushalten zurück, der zu 70% zur Erzeugung von Raumwärme und zu 14% zur Erzeugung von Warmwasser genutzt wurde (linke Grafik in Abbildung 2). Thermische Sanierung spielt daher eine entscheidende Rolle bei der Reduktion der Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor. Dazu zählt eine effiziente Wärmedämmung und der Austausch von alten Fenstern (durch neue Modelle mit isolierenden Eigenschaften). Der Wärmeverlust über die Gebäudehülle wird dadurch minimiert und der Bedarf an Heizenergie verringert sich. Neben der thermischen Sanierung stellt der Heizkesseltausch die zweite wichtige Komponente des Treibhausgas-Reduktionspotenzials im Gebäudesektor dar. Heizsysteme, in denen fossile Brennstoffe zum Einsatz kommen, tragen erheblich zur Freisetzung von Treibhausgasen bei.

Gebäudebestand und Heizwärmebedarf

In Österreich gab es im Jahr 2022 2,4 Millionen Gebäude, bei denen es sich überwiegend um Wohngebäude handelte (Tabelle 2). Alleine Gebäude mit ein bis zwei Wohnungen machten 77% aller Gebäude aus. Der Nicht-Wohngebäudebestand (12%) setzte sich aus Betriebsgebäuden, Bürogebäuden und Hotels zusammen und wird in Tabelle 2 als „andere Gebäude“ bezeichnet. Gebäude der Baujahre

⁵ Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2024).

⁶ Vgl. Umweltbundesamt (2025)

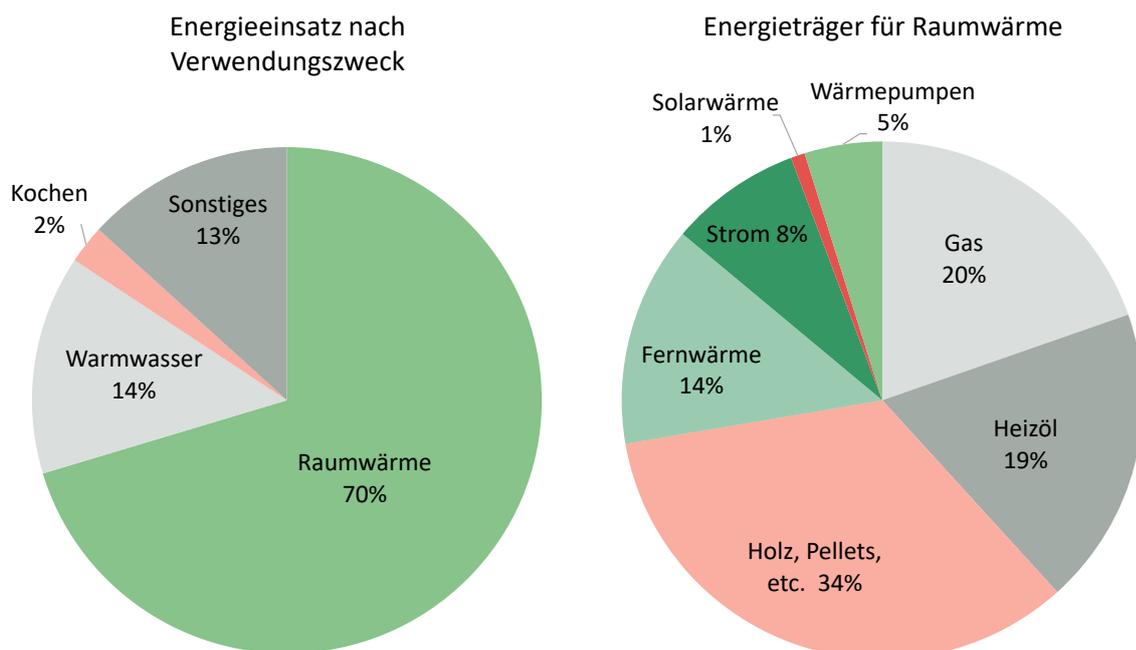
nach 2000, die in der Regel eine deutlich bessere Energieeffizienz aufweisen als ältere Gebäude, machten etwa ein Fünftel des Gebäudebestands aus.

Tabelle 2: Gebäudebestand in Österreich im Jahr 2022 nach Bauperiode und Gebäudeart

	vor 1944	1945 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 2000	ab 2001	gesamt	alle Gebäude
in Tausend							in %
Wohngebäude	412	214	539	507	444	2.116	88
1-2 Wohnungen	337	185	476	454	387	1.839	77
3-10 Wohnungen	54	21	40	41	39	195	8
11 und mehr Wohnungen	21	8	22	12	19	82	3
andere Gebäude	64	25	69	64	58	280	12
alle Gebäude	476	239	607	571	503	2.396	100

Quelle: Statistik Austria, Gebäude- und Wohnungszählung 2022.

Abbildung 2: Energieeinsatz der Haushalte in Österreich 2021/2022



Quelle: Statistik Austria, Energieeinsatz in Haushalten nach Verwendungszwecken.

Der Heizwärmebedarf (HWB) von Gebäuden⁷ unterscheidet sich für unterschiedliche Bauperioden deutlich. Gebäude aus Bauperioden vor 1950 weisen aufgrund der zur Errichtung verwendeten massiven Baustoffe einen niedrigeren Heizwärmebedarf⁸ auf als jene aus den Jahrzehnten nach 1950.

⁷ Der Heizwärmebedarf wird durch die zum Heizen benötigte Wärmemenge bestimmt, die klimatisch standardisierten Räumen zugeführt werden muss, um eine bestimmte Temperatur aufrecht zu erhalten (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2023).

⁸ Vgl. Umweltbundesamt (2023), S. 175.

Insbesondere Gebäude aus der Bauperiode 1950 bis 1970 haben im Durchschnitt einen deutlich höheren Nutzenergiebedarf⁹ pro Flächeneinheit (HWB in kWh/m²) als Gebäude aus späteren Bauperioden. Ab 1990 und insbesondere ab 2000 kam es durch neue Bauvorschriften zu einer deutlichen Energieeffizienzverbesserung bei Neubauten. In Tabelle 3 sind die Referenzwerte für den Heizwärmebedarf in Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr (kWh/m².a) von Gebäuden verschiedener Energieeffizienzklassen nach OIB-Richtlinie 6¹⁰ angeführt. Im Neubau gilt die Mindestanforderung von weniger als 75 kWh/m².a, während der Heizwärmebedarf in Wohngebäuden der Baujahre 1950 bis 1980 meist im Bereich von 125 bis 250 kWh/m².a liegt.

Tabelle 3: Heizwärmebedarf von Wohngebäuden

	HWB _{Ref.SK} ¹ kWh/m ² .a
Passivhaus	<10
Niedrigstenergiehaus	<25
Niedrigenergiehaus	<50
Standardgebäude Neubau nach OIB-Richtlinie 6	<75
Unsanierete Wohngebäude der Baujahre 1950 bis 1980	125-250

1) Heizwärmebedarf mit Referenzwerten für die Nutzung und Lüftung im Standardklima.
 Quellen: Österreichisches Institut für Bautechnik (2023); Böhm und Getzner (2017), S. 19.

Neben der Bauperiode wird der Heizwärmebedarf im thermisch nicht sanierten Gebäudebestand vor allem von der Gebäudegröße beeinflusst. Je größer das Gebäude, desto günstiger ist das Verhältnis zwischen Oberfläche und Volumen. Der Heizwärmebedarf liegt entsprechend bei Einfamilienhäusern im Durchschnitt über dem Wert von Mehrfamilienhäusern. Auch innerhalb der Kategorie der Mehrfamilienhäuser liegt der durchschnittliche Heizwärmebedarf von kleinen Mehrfamilienhäusern mit drei bis zehn Wohneinheiten über jenem von großen Gebäuden mit 11 und mehr Wohneinheiten. Aufgrund der Bauperiode und Gebäudegröße ergeben sich daher verstärkt bei thermisch nicht sanierten Gebäuden der Baujahre 1950 bis 1980 und bei Einfamilienhäusern durch Wärmedämmung der Gebäudehülle und Fenstertausch hohe Einsparungspotenziale im Energieverbrauch und bei den damit verbundenen Treibhausgasemissionen.

Abbildung 2 (rechte Grafik) stellt den Energieeinsatz für Raumwärme in österreichischen Haushalten nach Energieträgern dar. Daraus wird deutlich, dass in den Jahren 2021/2022 39% der verwendeten Raumwärmeenergie durch fossile Brennstoffe (Öl- und Gasheizungen) erzeugt wurden. Erneuerbare Energieträger, wie Wärmepumpen und Solarwärme, kamen auf einen Anteil von 6%. Stromheizungen (inkl. Strom für Wärmepumpen) und Fernwärme erzeugten zusammen 22% der Raumwärme. Auf Biomasse als Energieträger entfallen 34% der Raumwärmeenergie.

Der Energieeinsatz für die Bereitstellung der Raumwärme bestimmt die Höhe der Treibhausgasemissionen. Traditionelle Heizsysteme, die auf Öl oder Gas basieren, setzen ein hohes Maß an Treibhausgasen frei. Die Bereitstellung von Raumwärme mit Hilfe von z. B. Wärmepumpen oder Fernwärme erzeugt hingegen keine direkten Emissionen im Gebäudesektor. Die in ihrer Produktion

⁹ Der Nutzenergiebedarf beschreibt die Energiemenge, die tatsächlich für die Beheizung eines Gebäudes benötigt wird, um eine gewünschte Raumtemperatur aufrechtzuerhalten und wird durch Wärmeverluste (z. B. Lüftung) beeinflusst. Der Heizenergiebedarf bezieht zusätzlich die Verluste der Heizungsanlage (z. B. Verteilung der Wärme) mit ein. Je effizienter die Heizungsanlage, desto geringer ist der Unterschied zwischen Nutzenergie- und Heizenergiebedarf.

¹⁰ In der Richtlinie 6 Energieeinsparung und Wärmeschutz des Österreichischen Instituts für Bautechnik (OIB) erfolgt die Umsetzung einer Reihe von Richtlinien und Gesetzen der EU, die auf die Energieeffizienz im Gebäudebereich abzielen, in nationales Recht. Die OIB-Richtlinie setzt Mindeststandards für den Neubau und die Sanierung von Wohngebäuden in Form von Energiekennzahlen fest. Dadurch erfolgt eine Harmonisierung der Bauordnungen der Bundesländer. Siehe Böhm und Getzner (2017), S. 18, und Österreichisches Institut für Bautechnik (2023).

anfallenden Treibhausgasemissionen werden nicht dem Gebäudesektor, sondern dem Sektor Energie und Industrie zugeordnet. Die im vorliegenden Bericht gewählte Darstellung weicht von dieser getrennten Zuordnung der durch die Erzeugung von Raumwärme entstehenden direkten und indirekten Treibhausgase ab.

Der in Abbildung 2 dargestellte gegenwärtige Mix verwendeter Energieträger in der Raumwärmeerzeugung macht das Emissionseinsparungspotenzial einzelner Energieträger deutlich. Durch die Vermeidung fossiler Brennstoffe in der Bereitstellung von Raumwärme kann ein großer Teil der Treibhausgasemissionen für Raumwärme vermieden werden. Die Reduktion von Treibhausgasemissionen erfolgt bei einer Umstellung auf moderne Heiztechnologien aber nicht nur durch Energieträger, die zu geringeren Treibhausgasemissionen führen (z. B. erneuerbare Energien), sondern auch durch den höheren Wirkungsgrad der Heizsysteme.

Berechnung der Treibhausgas-Vermeidungskosten

Im österreichischen NEKP sind unterschiedliche Maßnahmen zur Reduktion der CO₂-Emissionen im Gebäudebereich enthalten. Diese Maßnahmen unterschieden sich bezüglich der damit erreichbaren Emissionseinsparungen und der damit verbundenen Kosten. Diese Dimensionen bestimmen die Vermeidungskosten der einzelnen Maßnahmen pro Tonne CO₂-Äquivalent, deren Berechnung in diesem Abschnitt dargestellt werden. Dazu werden die dem NEKP zugrundeliegenden Daten zu Treibhausgas-Vermeidungspotenzial und Investitionskosten verwendet und um zusätzliche Informationen aus anderen Quellen ergänzt.

Daten und Annahmen des Umweltbundesamts

Die in den hier durchgeführten Berechnungen verwendeten Daten wurden weitgehend vom Umweltbundesamt (UBA) zur Verfügung gestellt und bauen auf dem Szenario „With Additional Measures“ (WAM 2024) des NEKP auf. In diesem Szenario wird angenommen, dass derzeit existierende Förderprogramme wie z. B. „Raus aus Öl und Gas“ fortgeführt werden. Weiters entspricht das Ausmaß der angenommenen Bundesförderungen und Landeszuschüsse bis 2027 (2030) den aktuellen Budgetbeschlüssen gemäß gesetzlicher Grundlagen (UFG, FAG, HeUZG, EStG, KIG). Für die Jahre 2028 bis 2050 wird aufgrund fehlender Budgetplanung angenommen, dass diese Förderungen (z. B. Sanierungsinitiative, Umweltförderung im Inland) kontinuierlich auf das Niveau von 2022 zurückgehen. Auf Seiten der Länder leiten sich die bestehenden und geplanten Förderungen aus Annahmen der Bundesländer sowie den historischen Zusicherungen von Energie- und Wohnbauförderungen auf Basis der Vereinbarung gemäß Art. 15a B-VG¹¹ über Maßnahmen im Gebäudesektor¹² ab. Die Landesförderung von Heizungstausch ist an die Entwicklung der Bundesförderung gekoppelt.

Das Ausmaß der Investitionen in den Neubau und die Instandhaltung von Gebäuden wird u. a. durch den Gebäudebestand bis 2050 determiniert. Um diesen zu bestimmen, wird der Bedarf an Wohnraum durch Extrapolation des Flächenbedarfs pro Person und auf Grundlage der Bevölkerungsprognose von Statistik Austria (Hauptvariante) fortgeschrieben. Die Investitionen für Neubauten und Instandhaltungen ohne relevante Verbesserung der thermischen Gebäudequalität wurden im Szenario berechnet, finden jedoch keine Berücksichtigung im gegenständlichen FISK-Bericht, ebensowenig die in Neubauten anfallenden Mehremissionen¹³.

¹¹ Bundes-Verfassungsgesetz.

¹² Vereinbarung gemäß Art. 15a B-VG zwischen dem Bund und den Ländern über Maßnahmen im Gebäudesektor zum Zweck der Reduktion des Ausstoßes an Treibhausgasen (2009).

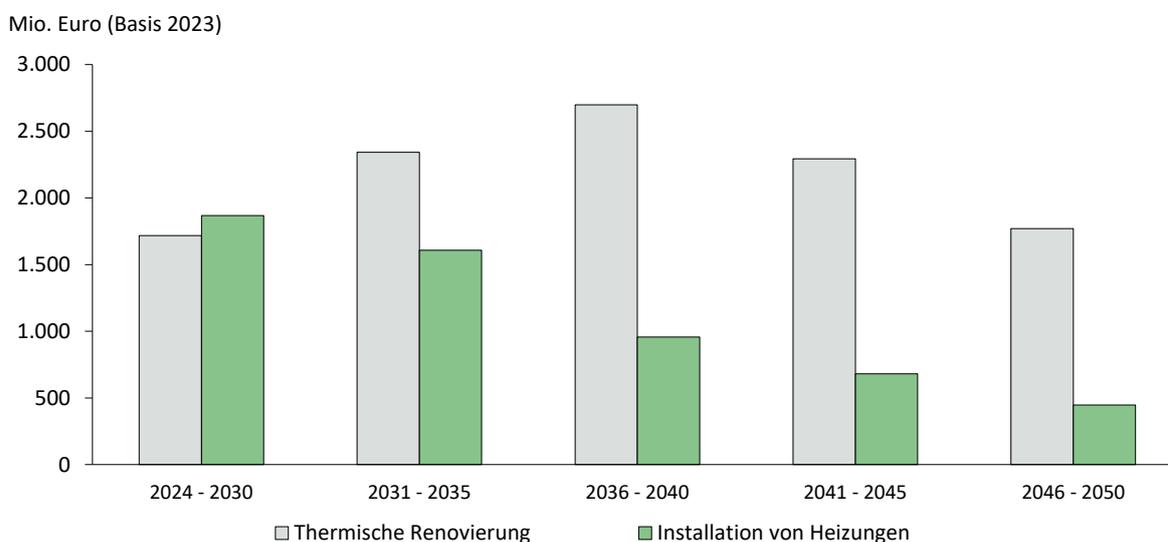
¹³ In Neubauten kommen keine flüssigen und fossilen Brennstoffe zum Einsatz (Ölkesselbauverbotsgesetz – ÖKEVG 2019).

Für die Renovierungsqualität bei einer thermischen Verbesserung der Gebäudequalität wird unterstellt, dass sie die energiebezogenen Mindestanforderungen der OIB-Richtlinie 6 überwiegend erfüllen. Außerdem wird angenommen, dass bis zum Jahr 2040 90% aller Ölheizungen in Österreich stillgelegt und Gasheizungen deutlich reduziert werden, wobei die verbleibenden Gasheizungen auf erneuerbares Gas umgestellt werden¹⁴. Hinsichtlich der Baukosten wurden die Kostensätze überarbeitet und das Preisniveau 2023 modelliert.

Treibhausgas-Vermeidungskosten

Datenreihen für Investitionen in thermische Renovierungen und den Austausch von Heizungsanlagen sowie die dadurch erzielte Reduktion der Treibhausgasemissionen stehen für den Zeitraum 2024 bis 2050 zur Verfügung. Abbildung 3 zeigt die Investitionen für die thermischen Renovierungen von Gebäudehüllen und die Installationen geeigneter Heizungen laut Szenario WAM 2024 des NEKP. Dabei handelt es sich um jenen Teil der Investitionen der Gebäudeeigentümer, inklusive Förderungen, der zu einer Anhebung des thermischen Standards der Gebäude führt und über die Instandsetzung der Gebäude zur Aufrechterhaltung des Wohnstandards (Instandsetzungsanteil) hinausgeht. Der Anteil der thermischen Renovierungen am Gebäudebestand,¹⁵ der sich aus der Modellrechnung ergibt, liegt für Dienstleistungsgebäude bis 2030 bei durchschnittlich 1,0% des Gebäudebestands; in den Folgejahren bis 2050 liegt er mit durchschnittlich 1,3% höher. Bei Wohngebäuden beträgt die durchschnittliche Sanierungsrate bis 2030 1,2% und steigt im Zeitraum von 2031 bis 2050 ebenfalls – auf durchschnittlich 1,5% – an.

Abbildung 3: Durchschnittliches Investitionsvolumen pro Jahr laut NEKP (Szenario WAM 2024) für thermische Renovierungen und Installation von Heizungen



Quelle: e-think energy research (2024): Zentrum für Energiewirtschaft und Umwelt (e-think). Szenario WAM 2024, Daten: Umweltbundesamt.

Beim Heizkesseltausch finden jene Investitionen Eingang in die Berechnungen, bei denen es zu einer Umstellung des Energieträgers kommt. Fälle von reinem Ersatztausch werden nicht aufgenommen.

¹⁴ Diese Annahmen entsprechen einer teilweisen Umsetzung des Erneuerbare-Wärme-Gesetzes (EWG) in der Fassung des Ministerialentwurfs vom Juni 2022. Das im Februar 2024 in Kraft getretene EWG greift weniger weit und untersagt lediglich den Einbau von Wärmebereitstellungsanlagen auf Basis fossiler Brennstoffe im Neubau.

¹⁵ Die Sanierungsrate wird als Anteil an der Bruttogrundfläche des Gesamtbestands an Gebäuden gemessen.

Außerdem wird nur jener Anteil an den Investitionen berücksichtigt, der den Mehrkosten im Vergleich zu einem Ersatztausch entspricht.

Zur Berechnung der Vermeidungskosten wird zwischen den langfristigen Investitionen in Gebäuderenovierungen (Capital Expenditures – CAPEX) und den laufenden Kosten für die Gebäudewärme und Warmwasserbereitstellung (Operational Expenditures – OPEX) unterschieden. Werden durch eine Investition in Wärmedämmung und effizientere Heizsysteme Energiekosten eingespart, können sich über die Lebensdauer dieser Investition negative Vermeidungskosten ergeben. Die Investitionsausgaben werden auf die Laufzeit der Investition aufgeteilt. Dafür werden im Fall der thermischen Renovierung 30 Jahre, im Fall eines Heizungstauschs 20 Jahre angenommen. Die Veränderung der jährlichen, abdiskontierten Energiekosten¹⁶ gehen als laufende Kosten in die Berechnungen ein. Die Kosten der Vermeidung von Treibhausgasen ergeben sich aus den Investitionskosten, die über Instandhaltungsinvestitionen hinausgehen, abzüglich der Einsparungen bei den Energiekosten.¹⁷

Treibhausgas-Vermeidungspotenzial

In den Berechnungen werden nur die Jahre 2024 bis 2030 betrachtet. In späteren Jahren, v. a. ab 2036, erfolgen die Renovierungen zunehmend in Gebäuden mit höherer Energieeffizienz aus späteren Bauperioden, sodass die weiteren Einsparungen bei den Treibhausgasemissionen geringer ausfallen (siehe Abbildung 4). Auch bei der Installation geeigneter Heizungen ist das Einsparungspotenzial kleiner, u. a. aufgrund der Annahme, dass ein Großteil der Öl- und Gasheizungen bis 2040 ausgetauscht werden. Die Vermeidungskosten steigen daher mit der Betrachtungsperiode.

Im NEKP erfolgt die Berechnung der Treibhausgasreduktion in der sektoralen Betrachtung der Treibhausgasbilanzierung¹⁸, d. h. es werden die direkten Effekte auf die Emissionen im Gebäudesektor berücksichtigt, nicht jedoch die indirekten Effekte auf die Emissionen im Sektor Energie und Industrie. Wird in einem Gebäude eine von fossilen Brennstoffen betriebene Heizung durch eine Wärmepumpe oder Fernwärme ersetzt, entfallen die durch die ersetzte Heizung verursachten direkten Emissionen. In Abhängigkeit vom Anteil erneuerbarer Energie bei der Erzeugung der Fernwärme oder des Stroms, der für den Betrieb der Wärmepumpe erforderlich ist, entstehen jedoch indirekte Emissionen im Sektor Energie und Industrie.¹⁹ Werden diese indirekten Emissionen nicht berücksichtigt, kommt es im Fall der thermischen Sanierung zu einer Unterschätzung, im Fall des Heizungstauschs zu einer Überschätzung der Emissionsreduktionswirkung einzelner Maßnahmen.

Für die hier berechneten Vermeidungskosten pro Tonne CO₂-Äquivalente wird im Gegensatz zum NEKP eine sektorübergreifende Darstellung gewählt. Damit werden sowohl direkte als auch indirekte Treibhausgasemissionen berücksichtigt (Abbildung 4).²⁰ Während es durch die thermische Renovierung der Gebäudehüllen zu einer Reduktion sowohl der direkten als auch der indirekten Emissionen kommt, steht der Reduktion der direkten Emissionen durch den Tausch von Heizungen in den einzelnen Gebäudekategorien in der Regel insgesamt eine Zunahme der indirekten Emissionen durch den

¹⁶ Es wird eine Diskontrate von 2% angenommen.

¹⁷ Für die Entwicklung der Energiepreise für die einzelnen Energieträger werden in den Berechnungen Annahmen des Umweltbundesamts übernommen.

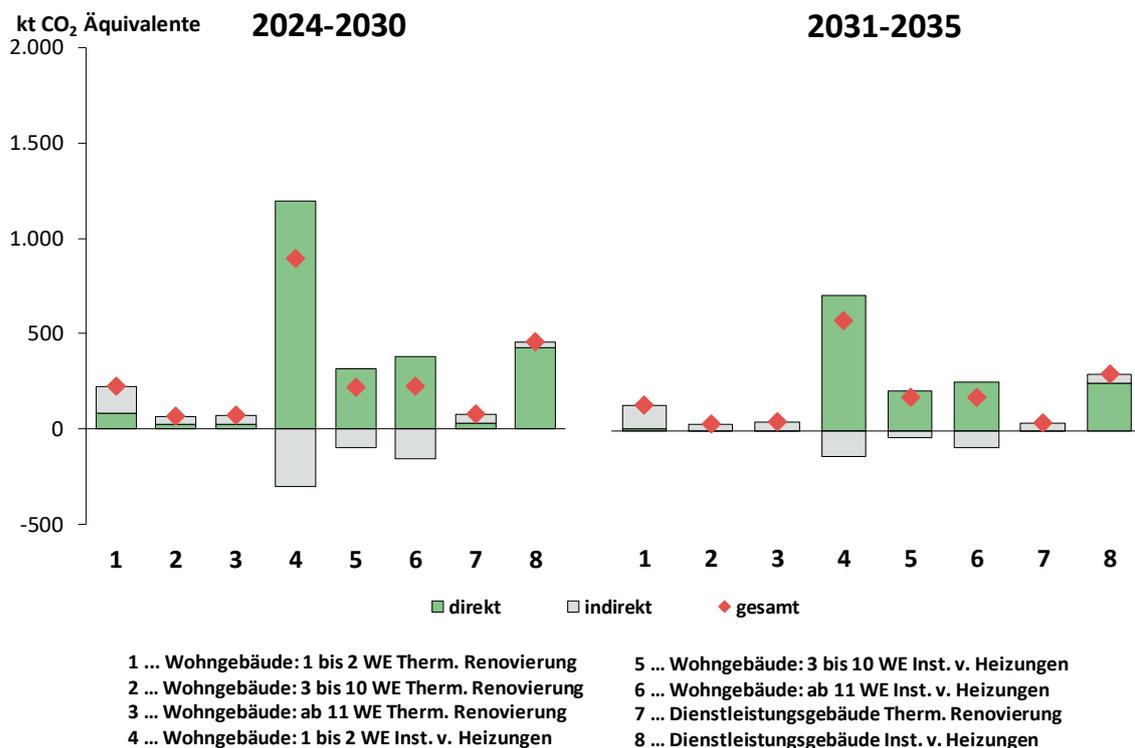
¹⁸ Die Treibhausgasbilanz erfolgt auf Basis der Berichterstattungsanforderungen der UN-Klimarahmenkonvention (United Nations Framework Convention on Climate Change UNFCCC). Die Inventare folgen dabei den Richtlinien des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), das detaillierte Methoden zur Berechnung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen und -senkungen bereitstellt.

¹⁹ Vgl. Umweltbundesamt (2023), S. 163.

²⁰ Die Veränderung der gesamten (direkten und indirekten) Emissionen bei einem Heizungstausch oder einer thermischen Renovierung wird auf Basis der Änderung der Endenergie und der vom UBA veröffentlichten Emissionsfaktoren der Energieträger berechnet. Siehe: <https://secure.umweltbundesamt.at/co2mon/co2mon.html>

zusätzlichen Bedarf an Strom und Fernwärme gegenüber. Die Umstellung der Wärmeerzeugung von fossilen Brennstoffen auf Wärmepumpen, Fernwärme oder erneuerbare Energien führt jedoch zu einer deutlichen Reduktion der direkten Emissionen und somit auch der gesamten Emissionen in den Jahren 2024 bis 2035. In den Folgejahren geht die Reduktion von Treibhausgasen durch Investitionen in thermische Renovierung und Erneuerung von Heizungen aufgrund zunehmend hoher dämmungstechnischer Standards des Gebäudebestands deutlich zurück und wird daher in Abbildung 4 nicht mehr dargestellt.

Abbildung 4: Reduktion der direkten und indirekten THG-Emissionen durch thermische Renovierungen und Installation von Heizungen nach Gebäudeart und Anzahl der Wohneinheiten (WE)



Quellen: e-think energy research (2024): Zentrum für Energiewirtschaft und Umwelt (e-think). Szenario WAM 2024, Daten: Umweltbundesamt; eigene Berechnungen.

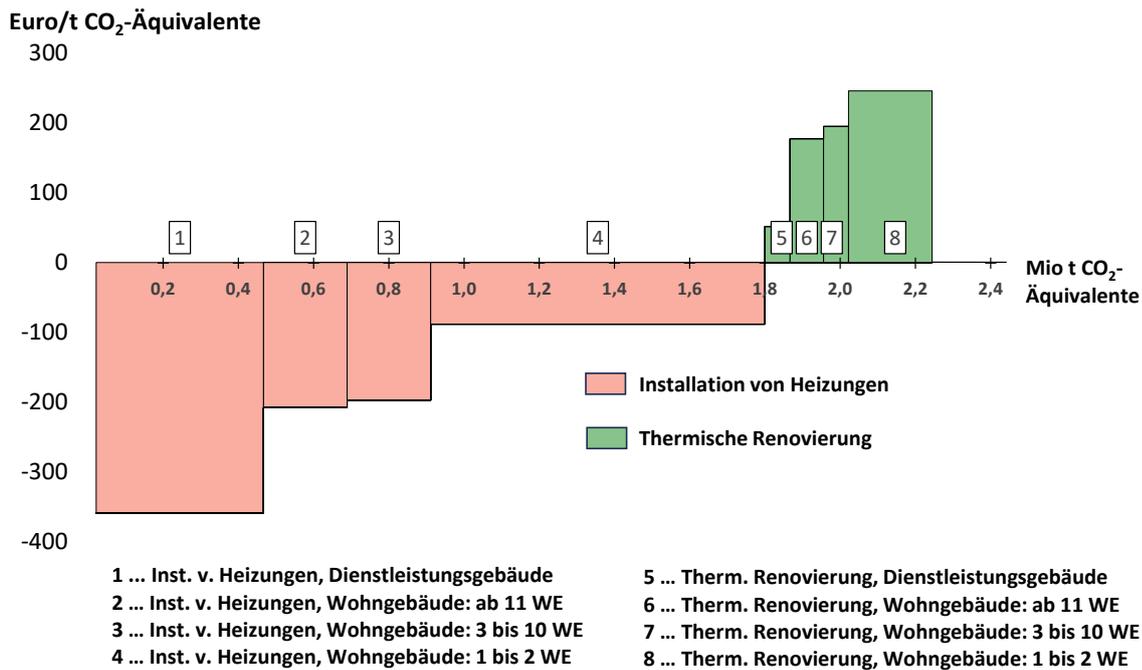
Grenzvermeidungskosten

Zur Berechnung der Grenzvermeidungskosten wird den Vermeidungskosten (modellierte Investitionskosten für thermische Renovierungen und die Installation geeigneter Heizungen inkl. Energiekostenveränderung) die damit verbundene Treibhausgasreduktion gegenübergestellt. In Abbildung 5 ist diese Gegenüberstellung in Form einer Grenzvermeidungskostenkurve für den Zeitraum 2024 bis 2030 zu sehen. Die Vermeidungskosten in Euro je eingesparter Tonne CO₂-Äquivalente und der modellierte Umfang der Vermeidung in Tonnen CO₂-Äquivalent werden jeweils getrennt für die Installation geeigneter Heizungen und thermische Renovierung der Gebäudehülle betrachtet. Da bestimmte Heizsysteme – insbesondere solche auf Basis erneuerbarer Energie wie Wärmepumpen – eine effektive thermische Isolierung benötigen, um ausreichend Raumwärme erzeugen zu können, erfolgen thermische Sanierung und Heizungstausch oft gleichzeitig. In diesen Fällen wird in den vom UBA zur Verfügung gestellten Daten die Einsparung von Emissionen zuerst auf die Installation der Heizung bezogen, die Reduktion durch die thermische Renovierung bezieht sich dann auf das Gebäude mit neuer

Heizung. Allerdings beträgt der Anteil, den die Investitionen in einen Heizungstausch bei gleichzeitiger Renovierung an allen Investitionen im Bereich Heizungstausch haben, nur etwa 6%.

Aufgrund der unterschiedlichen Einsparungspotenziale werden die Grenzermeidungskosten für die unterschiedlichen Gebäudearten differenziert dargestellt, wobei zwischen Dienstleistungsgebäuden einerseits und Wohngebäuden nach Größe (1 bis 2 Wohneinheiten, 3 bis 10 Wohneinheiten und 11 und mehr Wohneinheiten) andererseits unterschieden wird.

Abbildung 5: Grenzermeidungskostenkurve für Gebäude 2024–2030



Quellen: e-think energy research (2024): Zentrum für Energiewirtschaft und Umwelt (e-think). Szenario WAM 2024, Daten: Umweltbundesamt; eigene Berechnungen.

In den Jahren 2024 bis 2030 errechnet sich durch die im NEKP geplanten Investitionen in den Heizungstausch und die thermische Sanierung in Summe eine Einsparung der jährlichen Emissionen von 2,2 Mio Tonnen CO₂-Äquivalent, die v. a. im Gebäudesektor stattfindet und rund 30% der Treibhausgasemissionen des Gebäudesektors im Jahr 2022 ausmacht²¹. 80% der Einsparungen gehen dabei auf den geplanten Tausch von Heizkesseln zurück. Die Hälfte davon ist auf den Heizungstausch in Wohngebäuden mit ein bis zwei Wohneinheiten zurückzuführen. Diese Ein- und Zweifamilienhäuser stellen mit 77% aller Gebäude den überwiegenden Gebäudetyp dar und besitzen einen hohen Heizwärmebedarf.

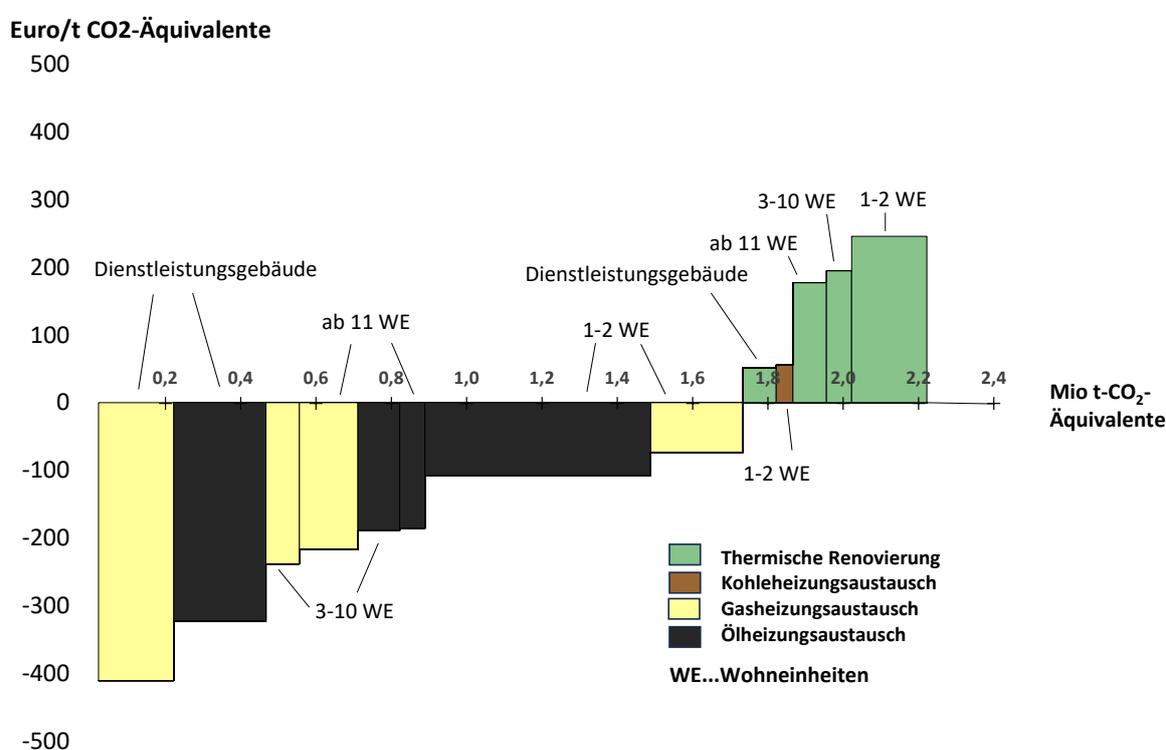
Die Grenzermeidungskosten sinken mit der Gebäudegröße. Bei größeren Gebäuden kann mit geringeren finanziellen Mitteln eine Treibhausgaseinsparung erzielt werden, weil die bei der thermischen Renovierung relevante Oberfläche im Verhältnis zur Wohnfläche geringer ist und der Heizkesseltausch für eine größere Wohnfläche erfolgt. Ein Heizungstausch führt in allen Gebäudekategorien in einem Ausmaß zu niedrigeren Energiekosten, das die klimarelevanten Mehrkosten der Investition über deren Lebensdauer übersteigt. Daraus ergeben sich negative Vermeidungskosten, die bei größeren Gebäuden

²¹ Bei den indirekten Emissionen im Sektor Energie und Industrie kommt es netto zu einer leichten Zunahme.

noch deutlicher ausfallen. Die Einsparungen steigen von rund 90 Euro/t CO₂-Äquivalente bei Wohngebäuden mit ein bis zwei Wohneinheiten auf rund 360 Euro/t CO₂-Äquivalent bei Dienstleistungsgebäuden.

Vergleichbare Ergebnisse zu Einsparungen bei Sanierungen von Gebäuden finden sich auch in der Literatur. Böhm und Getzner (2017) kommen für Österreich zu dem Schluss, dass sich die Kosten von thermisch-energetischen Sanierungsmaßnahmen bei Ein- und Mehrfamilienhäusern durch die Einsparung bei den Energiekosten innerhalb der Lebensdauer der Investitionen amortisieren. In ihren Fallbeispielen ergibt sich diese Rentabilität sowohl für die thermische Sanierung als auch für den Heizkesseltausch²². Die in Abbildung 5 dargestellten Grenzvermeidungskosten im Fall der thermischen Sanierung bewegen sich im positiven, jedoch ebenfalls kosteneffektiven Bereich von 52 Euro je eingesparter Tonne CO₂-Äquivalent bei Dienstleistungsgebäuden, bis 245 Euro je eingesparter Tonne CO₂-Äquivalent bei Einfamilienhäusern.

Abbildung 6: Grenzvermeidungskostenkurve für Gebäude nach Energieträger der ausgetauschten Heizung 2024-2030



Quellen: e-think energy research (2024): Zentrum für Energiewirtschaft und Umwelt (e-think). Szenario WAM 2024, Daten: Umweltbundesamt; eigene Berechnungen.

Die Vermeidungskosten und das Vermeidungspotenzial eines Heizungsaustauschs unterscheiden sich je nach fossilem Energieträger der auszutauschenden Heizungsanlage. In Abbildung 6 ist eine Grenzvermeidungskostenkurve dargestellt,²³ in der der Austausch von Heizungen nach Energieträgern differenziert wird. Für die Berechnungen wurde der Anteil eines ersetzten Energieträgers an den

²² Vgl. Böhm und Getzner (2017), S. 53 ff.

²³ Da es zu keinem bzw. sehr wenig Austausch von Kohleheizungen in Wohngebäuden mit mehr als 2 Wohneinheiten und Dienstleistungsgebäuden kommt, fehlt diese Maßnahme in diesen Gebäudekategorien in Abbildung 6.

Investitionen und an der Emissionsvermeidung näherungsweise dem Anteil dieses Energieträgers an der Änderung der Endenergie gleichgesetzt.

Die Kosteneinsparungen beim Heizungstausch sind beim Austausch von Gasheizungen in größeren Gebäuden etwas größer als beim Austausch von Ölheizungen. Die Differenzierung nach Heizungsart zeigt aber insbesondere, dass das hohe Vermeidungspotenzial beim Heizkesseltausch überwiegend auf den Austausch von Ölheizungen zurückzuführen ist, obwohl diese Heizungsart in Privathaushalten nur 37% ausmacht. Besonders hoch ist das Vermeidungspotenzial beim Austausch von Ölheizungen in Gebäuden mit ein bis zwei Wohneinheiten: Es beträgt etwa ein Drittel des gesamten Vermeidungspotenzials durch Heizkesseltausch. Der Austausch von Kohleheizungen spielt aufgrund des nur noch geringen Einsatzes eine untergeordnete Rolle.

Trotz der negativen Grenzvermeidungskosten für nahezu alle Heizungsarten und Gebäudetypen können gesetzliche Rahmenbedingungen den Heizungstausch verhindern. Hierzu zählt das Mieter-Vermieter-Dilemma (Blanchard, 2023), das darin besteht, dass die Investitionskosten eines Heizungstausches in Österreich vom Vermieter getragen werden, während die potenziellen Kosteneinsparungen durch die neue Heizung dem Mieter zugutekommen.

2.2. Verkehr

Der Sektor Verkehr hatte im Jahr 2023 mit 19,8 Mio Tonnen CO₂-Äquivalent bzw. 44,8% den größten Anteil an den nationalen Treibhausgasemissionen außerhalb der Sektoren, die vom EU-Emissionshandel abgedeckt werden.²⁴ Hauptverursacher war mit einem Anteil von 99% der Straßenverkehr, der Anteil des Personenverkehrs auf der Straße betrug rund 60%.²⁵ Von 1990 bis 2021 nahmen die Emissionen im Sektor Verkehr um 57% zu; das bedeutete den höchsten Zuwachs an Treibhausgasemissionen aller Sektoren in diesem Zeitraum. Im Jahr 2022 kam es zu einem Rückgang um 4,6% gegenüber dem Vorjahr. Die Zunahme gegenüber 1990 lässt sich auf den Anstieg der Fahrleistung im Straßenverkehr zurückführen. Emissionserhöhend wirkte auch die Zunahme von Exporten der in Österreich verkauften Treibstoffmenge im Fahrzeugtank, die sich von 1990 bis 2021 um das 3,5-fache erhöhte und damit 23% der Treibhausgasemissionen des Straßenverkehrs ausmachte. Abgemildert wurde der Emissionsanstieg durch den Einsatz von Biokraftstoffen, der seit 2015 aber wieder rückläufig ist. Die aus Biotreibstoffen resultierenden Emissionseinsparungen beliefen sich 2021 auf 1,4 Mio Tonnen CO₂-Äquivalent. Auch der wachsende Bestand von batterieelektrischen Fahrzeugen schwächte den Anstieg der Emissionen im Sektor Verkehr ab.²⁶ Im Jahr 2021 machte der Anteil von Elektroautos an den neu zugelassenen Pkws 13,9% aus, im Jahr 2024 bereits 17,6%.

Klimaschutzmaßnahmen im NEKP

Im Rahmen des NEKP soll laut „With Existing Measures“ (WEM)- und „With Additional Measures“ (WAM)-Szenarien eine Reduktion der CO₂-Emissionen im Sektor Verkehr in den Jahren 2020 bis 2030 durch sieben Maßnahmenbündel,²⁷ die aus zahlreichen Einzelmaßnahmen bestehen, umgesetzt werden:

1. „Umsetzung der „Renewable Energy Directive“ (RED III)“, die u. a. Ziele für den Einsatz von erneuerbaren Kraftstoffen in Fahrzeugen festlegt.

²⁴ Vgl. Umweltbundesamt (2025).

²⁵ Die Anteile des Straßen- und Personenverkehrs beziehen sich auf das Jahr 2022, vgl. Umweltbundesamt (2024), S. 138.

²⁶ Vgl. Umweltbundesamt (2023).

²⁷ Das Maßnahmenbündel „Sustainable Aviation Fuel im Flugverkehr“, setzt erst im Jahr 2030 auf eine im Vergleich zu den anderen Maßnahmenbündeln sehr geringe Reduktion von Treibhausgasen und wird daher nicht betrachtet. Das Maßnahmenbündel „Effizienzsteigerung Kfz“, das vor allem auf Tempolimits auf Autobahnen setzte, findet im aktuellen NEKP keinen Niederschlag.

2. „Forcierung der Elektromobilität“ durch Vorschriften und Förderungen zur Erhöhung des Anteils elektrisch betriebener Pkws und Nutzfahrzeuge.
3. „Steuerung der Kraftstoffpreise“ durch den nationalen CO₂-Preis.
4. „Aktive Mobilität und Mobilitätsmanagement“ zur Verlagerung von Straßenverkehr auf Rad- und Fußverkehr.
5. „Ausweitung und Attraktivierung des öffentlichen Verkehrs“ enthält u. a. den ÖBB-Rahmenplan und die Verkehrsdiensteverträge.
6. „Verlagerung des Güterverkehrs“ enthält u. a. Programme der Schienenverkehrsförderung und der Anschlussbahn- und Terminalförderung.
7. „Ökologisierung der Lkw-Maut“ durch die Einführung einer vom CO₂-Ausstoß abhängigen Maut.

Betrachtet man die Vermeidungspotenziale dieser Maßnahmenbündel, so soll die Reduktion von CO₂-Äquivalenten vor allem durch einen höheren Anteil erneuerbarer Energien im Verkehr („Umsetzung der RED III“) und einem höheren Anteil von alternativ angetriebenen Fahrzeugen („Forcierung der Elektromobilität“) erreicht werden. Auch das Maßnahmenbündel „Aktive Mobilität und Mobilitätsmanagement“ soll wesentlich zur Emissionsreduktion beitragen.

Umsetzung der Renewable Energy Directive (RED III)

Die RED III ist eine Überarbeitung der Erneuerbare-Energie-Richtlinie der EU. Sie hat zum Ziel, den Anteil erneuerbarer Energien am Endverbrauch innerhalb der EU bis zum Jahr 2030 auf 42,5% zu erhöhen. Die RED III legt u. a. auch spezifische Ziele im Sektor Verkehr fest, die den Einsatz erneuerbarer Kraftstoffe in Autos, Lkws, Schiffen und Flugzeugen betreffen. Im Szenario WAM des NEKP wird ein Anteil von erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch im Sektor Verkehr von mindestens 29% modelliert.

Forcierung der Elektromobilität

Die EU hat im Rahmen ihres Pakets „Fit for 55“ eine überarbeitete Verordnung²⁸ mit strengeren CO₂-Emissionsnormen für neuzugelassene Pkws und leichte Nutzfahrzeuge vorgelegt, die im April 2023 vom Europäischen Parlament und vom Rat angenommen wurde. Sie gibt Flottenziele vor, die festlegen, wieviel CO₂ im Durchschnitt von der Flotte neuzugelassener Fahrzeuge eines Herstellers ausgestoßen werden darf. Im Jahr 2021 betrug dieser Zielwert 95 g CO₂/km, bis zum Jahr 2025 müssen die durchschnittlichen CO₂-Emissionen im Vergleich zum Zielwert von 2021 um 15% niedriger sein, bis zum Jahr 2030 um 55%.²⁹ Die Einhaltung dieser Ziele wird in den Szenarien WEM und WAM des NEKP modelliert.

Steuerung der Kraftstoffpreise

Die Steuerung der Kraftstoffpreise erfolgt durch den nationalen CO₂-Preis³⁰. Im Szenario WAM wird davon ausgegangen, dass er im Jahr 2030 100 Euro je Tonne CO₂ beträgt.

Aktive Mobilität und Mobilitätsmanagement

Für dieses Maßnahmenbündel wird im Szenario WAM des NEKP v. a. ein im Vergleich zum Szenario WEM verstärkter Ausbau von Rad- und Fußwegen modelliert.

Ausweitung und Attraktivierung des öffentlichen Verkehrs

Durch eine Erweiterung und Verbesserung des Angebots im öffentlichen Verkehr sollen Anreize zum Umstieg vom individuellen Straßenverkehr auf öffentliche Verkehrsmittel und damit Einsparungspotenziale

²⁸ Verordnung (EU) 2023/851

²⁹ Vgl. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2022a), s. 20.

³⁰ Ab 2027 durch EU-ETS II.

für Treibhausgasemissionen geschaffen werden. Der öffentliche Verkehr ist in der Regel effizienter, bietet eine höhere Personenkapazität pro Fahrzeug und trägt daher zu einer Verringerung des Verkehrsaufkommens bei. Auch durch die weitgehende Elektrifizierung von z. B. Eisenbahnstrecken kommt zu einer deutlichen Reduktion von Treibhausgasen pro gefahrenem Kilometer und pro Person (Personenkilometer – Pkm).

Verlagerung des Güterverkehrs

Durch Förderungen wie die „Schienengüterverkehr 2023–2027“-Förderung und die „Wegeentgeltförderung“ für die Erbringung von Schienengüterverkehrsleistungen soll eine verstärkte Verlagerung des Güterverkehrs von der Straße auf die Schiene erreicht werden.

Ökologisierung der Lkw-Maut

Mit der Einführung einer vom CO₂-Ausstoß abhängigen Maut ist laut den UBA-Berechnungen im Beobachtungszeitraum 2024–2030 ein sehr geringes CO₂-Vermeidungspotenzial verbunden. Das Maßnahmenbündel wird im vorliegenden Bericht daher nicht berücksichtigt.

Berechnung der Vermeidungskosten und des Vermeidungspotenzials

Die Maßnahmenbündel im Verkehrsbereich sollen mit Hilfe unterschiedlicher klimapolitischer Instrumente umgesetzt werden, die zum Teil mit keinen direkten Kosten verbunden sind. Das Maßnahmenbündel „Steuerung der Kraftstoffpreise“, das durch das Setzen eines CO₂-Preises Umsetzung findet, und die Ziele im Rahmen des „RED III“-Maßnahmenbündels, die durch Vorschriften und Regulierungen umgesetzt werden sollen, können hier als Beispiele für Politikmaßnahmen genannt werden, deren durch Verhaltensänderungen ausgelöste, gesamtwirtschaftliche Kosten und Treibhausgaseinsparungen nur schwer quantifizierbar sind.

Andere Maßnahmen im Sektor Verkehr, u. a. in den Maßnahmenbündeln „Forcierung der Elektromobilität“ und „Ausweitung und Attraktivierung des öffentlichen Verkehrs“, sind mit direkten Kosten im staatlichen und privaten Sektor verbunden, die zur Berechnung der Grenzvermeidungskosten herangezogen werden können. Im Gegensatz zum Gebäudebereich konnten zur Berechnung der Grenzvermeidungskosten der Maßnahmen des Verkehrsbereichs vom UBA keine Daten für Einzelmaßnahmen bereitgestellt werden, da die Verkehrsmodellierung für den NEKP aufgrund von Wechselwirkungen im Verkehrssystem auf gesamtsektoraler Ebene erfolgt. Die folgenden Darstellungen stützen sich daher auf Berechnungen des FISK-Büros.

Eigene Abschätzung der Grenzvermeidungskosten aus „Forcierung der Elektromobilität“

Für eine eigene Berechnung der Reduktion von CO₂-Emissionen, die sich aus der Einhaltung der Flottenziele der EU durch eine Zunahme der Neuzulassungen von Elektroautos ergibt, wird der Anteil der Neuzulassungen und Stilllegungen von Pkws am Bestand im Jahr 2023 auf die Jahre 2024 bis 2030 angewendet und von einem Durchschnitt von 13.000 gefahrenen Kilometern pro Pkw und Jahr³¹ ausgegangen. Als Wert für die durchschnittlichen CO₂-Emissionen der wegfallenden Pkws wird näherungsweise der Flottendurchschnitt der Neuzulassungen im Jahr *t-12* angenommen³². Daraus ergibt sich eine zusätzliche Vermeidung von durchschnittlich rund 0,14 Mio Tonnen CO₂ pro Jahr, die sich bis zum Jahr 2030 auf rund 1,0 Mio Tonnen jährliche CO₂-Vermeidung erhöht. Für die Vermeidungskosten wird ein Wert von rund 320 Euro pro vermiedener Tonne CO₂-Äquivalent angesetzt. Dieser Wert entspricht dem Durchschnitt

³¹ Siehe ÖAMTC und ARBÖ (2018), S. 92.

³² Für die Flottenemissionenwerte werden die Herstellerangaben verwendet, s. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2022a).

unterschiedlicher, in den Jahren 2018 bis 2023 publizierter Werte³³. Er stellt die Mehrkosten von Elektroautos im Vergleich zu fossil betriebenen Pkw inklusive der Betriebskosten und Infrastrukturkosten dar. Die mit dieser Emissionsvermeidung verbundenen Mehrkosten gegenüber dem Kauf eines Autos mit Verbrennungsmotor belaufen sich auf 310 Mio Euro.

Ebenfalls im Maßnahmenbündel enthalten sind die Förderprogramme zur Umstellung auf emissionsfreie Busflotten im öffentlichen Personenverkehr (Emissionsfreie Busse und Infrastruktur – EBIN, und auf emissionsfreie Nutzfahrzeuge (Emissionsfreie Nutzfahrzeuge und Infrastruktur – ENIN).³⁴ Eigene Hochrechnungen ergeben für das Programm EBIN Mehrkosten für die Elektrifizierung der geförderten Busse gegenüber der Anschaffung konventioneller, fossil betriebener Fahrzeuge von 348 Mio Euro.³⁵ Unter der Annahme einer Lebensdauer der Fahrzeuge von 14 Jahren belaufen sich die Mehrkosten inklusive Ladeinfrastruktur auf rund 1.600 Euro pro vermiedener Tonne CO₂. Für das Programm ENIN errechnen sich Mehrkosten inklusive Ladeinfrastruktur für die Elektrifizierung der Fahrzeuge von 518 Mio Euro.³⁶ Die Lebensdauer der Nutzfahrzeuge wird ebenfalls mit 14 Jahren angesetzt, woraus sich Mehrkosten von 360 Euro pro vermiedener Tonne CO₂ ergeben. Für beide Förderprogramme lässt sich aus diesen Hochrechnungen ein Einsparungspotenzial von 0,1 Mio Tonnen CO₂ pro Jahr ableiten.

Weitere im Maßnahmenbündel „Forcierung der Elektromobilität“ enthaltene Maßnahmen, wie z. B. die weitgehende Elektrifizierung der Neuzulassungen von Lkws, Last- und Sattelzügen sowie Reisebussen bis 2035, können in diesem Bericht nicht eigenständig berechnet werden. Darüber hinaus können Investitionen in die Straßeninfrastruktur, die dem Betrieb von Elektrofahrzeugen zugutekommt, mangels geeigneter Daten nicht berücksichtigt werden.

Eigene Abschätzung der Grenzvermeidungskosten aus „Ausweitung und Attraktivierung des öffentlichen Verkehrs“

Zentrale Maßnahmen in diesem Maßnahmenbündel betreffen u. a. die Infrastrukturinvestitionen³⁷ laut **Rahmenplan 2024–2029 der ÖBB-Infrastruktur AG**³⁸. Für eine eigene Abschätzung der Potenziale zur Reduzierung von Treibhausgasen und der damit verbundenen Vermeidungskosten, die sich aus den Investitionen laut Rahmenplan ergeben, wurden dessen Projekte in vier Kategorien aufgeteilt:

1. Investitionen zur Verkürzung von Fahrzeiten, die die Attraktivität von Zugverbindungen im Vergleich zum Autofahren erhöhen (z. B. zweigleisiger Ausbau eingleisiger Strecken)
2. Investitionen in sonstige Maßnahmen zur Erhöhung der Attraktivität des Zugverkehrs (z. B. Bahnhofsumbauten)
3. Streckenelektrifizierung
4. Sonstige Maßnahmen (z. B. zur Erhöhung der Sicherheit) ohne Auswirkung auf die Treibhausgasemissionen

Zeitersparnis beim Reisen ist einer der wichtigsten Einflussfaktoren für die Attraktivität des öffentlichen Verkehrs. Die als Maßnahmen zur Beschleunigung des Zugverkehrs kategorisierten Investitionen

³³ Vgl. Billi, S., M. G. Prina, et al. (2023), S. 11, S. 63, Gebert P., P. Herold et al. (2018), S. 194, Goldman Sachs (2020), S. 36, International Energy Agency (2020) und Bothe, D., M. Jansen (2021), S. 46.

³⁴ Siehe Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2022b und 2022c).

³⁵ Die Berechnungen basieren auf Angaben des BMK.

³⁶ Die Berechnungen basieren auf Angaben des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK).

³⁷ Instandhaltungsinvestitionen finden keine Berücksichtigung.

³⁸ Siehe Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie und ÖBB-Infrastruktur AG (2023).

summieren sich laut Rahmenplan auf insgesamt 33,8 Mrd Euro, wobei 9,0 Mrd Euro in den Zeitraum 2024 bis 2029 fallen. Ein Großteil der Investitionen (63%) fließen in Großprojekte zur Errichtung neuer Strecken, wie z. B. den Semmering-Basistunnel auf der Strecke von Wien nach Graz zwischen Gloggnitz und Mürzzuschlag und den Brenner-Basistunnel zwischen Innsbruck und Italien. Mehr als 10 Mrd Euro werden für den Ausbau von Bestandsstrecken aufgewendet, z. B. für einen mehrgleisigen Ausbau. Die Lebensdauer der Investitionen wird mit 50 Jahren angesetzt, sofern sie in den Tunnelbau fließen, für Investitionen in den sonstigen Streckenausbau wird von einer Lebensdauer von 30 Jahren ausgegangen.³⁹

Angaben zur Zeitersparnis auf den unterschiedlichen Streckenabschnitten gehen auf das Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) und die ÖBB-Infrastruktur AG zurück. Es gibt zahlreiche Schätzungen der Nachfrageelastizität in Bezug auf eine Verkürzung der Reisezeit im öffentlichen Verkehr.⁴⁰ Für die vorliegende Berechnung wird eine Elastizität der Nachfrage (in Pkm)⁴¹ in Bezug auf die durch den Streckenaus- und -neubau erreichte Zeitersparnis (in Prozent der derzeitigen Reisezeit) von 0,6 angenommen.⁴² Die Berechnungen beziehen nicht nur die unmittelbar betroffenen Streckenabschnitte ein, da es auch positive Anreize für Zugreisen auf längeren Strecken gibt, die diese betroffenen Streckenabschnitte miteinbeziehen. Dafür wird der Einfachheit halber angenommen, dass 10 % der Pkm auf den übrigen Strecken betroffen sind und die gesamte relative Zeitersparnis 50% der Zeitersparnis auf den betroffenen Streckenabschnitten ausmacht.

Unter der Annahme, dass die zusätzlichen Pkm im Zugverkehr einer entsprechenden Reduktion von in Pkws gefahrenen Pkm entspricht, ergibt sich daraus insgesamt ein Einsparungspotenzial von 0,5 Mio Tonnen CO₂-Äquivalenten pro Jahr⁴³; 16% davon gehen auf Investitionen in den Jahren 2024 bis 2030 zurück.

Empirische Studien zeigen, dass die Verlässlichkeit und Frequenz öffentlichen Verkehrsverbindungen wichtige Faktoren für die **Attraktivität** des öffentlichen Verkehrs sind. Eine Quantifizierung dieses Effekts auf die Nachfrage nach öffentlichen Verkehrsmitteln fehlt bisher. Gleiches gilt für die Auswirkungen weicher Faktoren, wie des Komforts (z. B. Lärmbelastung, Klimatisierung und Sauberkeit), auf die Nachfrage.⁴⁴

Im Jahr 2022 waren 74% des Streckennetzes der ÖBB elektrifiziert,⁴⁵ auf denen mehr als 90% der Schienenverkehrsleistungen der ÖBB durchgeführt werden.⁴⁶ Bis 2030 soll der **Elektrifizierungsanteil** laut den Plänen der ÖBB auf 85% angehoben werden. Den indirekten Emissionen von Elektroloks von 7,2 g CO₂-Äquivalenten pro Pkm⁴⁷, die in der Stromproduktion entstehen, werden gesamte (direkte und indirekte) Emissionen von Dieselloks gegenübergestellt, für die ein Wert von rund 100 g CO₂-Äquivalenten pro Pkm geschätzt wird.

³⁹ Vgl. Eurostat-OECD (2015), S. 41.

⁴⁰ Für einen Überblick s. Hensher, D. A. (2008).

⁴¹ Die Angaben zur Verkehrsleistung in Pkm im Jahr 2022 auf den betroffenen Streckenabschnitten wurden dankenswerterweise vom BMK und der ÖBB-Infrastruktur AG zur Verfügung gestellt.

⁴² Vgl. Repenning, J., R. O. Harthan et al. (2021), S. 231, und Hensher, D. A. (2008).

⁴³ Die vom UBA veröffentlichten Emissionskennzahlen 2023 für Verkehrsmittel weisen für die gesamten, d. h. direkten und indirekten Emissionen im Personenverkehr auf der Schiene durchschnittlich 13,3 g CO₂-Äquivalenten pro Pkm aus. Für Pkws belaufen sie sich auf 218,7 g pro Pkm.

⁴⁴ Siehe Göransson, J., H. Andersson (2023).

⁴⁵ Siehe ÖBB-Holding AG (2022).

⁴⁶ Siehe ÖBB-Holding AG (2019).

⁴⁷ Die indirekten Emissionen des schienenengebundenen Personenverkehrs von 7,2 g CO₂-Äquivalenten pro Pkm laut den vom UBA veröffentlichten Emissionskennzahlen 2023 für Verkehrsmittel werden näherungsweise den Elektroloks zugewiesen.

Im ÖBB-Rahmenplan werden für die Jahre 2024 bis 2029 Investitionen von in Summe 840 Mio Euro für die weitere Elektrifizierung des Streckennetzes ausgewiesen. Die Lebensdauer dieser Investitionen wird analog zu den Annahmen für den Streckenausbau zur Beschleunigung mit 30 Jahren angesetzt. Damit verbunden sind nach den dargestellten Berechnungen Einsparungen von 0,1 Mio Tonnen CO₂-Äquivalenten pro Jahr.

Die Effekte der dargestellten Maßnahmen zur Attraktivierung des öffentlichen Verkehrs auf eine Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene können mangels geeigneter Daten in diesem Bericht nicht berücksichtigt werden. Die damit verbundene potenzielle Vermeidung von Treibhausgasen ist jedoch deutlich geringer als im Bereich des Personenverkehrs.

Bis Ende des Jahres 2022 wurden in Österreich rund 220.000 **Klimatickets** verkauft. Die Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitforschung zum Klimaticket werden im Klimaticket-Report 2022 dargestellt⁴⁸. Nutzerinnen und Nutzer des Klimatickets gaben an, dass sie – wenn es kein Klimaticket gäbe – 75% ihrer Fahrten mit einem alternativen Ticket durchgeführt hätten, 20% der Fahrten mit dem Auto. Die CO₂-Einsparung im Jahr 2022, die mit dem Klimaticket einhergeht, weil Autofahrten vermieden wurden, werden auf 65.000 Tonnen geschätzt. Laut Budgetvoranschlag beliefen sich die budgetären Kosten für das Klimaticket im Jahr 2024 auf rund 540 Mio Euro. Für die vorliegenden Berechnungen wird näherungsweise angenommen, dass die staatliche Subvention des Klimatickets den Mehrkosten gegenüber alternativen Tickets bzw. Transportmitteln entspricht. Aufbauend auf den Berechnungen zur Einsparung von CO₂-Äquivalenten durch das Klimaticket, lässt sich ein Vermeidungspotenzial von 0,2 Mio Tonnen ableiten.^{49,50,51}

Grenzvermeidungskosten

Wie in Kapitel 2.1 werden zur Berechnung der Grenzvermeidungskosten die oben dargestellten Vermeidungskosten der damit verbundenen Treibhausgasreduktion für die einzelnen Maßnahmen gegenübergestellt (siehe Abbildung 7). Die Approximation der Investitionskosten in den Bereichen „Ausweitung und Attraktivierung des öffentlichen Verkehrs“ und „Ausbau der Elektromobilität“ durch das FISK-Büro ermöglicht neben einer Neubewertung der Investitionskosten⁵² auch die getrennte Betrachtung von Einzelmaßnahmen der beiden Maßnahmenbündel. Die betrachteten Einzelmaßnahmen weisen eine große Varianz der Vermeidungskosten pro Tonne CO₂-Äquivalente auf. Der Einsatz von Elektroautos verursacht Vermeidungskosten von rund 320 Euro/t CO₂-Äquivalente und gehört daher zu den relativ gesehen kosteneffektiven Maßnahmen. Außerdem macht das damit verbundene Vermeidungspotenzial in den Jahren 2024 bis 2030 mit rund 1 Mio Tonne CO₂-Äquivalenten 60% des Vermeidungspotenzials aller betrachteten Maßnahmen im Sektor Verkehr aus.

48 Siehe Infas (2023).

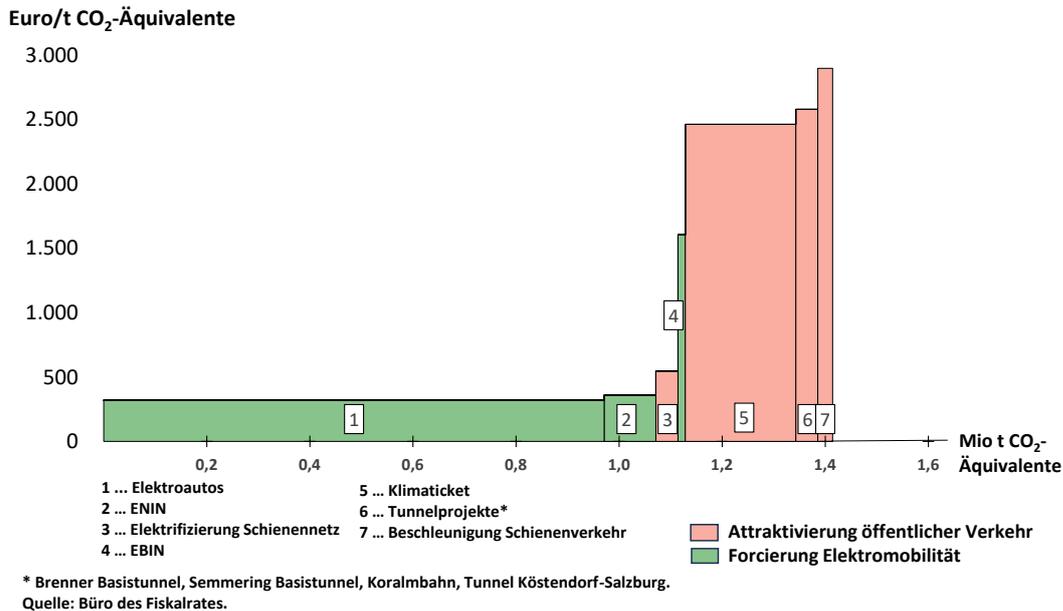
49 Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2023c), S. 21

50 Auf eine Berücksichtigung der potenziellen Überschneidung der CO₂-Vermeidungspotenziale des ÖBB-Rahmenplans und des Klimatickets wurde aufgrund des geringen Effekts des Klimatickets verzichtet.

51 Die potenzielle Inanspruchnahme des Klimatickets könnte durch andere Maßnahmen der Attraktivierung des öffentlichen Verkehrs, wie den Streckenausbau im Schienenverkehr, erhöht werden. Für die vorliegenden Berechnungen ist das jedoch nicht von Relevanz, da die bisherige Inanspruchnahme des Klimatickets betrachtet wird.

52 Das betrifft insbesondere die Berechnung der klimaschutzrelevanten Mehrinvestitionen im Vergleich zur Betrachtung der Gesamtinvestitionen im NEKP.

Abbildung 7: Grenzvermeidungskostenkurve im Sektor Verkehr 2024–2030



* Brenner Basistunnel, Semmering Basistunnel, Koralmbahn, Tunnel Köstendorf-Salzburg.
Quelle: eigene Berechnungen.

Das Förderprogramm ENIN lässt sich mit 360 Euro pro vermiedener Tonne CO₂-Äquivalenten ebenfalls den Maßnahmen mit relativ geringen Vermeidungskosten zuordnen, allerdings errechnet sich dafür ein deutlich niedrigeres Vermeidungspotenzial von 0,1 Mio Tonnen CO₂-Äquivalenten. Für das Förderungsprogramm EBIN ergeben sich deutlich höhere Vermeidungskosten von rund 1.600 Euro pro vermiedener Tonne CO₂-Äquivalente; das Vermeidungspotenzial ist gering.

Im Maßnahmenbündel zur Attraktivierung des öffentlichen Verkehrs erweist sich die weitere Elektrifizierung des Schienennetzes mit einem Vermeidungspotenzial von weit unter 0,1 Mio Tonnen CO₂-Äquivalenten und Grenzvermeidungskosten von rund 550 Euro/t CO₂-Äquivalente als erheblich kosteneffektiver als die anderen betrachteten Maßnahmen. Im Bereich der Vermeidungskosten mit niedriger Kosteneffektivität finden sich zum einen die Investitionen des ÖBB-Rahmenplans für den Streckenausbau zur Beschleunigung des Schienenverkehrs (Vermeidungskosten von rund 2.900 Euro/t CO₂-Äquivalente) und für Großbauprojekte wie den Brenner Basistunnel und die Koralmbahn (Vermeidungskosten von rund 2.580 Euro/t CO₂-Äquivalente).

Eine Beurteilung der Kosteneffektivität von Investitionen in die ÖBB-Infrastruktur AG kann aber nicht auf ihre Rolle in der Vermeidung von Treibhausgasen reduziert werden. Die Investitionen stellen vor allem eine Verbesserung bzw. Bereitstellung von Infrastruktur dar, die zu einer Entlastung des Straßenverkehrs und zu wirtschaftlichen Standortvorteilen führen und nur sekundär dem Klimaschutz dienen. Bahnausbau, der ausschließlich dem Klimaschutz dienen sollte, erscheint auf Basis der präsentierten Ergebnisse als eine sehr kosteneffektive Maßnahme. Die Subventionierung des Klimatickets hat im Jahr 2024 laut den dargestellten Berechnungen im Ausmaß von 0,2 Mio Tonnen CO₂-Äquivalenten zur Vermeidung von Treibhausgasen beigetragen. Allerdings sind auch hier die Grenzvermeidungskosten mit rund 2.460 Euro/t CO₂-Äquivalente im Vergleich zu Grenzvermeidungskosten anderer Maßnahmen in der Literatur sehr hoch.

3. ZUSAMMENFASSUNG

Die Dimension der Kosteneffektivität von Klimaschutzmaßnahmen spielt bei der Ausgestaltung klimapolitischer Maßnahmenbündel auf internationaler und nationaler Ebene bisher eine untergeordnete Rolle. Ziel der vorliegenden Analyse ist es, die Kosteneffektivität budgetär besonders relevanter Maßnahmen der österreichischen Klimapolitik auf Basis des Nationalen Energie- und Klimaplan (NEKP) zu berechnen. Der dabei gewählte Fokus soll zur Versachlichung der klimapolitischen Diskussion beitragen. Der Grad der Kosteneffektivität wird in der Analyse durch die Grenzvermeidungskosten von Einzelmaßnahmen bemessen. Diese Kennzahl misst die gesamtwirtschaftlichen Kosten pro vermiedener Tonne CO₂. Zusätzlich wird das CO₂-Vermeidungspotenzial jeder Einzelmaßnahme dargestellt. In der Folge sind die wichtigsten Analyseergebnisse für Maßnahmen in den relevanten Sektoren Gebäude und Verkehr kurz zusammengefasst.

Im Gebäudesektor liegt der Schwerpunkt der NEKP-Maßnahmen auf thermischen Renovierungen und Heizungsinstallationen. Die Betrachtung der Grenzvermeidungskosten in diesem Bereich macht deutlich, dass vor allem die Gebäudegröße über die Kosteneffizienz der Maßnahmen entscheidet. Bei Dienstleistungsgebäuden und großen Wohngebäuden kann mit geringeren Kosten dasselbe Maß an CO₂-Vermeidung umgesetzt werden wie bei kleineren Gebäuden mit höheren Kosten. Das liegt daran, dass größere Gebäude effizienter renoviert und beheizt werden können. Gleichzeitig machen die Resultate aber auch deutlich, dass das größte CO₂-Vermeidungspotenzial für kleine Wohngebäude besteht, die höhere Grenzvermeidungskosten aufweisen. Die größten CO₂-Einsparungen können dabei durch den Austausch von Ölheizungen in Gebäuden mit ein bis zwei Wohneinheiten erzielt werden. Im Fall des Heizkesseltauschs sind die errechneten Grenzvermeidungskosten sogar für alle Gebäudetypen negativ. Das bedeutet, dass die abdiskontierten Energieeinsparungen über die Lebensdauer der neuen Heizkessel die Investitionskosten übersteigen. Damit existieren hohe Anreize zum Heizungstausch. Gleichzeitig verhindern aber rechtliche Rahmenbedingungen im Fall von gemieteten Objekten (Mieter-Vermieter-Dilemma) eine verstärkte Nutzung des Heizungstauschs.

Die Resultate legen nahe, vermehrt in Informationskampagnen zur Vermittlung der Kostenersparnisse im Fall eines Heizkesseltauschs zu investieren bzw. Änderungen der rechtlichen Rahmenbedingungen im Rahmen von Mietverträgen umzusetzen. Damit könnte die Wirkung von Förderprogrammen verstärkt bzw. deren Volumen redimensioniert werden, ohne die CO₂-Rückführung zu gefährden. Im Fall der thermischen Sanierung errechnen sich moderate Grenzvermeidungskosten von bis zu 245 Euro je eingesparter Tonne CO₂-Äquivalente. Auch hier gilt, dass die Kosteneffizienz der Maßnahme mit der Gebäudegröße zunimmt. Zusammenfassend können die NEKP-Maßnahmen bezüglich Heizkesseltausch und Gebäudesanierung in der Periode 2024 bis 2030 als weitgehend kosteneffiziente klimapolitische Maßnahmen bezeichnet werden.

Im Sektor Verkehr konzentriert sich die Analyse auf die Attraktivierung des öffentlichen Verkehrs und die Forcierung der Elektromobilität. Im Vergleich zum Gebäudesektor weisen die errechneten Grenzvermeidungskosten der diesbezüglichen Maßnahmen auf eine deutlich geringere Kosteneffektivität hin. Die kosteneffizienteste Maßnahme stellt hier der forcierte Anstieg an Elektroautos zur Erreichung des EU-Flottenziels bis 2030 dar. Mit 320 Euro pro Tonne CO₂-Äquivalente liegen die Grenzvermeidungskosten aber selbst für diese Maßnahme deutlich über den Werten der Maßnahmen im Gebäudebereich. Die Erhöhung des Anteils an Elektroautos stellt im Verkehrsbereich auch die Maßnahme mit dem größten Vermeidungspotenzial dar. Die alternativen Maßnahmen zur Forcierung der Elektromobilität weisen bei deutlich geringerem CO₂-Vermeidungspotenzial noch etwas höhere Grenzvermeidungskosten auf. Innerhalb dieser Maßnahmen haben Förderungen von emissionsfreien Bussen die geringste Kosteneffektivität. Maßnahmen zur Attraktivierung des öffentlichen Verkehrs beziehen sich mit Ausnahme des Klimatickets ausschließlich auf den Ausbau der Schieneninfrastruktur.

Trotz der Berücksichtigung ihrer sehr langen Wirkungshorizonte von bis zu 50 Jahren sind die Grenzvermeidungskosten dieser Maßnahmen mit bis zu 2.900 Euro/t CO₂-Äquivalente sehr hoch. Als klimapolitische Maßnahme sind sie damit als besonders kostenineffektiv zu bezeichnen. Die Gesamtbeurteilung des Ausbaus der Schieneninfrastruktur sollte aber nicht ausschließlich anhand ihrer CO₂-Vermeidung beurteilt werden, sondern auch deren Infrastrukturinvestitionscharakter mitberücksichtigen. Neben dem Ausbau der Elektromobilität besitzt das Klimaticket das zweitgrößte Vermeidungspotenzial. Die errechneten Grenzvermeidungskosten von 2.460 Euro/t CO₂-Äquivalente weisen das Klimaticket aber ebenfalls als sehr ineffektive Klimaschutzmaßnahme aus.

Die klimapolitischen Maßnahmenbündel des NEKP stellen das Resultat eines politischen Verhandlungsprozesses dar, in dem die Zieldimension der politischen Umsetzbarkeit eine besondere Bedeutung einnahm. Kosteneffektivität spielte hingegen eine untergeordnete Rolle. Das Klimaticket ist ein Beispiel für eine kostenineffektive, aber politisch relativ leicht umsetzbare klimapolitische Maßnahme. Alternativ zu den gewählten Maßnahmen steht eine Vielzahl an kosteneffektiven Optionen zur Verfügung. Hierzu zählen vor allem regulatorische Maßnahmen, wie ein niedrigeres Tempolimit auf Österreichs Straßen, und marktbasierende Instrumente, wie ein höherer CO₂-Preis. Diese Maßnahmen weisen hohe Kosteneffektivität, aber aufgrund der fehlenden Zustimmung in der Bevölkerung schwierige politische Umsetzbarkeit auf. Die Abwägung zwischen kosteneffektiven, aber politisch schwierig umsetzbaren Maßnahmen und kostenineffektiven, politisch leichter umsetzbaren Maßnahmen macht die konkurrierende Natur der Zieldimensionen klimapolitischer Maßnahmen deutlich.

4. LITERATUR

D´Arcangelo, F., I. Levin, A. Pagani, M. Pisu und A. Johansson (2022). A framework to decarbonise the economy. OECD Economic Policy Papers Nr. 31.

Billi, S., M. G. Prina et al. (2023). Assessing the Cost-Effectiveness of Incentives for Energy Transition Using Marginal Abatement Cost Curves. *Energies* 2023, Vol. 16/Issue 21.

Blanchard, O., C. Gollier, und J. Tirole (2023). The Portfolio of Economic Policies Needed to Fight Climate Change. *Annual Review of Economics*, Vol.15, 689–722.

Böhm, M., M. Getzner (2017). Ökonomische Wirkungen der thermisch-energetischen Sanierung von Wohngebäuden in Österreich. *Energie und Nachhaltigkeit*, Band 26.

Bothe, D., M. Jansen (2021). CO₂ Emission Abatement Costs of Gas Mobility and Other Road Transport Options. Repot for NGVA Europe. *Frontier economics*.

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2022a). Monitoringbericht zu den CO₂-Emissionen neu zugelassener Pkw in Österreich im Jahr 2021. Wien.

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2022b). Sonderrichtlinie zur Förderung der Umstellung auf emissionsfreie Busflotten im öffentlichen Personenverkehr. Wien.

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2022c). Sonderrichtlinie zur Förderung emissionsfreier Nutzfahrzeuge und Infrastruktur. Wien.

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2023). Integrierter Nationaler Energie- und Klimaplan für Österreich. Periode 2021–2030. Wien.

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2023b). Förderprogramm ENIN. Emissionsfreie Nutzfahrzeuge und Infrastruktur. Präsentation.

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2023c). Klimaticket Report 2022. Wien.

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie und ÖBB-Infrastruktur AG (2023). Rahmenplan 2024–2029. Investitionen und Instandhaltung. Wien.

Bundesministerium für Klimaschutz (2024). Integrierter nationaler Energie und Klimaplan für Österreich: Periode 2021–2030. Wien.

Caselli, F., A. Ludwig und F. Van Der Ploeg (2021). No Brainers and Low-Hanging Fruit in National Climate Policy. CEPR Press.

Eurostat-OECD (2025). Eurostat-OECD Survey of National Practices in Estimating Net Stocks of Structures. Paris.

Gebert P., P. Herold et al. (2018). Klimapfade für Deutschland. The Boston Consulting Group und prognos.

Goldman Sachs (2020). Carbonomics. Innovation, Deflation and Affordable De-carbonization. Equity Research. Goldman Sachs.

Goldman Sachs. (2021). The Marginal Abatement Cost Curve: Global Carbon Mitigation Opportunities. Goldman Sachs.

Goldman Sachs. (2022). The Marginal Abatement Cost Curve: Pathways to Net Zero. Goldman Sachs.

Göransson, J., H. Andersson (2023). Factors that make public transport systems attractive: A review of travel preferences and travel mode choices. European Transport Research Review, Vol. 15/Issue 32.

Hensher, D. A. (2008). Assessing systematic sources of variation in public transport elasticities: Some comparative warnings. Transportation Research Part A 42.

Infas (2023). Klimaticket-Report 2022. Bonn.

International Energy Agency (2020). Sustainable Recovery. World Energy Outlook Special Report. Paris.

International Panel on Climate Change (IPCC) (2018). Global Warming of 1,5°: An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1,5° above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Genf.

IPCC (2007). Climate Change 2007: Working Group III: Mitigation of Climate Change. IPCC. Genf.

Kesicki, F. (2011). Marginal abatement cost curves for policy making – expert-based vs. model-derived curves. 33rd IAEE International Conference, Rio de Janeiro, Brazil. University College London (UCL).

McKinsey & Company (2007). A cost curve for greenhouse gas reduction. McKinsey & Company.

McKinsey & Company (2009). Pathways to a low-carbon economy: Version 2 of the global greenhouse gas abatement cost curve. McKinsey & Company.

McKinsey & Company (2013). How to make a city great. McKinsey & Company.

Morton, Craig, Giulio Mattioli, and Jillian Anable (2021). Public Acceptability Towards Low Emission Zones: The Role of Attitudes, Norms, Emotions, and Trust. Loughborough University.

Cowlin, S., J. Cochran, S. Cox, C. Davison, und W. van der Gaast (2012). Broadening the Appeal of Marginal Abatement Cost Curves: Capturing Both Carbon Mitigation and Development Benefits of Clean Energy Technologies. National Renewable Energy Laboratory (NREL).

ÖAMTC und ARBÖ (2018). Expertenbericht Mobilität & Klimaschutz 2030. Wien

ÖBB-Holding AG (2019). Wir sind Klimaschutz. ÖBB Klimaschutzstrategie 2030. Wien.

ÖBB-Holding AG (2022). Zahlen Daten Fakten. Wien.

Österreichisches Institut für Bautechnik (2023). OIB-Richtlinie 6. Energieeinsparung und Wärmeschutz. OIB-330.6-036/23.

Perry, I., R. Mooij und M. Keen. Fiscal Policy to Mitigate Climate Change: A Guide for Policymakers. IMF. Washington.

Repenning, J., R. O. Harthan et al. (2021). Projektionsbericht 2021 für Deutschland. Umweltbundesamt.

Vogt-Schilb, A., G. Meunier, und S. Hallegatte (2018). Optimal timing, cost and sectoral allocation of abatement investment. *Journal of Environmental Economics and Management*, 88, 210–233.

Umweltbundesamt (2023). Klimaschutzbericht 2023. Wien.

Umweltbundesamt (2024). Klimaschutzbericht 2024. Wien.

Umweltbundesamt (2025). Austria's Annual Greenhouse Gas Inventory 1990-2023. Wien.

Umweltbundesamt (2024c). Forecast 2024. 12. November 2024, <https://www.umweltbundesamt.at/news241112-thg-forecast> (13.2.2025).

Vereinbarung gemäß Art. 15a B-VG zwischen dem Bund und den Ländern über Maßnahmen im Gebäudesektor zum Zweck der Reduktion des Ausstoßes an Treibhausgasen (2009), BGBl. II Nr. 251/2009 i. d. F. v. BGBl. II Nr. 213/2017.

Wächter, P. (2013). The usefulness of marginal CO₂-abatement cost curves in Austria. *Energy Policy*, Elsevier, vol. 61(C), pages 1116-1126.

World Bank (2023). "What You Need to Know About Abatement Costs and Decarbonization." *World Bank*, April 20, 2023. <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2023/04/20/what-you-need-to-know-about-abatement-costs-and-decarbonisation>(13.2.2025).