



Gesellschaftliche Kosten-Nutzen-Analyse von Investitionen in nachhaltige Personenmobilität in Österreich (KNAP)

 **Bundesministerium**
Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie

 **Bundesministerium**
Bildung, Wissenschaft
und Forschung



LAND
OBERÖSTERREICH



umweltbundesamt^U



Kerstin Plank, Elisabeth Laa, Barbara Laa, Günter Emberger

Institut für Höhere Studien (IHS)

Technische Universität Wien (TU Wien)



Diese Publikation sollte folgendermaßen zitiert werden:

Plank, K.; Laa, E.; Laa, B.; Emberger, G. (2022): Gesellschaftliche Kosten-Nutzen-Analyse von Investitionen in nachhaltige Personenmobilität in Österreich (KNAP). Endbericht von StartClim2021.B in StartClim2021: Handeln und Aktivieren, Auftraggeber: BMK, BMWFW, Klima- und Energiefonds, Land Oberösterreich.

Wien, im Dezember 2022

StartClim2021.B

Teilprojekt von StartClim2021

Projektleitung von StartClim:

Universität für Bodenkultur, Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt

Institut für Meteorologie und Klimatologie, Gregor-Mendel-Straße 33, 1190 Wien

www.startclim.at

StartClim2021 wurde aus Mitteln des BMK, BMWFW, Klima- und Energiefonds und dem Land Oberösterreich gefördert.

StartClim2021.B

Inhaltsverzeichnis

B-1	Kurzfassung.....	6
B-2	Abstract.....	7
B-3	Einleitung und Problemstellung	8
B-3.1	Aufriss Problemstellungen im Verkehrssektor in Österreich.....	8
B-3.2	Derzeitige Struktur der Personenmobilität in Österreich	9
B-3.3	Personenmobilität, Klimakrise und soziale Gerechtigkeit.....	10
B-3.4	Projektziele und innovatives Potenzial.....	11
B-3.4.1	Projektziele	11
B-3.4.2	Innovatives Potenzial der Studie.....	11
B-4	Daten und Methode	13
B-4.1	MARS Modell	13
B-4.2	Kosten-Nutzen-Analyse	16
B-5	Ergebnisse.....	21
B-5.1	Kosten des Maßnahmenmix der Personenmobilität gemäß Dekarbonisierungsszenario 2040	21
B-5.2	Nutzen durch externe Kosten in den Szenarien	23
B-5.3	Gegenüberstellung Kosten-Nutzen.....	25
B-5.4	Sensitivitätsanalyse.....	27
B-5.5	Abschätzung der Reduktionspotenziale	31
B-5.6	Gesundheitliche Bewertung von nachhaltigeren Mobilitätsformen.....	31
B-6	Diskussion.....	33
B-7	Handlungsempfehlungen für die Etablierung nachhaltiger Personenmobilität.....	35
B-8	Schlussfolgerungen.....	37
B-9	Abkürzungsverzeichnis	38
B-10	Anhang	39
B-11	Literaturverzeichnis.....	42

Abbildungsverzeichnis

Abb. B-1: Modal Split (Follmer et al., 2016)	10
Abb. B-2: Typisches Setup des MARS-Modells.....	13
Abb. B-3: Entwicklung der Pkw-Kilometer im Szenario "Referenz" (Business as usual) und Szenario "Transition 2040" für die Modelllaufzeit von 2018-2040 (Angelini et al., forthcoming)	14
Abb. B-4: Entwicklung der Personenkilometer je Verkehrsmittel für die Szenarien "Referenz" und "Transition 2040" für die Modelllaufzeit von 2018-2040 (Angelini et al., forthcoming)	15
Abb. B-5: Investitionskosten der Maßnahmen für das Dekarbonisierungsszenario 2040, in Mio. Euro, eigene Darstellung (IHS)	22
Abb. B-6: Verteilung der Kosten des Maßnahmenmixes für das Dekarbonisierungsszenario 2040, kumuliert über den gesamten Betrachtungszeitraum 2022 bis 2040, eigene Darstellung (IHS).....	22
Abb. B-7: Entwicklung der Investitionskosten für das Dekarbonisierungsszenario 2040 über den Betrachtungszeitraum 2022 bis 2040, in Mio. Euro, eigene Darstellung (IHS).....	23
Abb. B-8: Eingesparte externe Kosten, in Mio. Euro, Gegenüberstellung von Szenarien 1A und 1B, eigene Darstellung (IHS)	24
Abb. B-9: Aufteilung der externen Kosten im Szenario 1A, eigene Darstellung (IHS)	24
Abb. B-10: Aufteilung der externen Kosten im Szenario 1B, eigene Darstellung (IHS)	25
Abb. B-11: Gesamtinvestitionen in Millionen Euro pro Jahr für die Szenarien 1A, 1B und 2, in Mio. Euro, eigene Darstellung (IHS)	27
Abb. B-12: Entwicklung der Kosten und Nutzen für den Best Case, kumuliert in Mrd. Euro, eigene Darstellung (IHS)	30
Abb. B-13: Entwicklung der Kosten und Nutzen für den Medium Case, kumuliert in Mrd. Euro, eigene Darstellung (IHS)	31
Abb. B-14: Entwicklung der Kosten und Nutzen für den Worst Case, kumuliert in Mrd. Euro, eigene Darstellung (IHS)	31

Tabellenverzeichnis

Tab. B-1: Multiplikationsfaktoren der externen Kosten nach Kostenkategorien, eigene Darstellung IHS (2022) ..	17
Tab. B-2: Gegenüberstellung Kosten-Nutzen der drei Szenarien in Mio. EUR, eigene Darstellung IHS (2022).....	26
Tab. B-3: Variationen der Sensitivitätsanalyse im Best Case, Medium Case und Worst Case.....	28
Tab. B-4: Übersicht Sensitivitätsanalyse im Best Case, Medium Case und Worst Case, in Mio. Euro.....	29
Tab. B-5: Sensitivitätsanalyse im Best Case, in Mio. Euro.....	39
Tab. B-6: Sensitivitätsanalyse im Medium Case, in Mio. Euro.....	40
Tab. B-7: Sensitivitätsanalyse im Worst Case, in Mio. Euro	41

B-1 Kurzfassung

Im Zuge dieses Projekts wurde das strategische Flächennutzungs- und Verkehrsmodell MARS mit einer ökonomischen Betrachtung von Investitionen in nachhaltige Personenmobilität mittels Kosten-Nutzen-Analyse (KNA) verknüpft. Mithilfe des Modells MARS (Metropolitan Activity Relocation Simulator) wurden Szenarien berechnet, um der Frage nachzugehen, wie Investitionen in nachhaltige Personenmobilität im Verhältnis zum Nutzen aus eingesparten externen Kosten und mit reduzierten Personenkilometern des motorisierten Individualverkehrs (MIV) vermiedenen Emissionszertifikaten stehen. Ziel des Projekts war einerseits die Eruierung der Machbarkeit besagter Modellverknüpfung und zum anderen die Sichtbarmachung des gesellschaftlichen Nutzens, der durch ein verändertes Mobilitätsverhalten der Bevölkerung erreicht wird. Dafür wird der Ansatz der externen Kosten angewendet, mit dem unter anderem eine monetäre Bewertung von Luftverschmutzung, Lärmemissionen, Klimafolgeschäden, Unfallkosten und gesundheitlichen Effekten möglich ist. Die praktische Anwendbarkeit dieser Modellverknüpfung wurde anhand eines konkreten MARS Szenarios zur Dekarbonisierung des österreichischen Verkehrssektors bis 2040 mit vorab definiertem Maßnahmenmix getestet. Das Projekt zeigt, dass diese Verknüpfung unter Berücksichtigung von Limitationen durchführbar ist. Die Bilanz der KNA variiert je nach Szenario stark und hängt von der jeweiligen Bewertung der externen Kosten ab. Basierend auf den Ergebnissen wurden abschließend Empfehlungen für einen im Hinblick auf die angestrebte Dekarbonisierung kostenoptimalen Reduktionspfad des österreichischen Verkehrssektors formuliert.

B-2 Abstract

The objective of this project was to link the strategic land use and transport interaction model MARS (Metropolitan Activity Relocation Simulator) with an economic assessment of investments in sustainable personal mobility by carrying out a cost benefit analysis. Using MARS model, we calculated different scenarios to investigate relationships between investments in sustainable personal mobility and benefits of avoided external costs as well as avoided costs of emission certificates stemming from the reduction of passenger kilometers of motorized private transport. The aim was to both determine the feasibility of this model linkage and highlight the societal benefits of a changed mobility behavior of the population. For this purpose, we included a series of external costs that enable the monetary assessment of air pollution, noise emissions, climate damage, accident costs and effects on health. The applicability of this model linkage was tested by using a MARS scenario for the decarbonization of the Austrian transport sector by 2040 with a predefined mix of measures. The project demonstrates the feasibility of this linkage, although there are limitations to be considered. The cost balance varies greatly depending on the scenario due to the respective assessments of external costs. Based on the results, recommendations were made for a cost-efficient reduction path regarding the decarbonization of the Austrian transport sector.

B-3 Einleitung und Problemstellung

Zur Erreichung der Klimaschutzziele des Paris Agreement 2015 und der damit einhergehenden Begrenzung der Klimaerwärmung auf unter 2°C sind weitreichende Transformationen in zahlreichen Bereichen des gesellschaftlichen Lebens notwendig. Im Special Report des International Panel on Climate Change (IPCC) wird hervorgehoben, dass radikale Veränderungen unter anderem in den Bereichen Verkehr, Energie und Infrastruktur notwendig sind, um einen mit den Zielen konformen Reduktionspfad von minus 45 Prozent Treibhausgasemissionen bis 2030 und netto null Treibhausgasemissionen bis 2050 zu erreichen (IPCC, 2019). Der Verkehrssektor in Österreich stellt mit einem Anteil von 30 Prozent an den Treibhausgasemissionen 2019 nach dem Energie- und Industriesektor mit 37 Prozent den zweitgrößten Treiber dar (Umweltbundesamt Österreich, 2021). Der Verkehrssektor ist demnach zweifellos ein gesellschaftlicher Bereich, in dem Transformationen und Klimaschutzanpassungen priorisiert betrachtet werden müssen.

Neben dem negativen Beitrag zum Klimawandel durch hohe Treibhausgasemissionen hat der Verkehrssektor weitere negative externe Effekte auf die Gesundheit. Dazu gehören unter anderem einerseits direkt durch Verkehrsunfälle verursachte hohe finanzielle Kosten und persönliche Schäden, andererseits indirekte Effekte durch Luftschadstoffe und Lärmemissionen, die weitreichende gesundheitliche Folgen haben. In Relation betreffen diese negativen externen Umwelteffekte des Verkehrs die städtische Bevölkerung in einem höheren Ausmaß, insbesondere den Bevölkerungsanteil, der im dicht verbauten städtischen Gebiet mit hohem Verkehrsaufkommen lebt (Matthey & Bünger, 2020). Die Umstellung des Verkehrsangebots auf mehr Angebote für öffentliche Verkehrsmittel, Radfahrer:innen und Fußgänger:innen ist in diesem Sinne zugleich ein inklusiver Ansatz im Zeichen des Prinzips von Universal Public Infrastructures für nachhaltige Wohlfahrtsstaaten (Bohnenberger, 2020). Darüber hinaus muss Österreich bei Verfehlung der Reduktionsziele bis 2030 die Differenz durch den Zukauf von europäischen Emissionszertifikaten (EU-ETS) ausgleichen. Der Österreichische Rechnungshof schätzt die drohenden Zahlungen auf in Summe 4,6 bis 9,2 Mrd. Euro für den Verpflichtungszeitraum 2021 bis 2030 (Rechnungshof Österreich, 2021).

Der Verkehrssektor zählt allerdings nicht zu den durch den europäischen Emissionshandel gedeckten Bereichen. Mithilfe der in Österreich für Oktober 2022 vorgesehenen Einführung eines CO₂-Preises werden CO₂-Emissionen auch in den sogenannten Non-ETS-Sektoren, darunter dem Verkehr, eingepreist. Österreich plant einen Startpreis von 30 Euro pro ausgestoßener Tonne CO₂ mit einer schrittweisen Anhebung auf 55 Euro bis 2025¹ (Köppl et al., 2021). Die CO₂-Bepreisung soll ein wesentliches ökonomisches Instrument zur Reduktion der Treibhausgasemissionen darstellen, um das von der österreichischen Bundesregierung übereinstimmend mit dem Paris Agreement gesetzte Ziel der Klimaneutralität im Jahr 2040 für alle Sektoren zu erreichen (Bundeskanzleramt, 2020). Im Einklang mit diesem Ziel wurde durch das BMK der Mobilitätsmasterplan 2030 ausgearbeitet (BMK, 2021). Darin befindet sich ein Reduktionspfad für die Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors, dessen Umsetzung erheblicher Anstrengungen, darunter umfassende Investitionen in nachhaltige Personenmobilität, bedarf.

B-3.1 Aufriss Problemstellungen im Verkehrssektor in Österreich

Als einer der Hauptemittenten von Treibhausgasen kommt dem Verkehrssektor, zu dem neben den Emissionen des Landverkehrs (auf Straßen und Schienen) auch jene des Schiff- und Flugverkehrs sowie der Transportmittel des Bundesheeres zählen, eine tragende Rolle bei der Umsetzung von Klimastrategien zu (Perl et al., 2021, p. 90). Im historischen Vergleich wird die Relevanz des Verkehrssektors deutlich, bei dem in Österreich seit dem Basisjahr 1990 im Gegensatz zu den Sektoren

¹ Aufgrund des Ukraine-Kriegs und der damit einhergehenden gestiegenen Energiepreise wurde die Einführung des CO₂-Preises zum Stand dieses Endberichts auf Oktober 2022 verschoben

Gebäude, Abfallwirtschaft, Landwirtschaft und Energie & Industrie die Emissionen nicht gesunken, sondern mit rund 24 Mio. emittierten Tonnen CO₂-Äquivalent (CO_{2äq}) um 74,4 Prozent angestiegen sind (Umweltbundesamt Österreich, 2021). Dieser Anstieg ist vor allem begründet in der stark gestiegenen Fahrleistung von Diesel-PKW's und dem Güterverkehr. Die Treibhausgas-Emissionen des Jahres 2019 von Diesel-PKW's entsprechen verglichen mit 1990 einem Anstieg von 576 Prozent, bei schweren Nutzfahrzeugen +128 Prozent. Im Bereich des Straßenverkehrs werden 63 Prozent der THG-Emissionen durch den PKW-Verkehr verursacht (Zechmeister et al., 2021, p. 128). Ein weiterer Aspekt ist der gestiegene Absatz fossiler Kraftstoffe, bei dem auch der Anteil des in Österreich getankten, aber im Ausland verbrauchten Kraftstoffs (Kraftstoffexport) eine Rolle spielt und der die österreichische CO₂-Bilanz beträchtlich beeinflusst. 2020 verursachte der Verkehr in Österreich 20,7 Mio. Tonnen CO_{2äq} (+52 Prozent seit 1990), wobei der Rückgang in Vergleich zum Vorjahr in erster Linie auf die Effekte der Corona-Pandemie in Form eines merklichen Einbruchs der Fahrleistung zurückzuführen ist (Pazdernik et al., 2022, p. 153). 2019 ist daher durchaus repräsentativer als das durch die Pandemie geprägte Jahr 2020.

B-3.2 Derzeitige Struktur der Personenmobilität in Österreich

Die Verteilung der Treibhausgasemissionen demonstriert auch die Relevanz des PKW-Verkehrs in Österreich. Der Modal Split, welcher im Personenverkehr die prozentuellen Anteile der verschiedenen Verkehrsmittel am Transport von Personen beschreibt, zeigt die Bedeutung des motorisierten Individualverkehrs (MIV) in Österreich auf. Gemessen an den gefahrenen Personenkilometern machte dieser 2018 etwa 70 Prozent aus, während 27 Prozent mit öffentlichen Verkehrsmitteln und 3 Prozent in Form von aktiver Mobilität zurückgelegt wurden. 2040 soll der Anteil des motorisierten Individualverkehrs auf 54 Prozent sinken, wohingegen der öffentliche Verkehr (ÖV) auf 40 Prozent und die aktive Mobilität auf 6 Prozent gesteigert werden sollen (BMK, 2021). Bezogen auf die Anzahl der Wege soll der Anteil des MIV von 61 Prozent im Jahr 2018 auf 42 Prozent im Jahr 2040 reduziert werden, während der Anteil des ÖV von 16 auf 23 Prozent, der Radverkehr von 7 auf 13 Prozent und der Fußverkehr von 16 auf 22 Prozent gesteigert werden soll.

Das Mobilitätsverhalten der Personen in Österreich zeigt eine regionale Heterogenität. Die Hauptstadt Wien nimmt dabei eine Sonderstellung ein, in der der Anteil des ÖV an den zurückgelegten Wegen im Vergleich zu den restlichen Regionen des Landes sehr hoch ist. Zwischen 2010 und 2014 sowie 2015 und 2019 lag dieser jeweils bei etwa 38 Prozent. Der Anteil des MIV betrug etwa 28 Prozent, Radverkehr 6 bis 7 Prozent und Fußverkehr etwa 27 Prozent (Heller, 2021). Durch die COVID-19 Krise kam es im Jahr 2020 zu einer starken Veränderung des Mobilitätsverhaltens. Der Anteil des ÖV lag im Jahr 2020 nur noch bei 27 Prozent und im Jahr 2021 bei 30 Prozent. Der MIV Anteil blieb mit 27 Prozent im Jahr 2020 relativ stabil und lag 2021 bei 26 Prozent. Stark dazugewonnen haben aktive Mobilitätsformen. Der Fußverkehr stieg im Jahr 2020 auf 37 Prozent und lag im Jahr 2021 bei 35 Prozent. Der Radverkehr stieg auf 9 Prozent, die auch 2021 gehalten werden konnten (Wiener Linien, 2021, 2022).

Befragung: infas / TRICONSULT
Hochrechnung: Grafik: HERRY
QS: BOKU-IVe / ZIS-P

Anteil an Wegen je Hauptverkehrsmittel (Modal-Split) in [Prozent]

Wochentag:
Jahreszeit:
Kategorien:
Stichprobe:

Werktag
Gesamtjahr
AT, Raumtypen
n=145.384 Wege
österreich
unterwegs
2013/2014

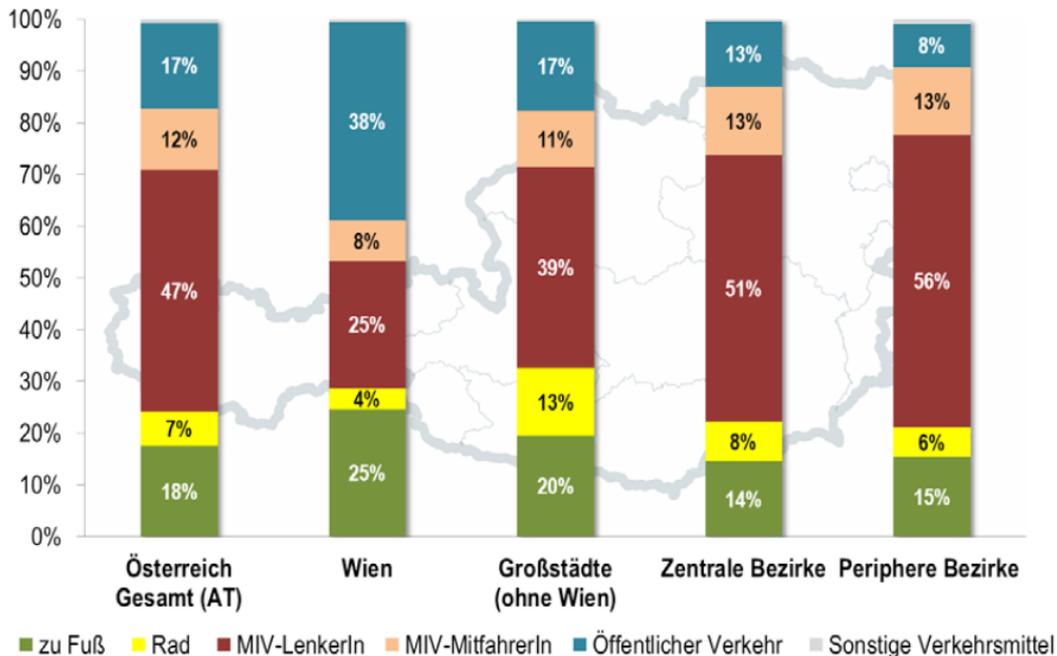


Abb. B-1: Modal Split (Follmer et al., 2016)

Die letzte österreichweite Mobilitätserhebung aus den Jahren 2013/2014 zeigt deutliche Unterschiede zwischen Großstädten, zentralen Bezirken und peripheren Bezirken (siehe [Abb. B-1](#)): Während der Anteil des Umweltverbundes, also ÖV, Rad- und Fußverkehr in Großstädten 50 Prozent ausmacht, liegt er in zentralen Bezirken bei nur 35 Prozent und in peripheren Bezirken gar nur bei 29 Prozent. (Follmer et al., 2016)

Im langjährigen Vergleich zeigt sich, dass immer weitere Wege zurückgelegt werden, während die Anzahl der Wege und die für Mobilität aufgewendete Zeit stabil bleibt. Im Jahr 1995 und im Herbst 2013/14 lag die tägliche Unterwegszeit bei 70 Minuten, die zurückgelegten Tageskilometer stiegen jedoch im österreichweiten Durchschnitt von 28 km auf 34 km an (Follmer et al., 2016). Besonders drastisch ist der Anstieg in peripheren Bezirken, wo die mittlere Tageswegelänge zwischen 1995 und 2013 von 31 km auf 40 km gestiegen ist. Die immer größere Nutzung von PKW und Steigerung der zurückgelegten Kilometer liegt in Wechselwirkung mit der Raumstruktur und geht mit dem Prozess der Zersiedelung einher, die wiederum eine gesteigerte Nutzung von PKW fördert und die Bereitstellung von ÖV erschwert. In einer Analyse der Abdeckung mit ÖV-Güteklassen in Österreich wurde gezeigt, dass bis zu 20 Prozent (an Werktagen in Ferien) der Bevölkerung keinen Zugang zu ÖV haben, der die Mindestkriterien von vier Abfahrten pro Tag an Haltestellen, die maximal 1,25 km vom Wohnort entfernt sind, erfüllt (Shibayama et al., 2022).

B-3.3 Personenmobilität, Klimakrise und soziale Gerechtigkeit

Das Thema der nachhaltigen Personenmobilität könnte auf den ersten Blick voreilig als lediglich technische Aufgabe betrachtet werden, die es zu bewältigen gilt. Hinter bestimmten Mobilitätsformen stecken aber auch tief verankerte Verhaltensmuster und empfundene Rechtsansprüche mancher Verkehrsteilnehmer:innen. Neben der bereits erwähnten Relevanz des Verkehrssektors in Österreich für den Ausstoß großer Mengen an Treibhausgasemissionen ist das derzeitige Verkehrssystem nicht nur klimaschädlich, sondern auch sozial ungerecht. Laut Henricke et al. (2021) lebt das auf Automobilität aufgebaute Verkehrssystem vom Ausschluss mancher Verkehrsteilnehmer:innen, die

selbst kein Auto besitzen und der Abwälzung der negativen Effekte auf eben diese, etwa durch Abgase und Lärm, die in dichter besiedelten Gebieten eine noch größere Wirkung entfalten und meist nicht nur die Verursacher:innen direkt treffen. Das ökonomische Konzept der externen Kosten lässt diese Ungleichheiten unberücksichtigt. Es ist allerdings ein relevantes Konzept mit vereinbartem Methodenverständnis, das auch von Henricke et al. genutzt wird, um Handlungsempfehlungen aussprechen zu können (Henricke et al., 2021). Darüber hinaus zielt der hier verwendete Maßnahmenmix für die Dekarbonisierung der Personenmobilität bis 2040 auf eine gleichere Teilhabe an Mobilität ab, etwa durch den Ausbau und die Zugänglichkeit von öffentlichen Verkehrsmitteln und die Attraktivierung des Radverkehrs.

Das Thema steht also in direktem Zusammenhang mit der Erreichung der Ziele des Pariser Klimaabkommens von 2015 und weist Überschneidungen mit den SDGs 3, 10, 11 und 13 (Good Health & Well-being, Reduced Inequalities, Sustainable Cities & Communities und Climate Actions) auf. Es knüpft zudem konzeptionell an ein vergangenes Projekt StartClim2020.G („Homo sanus in caeli sano – Ein gesunder Mensch in einem gesunden Klima“. Potenzielle Synergien zwischen Gesundheitspolitik und Klimapolitik (HICS)) an, bei dem ebenso eine Verknüpfung der Aspekte der Klima- und Gesundheitspolitik angestrebt wurde.

B-3.4 Projektziele und innovatives Potenzial

B-3.4.1 Projektziele

Aus der Dringlichkeit der Problemstellung ergibt sich die Frage, welche Investitionen in nachhaltige Personenmobilität den höchsten gesellschaftlichen Nutzen generieren und daher Priorität erhalten sollten. Ziel des Projekts ist daher, (1) die Machbarkeit der Verknüpfung einer gesellschaftlichen Kosten-Nutzen-Analyse (KNA) mit dem Flächennutzungs- und Verkehrsmodell MARS (Metropolitan Activity Relocation Simulator) zu eruieren, da dieses Modell den österreichischen Personenverkehr abbildet und somit als Grundlage für eine Simulation der Veränderung in der Personenmobilität dient. Die implementierten Maßnahmen, welche in MARS im Rahmen eines Backcasting-Ansatzes zu der gewünschten Veränderung führen, sollen mit den dafür notwendigen Investitionen quantifiziert werden. Das MARS-Modell soll weiters mit den Treibhausgasemissionen verknüpft werden, um die Berechnung der externen Kosten zu ermöglichen. Die Einsparung der externen Kosten auf Basis der veränderten Personenmobilität soll im Zuge des Projekts quantifiziert werden. Betrachtet werden unter anderem externe Kosten für Luftschadstoffe, Lärmemissionen, Klimafolgeschäden, Unfallkosten und Staukosten. Weiters war eine Differenzierung nach dem städtischen und ländlichen Raum angedacht, um die Verteilung von Kosten und Nutzen besser zuordnen zu können und eventuell größere Potenziale in einem der beiden Bereiche aufzeigen zu können. Ausgehend vom Status quo der Personenmobilität im Basisjahr 2022 soll dann (2) ein bereits vorhandenes Szenario für die Dekarbonisierung des österreichischen Verkehrssektors bis 2040 als Test für die Qualität der Verknüpfung der KNA mit dem MARS Modell herangezogen werden. Anschließend daran werden (3) Handlungsempfehlungen für Entscheidungsträger:innen für einen kostenoptimalen Reduktionspfad im österreichischen Verkehrssektor abgeleitet, um die Erreichung der Dekarbonisierung des Verkehrssektors voranzutreiben.

B-3.4.2 Innovatives Potenzial der Studie

Ambitionen zur Bekämpfung des Klimawandels werden häufig mit grundlegenden Einschnitten in einen erworbenen Lebensstandard verbunden und dadurch als Verzicht interpretiert. Durch die Sichtbarmachung mittels Quantifizierung der zumeist unberücksichtigt bleibenden negativen externen Kosten der fossilen Personenmobilität und der Verknüpfung dieses Kostenansatzes mit dem vorhandenen Verkehrsmodell MARS wird eine gesamtheitlichere Betrachtungsweise angestrebt, die

auch als Grundlage für zukünftige Szenarien-Berechnungen dienen kann. Diese Verknüpfung soll den gesellschaftlichen Nutzen von unterschiedlichen Investitionen in nachhaltigere Personenmobilität aufzeigen und dient als Basis für Handlungsempfehlungen für Klima- und Gesundheitspolitik. Der Ansatz ermöglicht es, unterschiedliche Szenarien und Stellschrauben für Maßnahmen und Investitionen in nachhaltige Personenmobilität zu testen. Darüber hinaus ist eine Analyse der Verteilung der externen Kostenfaktoren möglich, um zu identifizieren, welche Kostenpositionen die größte Rolle spielen. Bei einer erfolgreichen Verknüpfung des Modells mit den Multiplikationsfaktoren für externe Kosten könnte diese Schnittstelle als Erweiterung in das bestehende Modell integriert werden, um bei zukünftigen Simulationen die externen Kosten mitbedenken zu können.

B-4 Daten und Methode

Der Kern des Projektes KNAP liegt in der interdisziplinären Zusammenarbeit der Projektpartner:innen und in dem Versuch, das Verkehrsmodell MARS der TU Wien mit einer ökonomischen Betrachtung der Investitionen in nachhaltige Personenmobilität zu verknüpfen. Im Folgenden wird das Modell näher erläutert, ebenso wie die Methode und die Datenbasis für die ökonomische Bewertung.

B-4.1 MARS Modell

Als Basis für die Berechnung von unterschiedlichen Szenarien für Investitionen und Kosteneinsparungen in und durch nachhaltigere Personenmobilität dient das strategische Land Use Transport Interaction Modell MARS (Metropolitan Activity Relocation Simulator) des Instituts für Verkehrswissenschaften der TU Wien (Pfaffenbichler, 2011; Pfaffenbichler et al., 2010). Mit dem MARS-UBA wurde eine Version des Modells entwickelt, das mit der Schnittstelle zum Modell NEMO² der TU Graz bereits mehrmals zur Berechnung von Energieszenarien im Auftrag des Umweltbundesamts eingesetzt wurde (Pfaffenbichler, 2018).

Das MARS Modell basiert auf den Prinzipien der System Dynamics und der Annahme, dass Siedlungen und die Aktivitäten in ihnen selbstorganisierende Systeme sind. Das Verkehrsmodell berücksichtigt die drei Stufen Verkehrserzeugung (Anzahl an Wegen), Verkehrsverteilung (Quell-Ziel-Matrizen) und Verkehrsaufteilung (Aufteilung auf Verkehrsmittel). Die Verkehrserzeugung basiert auf der Annahme des konstanten Reisezeitbudgets. Verkehrsverteilung und -aufteilung wird in einem gemeinsamen Schritt mittels Gravitationsmodell berechnet. Die vierte Stufe der Verkehrsumlegung (entspricht der Routenwahl) wird aufgrund des hohen Detailgrades nicht in MARS abgebildet. Das MARS-UBA Modell enthält 120 Zonen, welche die politischen Bezirke in Österreich repräsentieren. Die verfügbaren Verkehrsmodi sind zu Fuß gehen, Radfahren, ÖV und MIV. Eine genaue Beschreibung des Modells findet sich in Pfaffenbichler (2003), Emberger et al. (2010) und Pfaffenbichler et al. (2010).

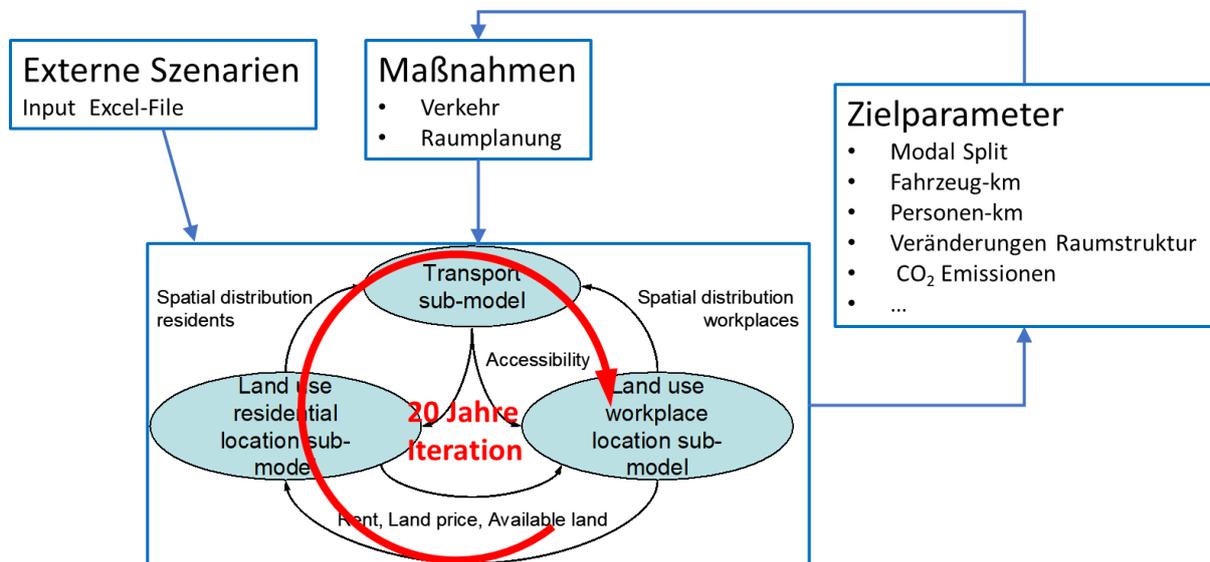


Abb. B-2: Typisches Setup des MARS-Modells

Abb. B-2: zeigt ein typisches Setup des MARS-Modells. Als Land Use Interaction Model werden nicht nur die Verkehrssysteme berücksichtigt, sondern auch die langfristigen Entwicklungen der Siedlungsentwicklung in Wechselwirkung mit dem Verkehrssystem abgebildet. Das Modell wurde in

² <https://www.itna.tugraz.at/en/research/areas/em/simulation/nemo.html>

der Software Vensim implementiert, mit der die Simulationen für das Projekt Transition 2040 durchgeführt wurden.

Im Zuge von projektinternen Workshops wurden die Möglichkeiten der Verknüpfung des Modells mit der KNA erarbeitet. Das bereits vorhandene Dekarbonisierungsszenario 2040 gemäß (Angelini et al., forthcoming) diente als Basis für die Quantifizierung. Dabei wurde in einem Backcasting³-Ansatz jene Maßnahmen definiert, mit denen es gelingen soll, das Ziel der Klimaneutralität im Bereich des Personenverkehrs im Jahr 2040 gemäß Regierungsabkommen (Bundeskanzleramt, 2020) zu erreichen. Diese Maßnahmen fungierten als Basis für die Quantifizierung der notwendigen Investitionen. Als Basisjahr und Ausgangspunkt für die veränderten Personenkilometer wurde das aktuelle Jahr 2022 gewählt. Als Output generiert das MARS Modell unter anderem Personenkilometer je Verkehrsmittel (PKW-Kilometer, siehe [Abb. B-3](#): und [Abb. B-4](#):). Diese Werte bilden die Grundlage zur Berechnung der Nutzen-Seite, da durch die Maßnahmen eine Reduktion der PKW-Kilometer erwirkt wird und somit auch eine Reduktion der damit einhergehenden Emissionen, Unfälle etc. und auf der anderen Seite eine Erhöhung der Personenkilometer im Rad- und Fußverkehr mit positiven gesundheitlichen Wirkungen.

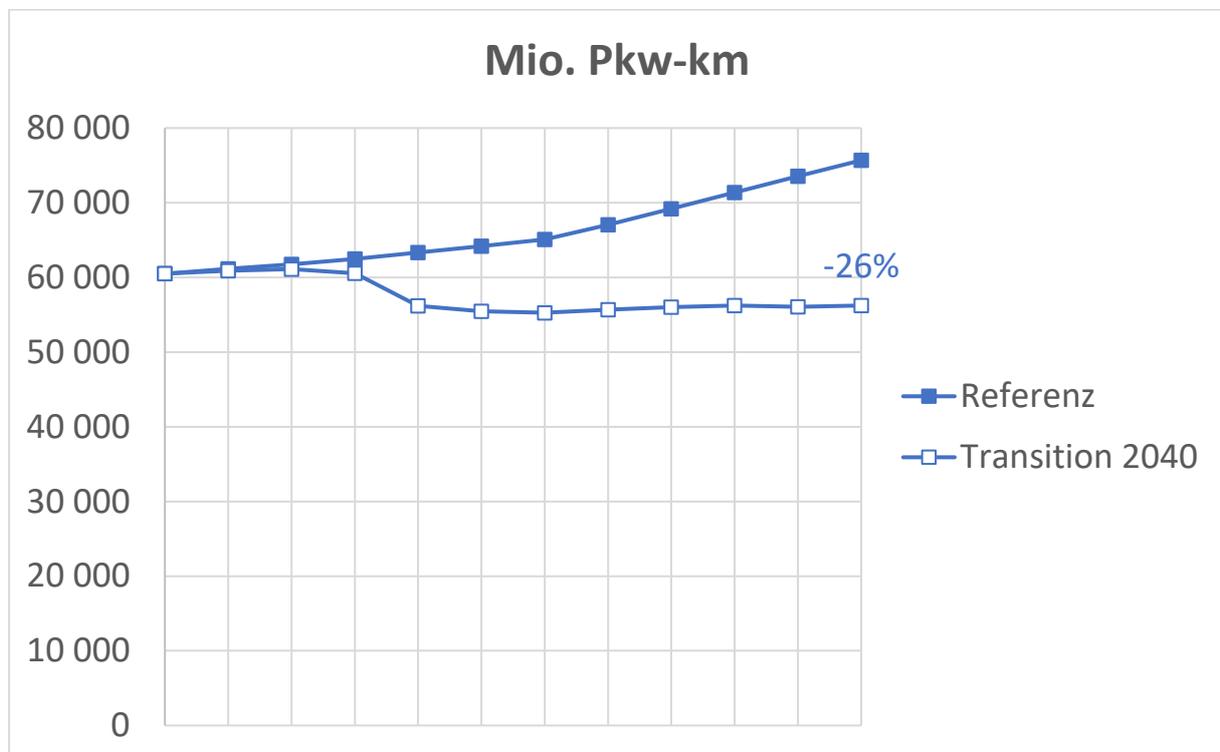


Abb. B-3: Entwicklung der Pkw-Kilometer im Szenario "Referenz" (Business as usual) und Szenario "Transition 2040" für die Modelllaufzeit von 2018-2040 (Angelini et al., forthcoming)

³ Backcasting (im Gegensatz zu Forecasting) bezeichnet eine Vorgehensweise, bei der ein Ziel in der Zukunft definiert wird und rückblickend untersucht wird, welche Schritte für die Zielerreichung notwendig sind.

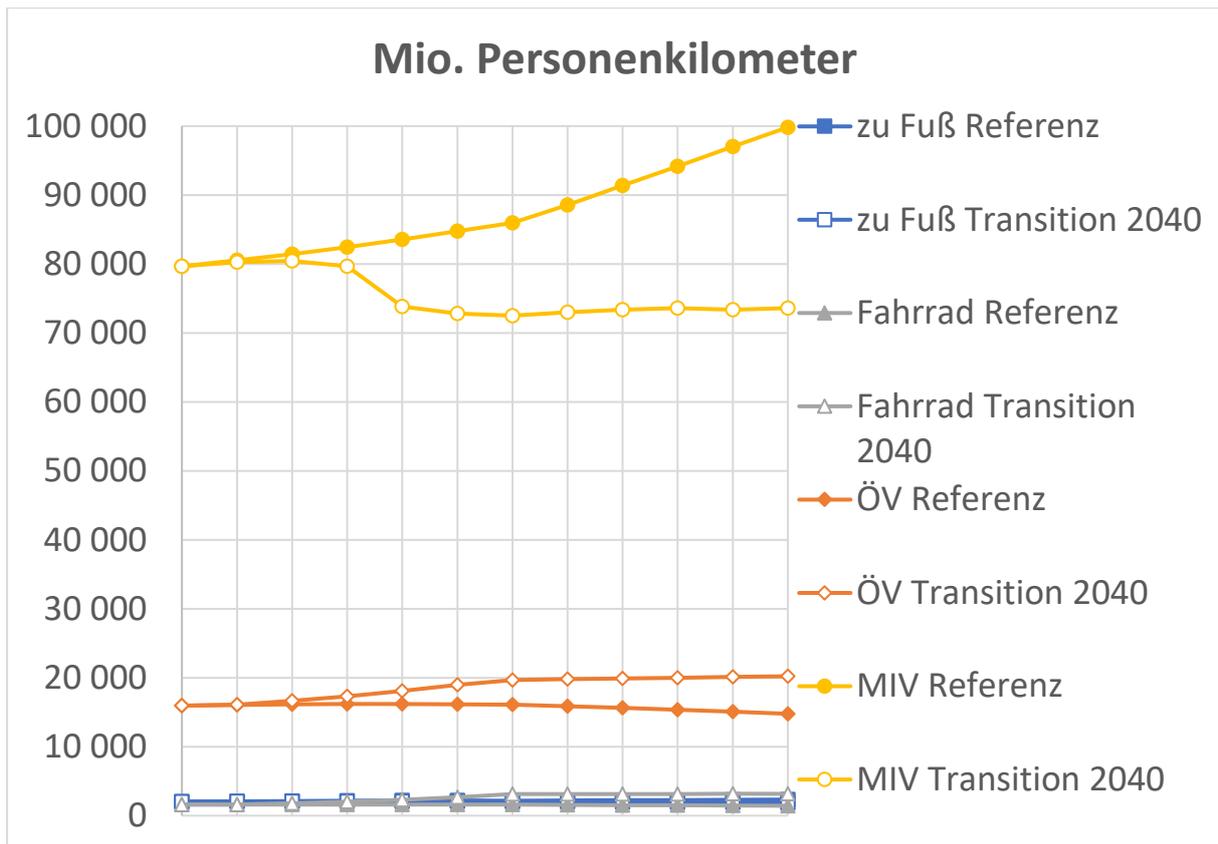


Abb. B-4: Entwicklung der Personenkilometer je Verkehrsmittel für die Szenarien "Referenz" und "Transition 2040" für die Modelllaufzeit von 2018-2040 (Angelini et al., forthcoming)

Der folgende Maßnahmenmix wurde durch den Backcasting-Ansatz in MARS definiert:

- Radverkehr
 - Steigerung der Attraktivität des Radverkehrs bis 2030 um 50 Prozent
- Öffentlicher Verkehr (ÖV)
 - Tarifanpassung: Reduktion ÖV Fahrpreis bis 2030 um 50 Prozent
 - Frequenzanpassung: Reduktion des durchschnittlichen ÖV-Intervalls bis 2030 um 25 Prozent
 - Haltestellendichte anpassen: Erhöhung der ÖV-Haltestellendichte bis 2030 um 25 Prozent
- PKW/Motorrad
 - Maut: Einführung fahrleistungsabhängige Maut bis 2040 schrittweise erhöht auf 0,5 €/km
 - Tempolimit: Tempolimit 100/80/30 ab 2025
 - Besetzungsgrad: Anstieg des Besetzungsgrades von derzeit 1,15 auf 1,29 bis 2040
- Andere
 - Flächennutzungsszenarien: Verdichtung bei Neubauten
 - E-PKW: 2025 sind 55 Prozent der Neuzulassungen von PKWs emissionsfrei, ab 2027 100 Prozent

Im Zuge des KNAP Projekts wurden ergänzende Modellläufe durchgeführt, um die Wirkung der ÖV-Maßnahmen auf der Nutzenseite für zusätzlich verkaufte ÖV-Tickets abzuschätzen. Dazu wurden Modellläufe durchgeführt, die im Vergleich zum "Business as usual" nur die Maßnahmen der Tarifierpassung im ÖV sowie der Frequenzanpassung im ÖV, jeweils einzeln und gemeinsam beinhalten. Die daraus resultierenden jährlichen Personenkilometer im ÖV wurden als Basis für den Nutzen aus zusätzlichen Ticketverkäufen herangezogen.

B-4.2 Kosten-Nutzen-Analyse

Die Kosten-Nutzen-Analyse (KNA) stellt einen analytischen Ansatz zur Bewertung von Investitionen und den dazugehörigen Nutzenänderungen dar. Ziel einer KNA ist es, den möglichst effizienten Einsatz von finanziellen Mitteln aufzuzeigen, indem den Kosten von unterschiedlichen Investitionsalternativen ihr Nutzen für die Gesellschaft gegenübergestellt wird. Als methodischer Leitfaden zur Durchführung der KNA diente der „Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects. Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020“ der Europäischen Kommission (2015), der als grober Rahmen fungierte, welcher an die Bedürfnisse des Forschungsprojektes angepasst wurde. Als Preisbasis wurde das Jahr 2021 mit konstanten Preisen herangezogen. Die konstanten Preise sollen eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleisten, da die Inflation 2022 eine verzerrende Wirkung hat, die hier nicht Gegenstand der Maßnahmenanalyse ist.

Auf der Kostenseite der KNA wurden die notwendigen Investitionen für den implementierten Maßnahmenmix des Dekarbonisierungsszenarios 2040 basierend auf einer Literaturrecherche abgeschätzt und quantifiziert. Dazu zählen Investitionen in die Attraktivierung des Radverkehrs, Subventionen des öffentlichen Verkehrs durch vergünstigte Ticketpreise, erhöhte Intervalle und verdichtete Haltestellen, sowie zwei Imagekampagnen zur Erhöhung des durchschnittlichen Besetzungsgrades von PKWs. Für die Abschätzung der Kosten zur Attraktivierung des Radverkehrs wurde eine aktuelle Studie zum Investitionsbedarf des Radverkehrs in Österreich als Grundlage für die Berechnung herangezogen (PLANOPTIMO Büro Dr. Köll ZT-GmbH & Verracon GmbH, 2022). Für die Ticketsubventionen wurden die zuletzt verfügbaren Einnahmen der größten österreichischen Verkehrsbetriebe⁴ als Basis für die Berechnung des Subventionierungsbedarfs abzüglich der Mehreinnahmen durch erhöhtes Fahrgastaufkommen verwendet. Für die Ticketeinnahmen wurde neben öffentlich zugänglichen Quellen auch auf Auskünfte einzelner Verkehrsbetriebe per E-Mail zurückgegriffen. Die Kostenabschätzung für die Intervallverdichtung fokussiert sich auf den Busverkehr, da die Annahme getroffen wurde, dass eine bessere Anbindung vorwiegend im ländlichen Raum notwendig ist und dies am raschesten und kosteneffizientesten über den Busverkehr erreicht werden kann. Da der Öffentliche Verkehr im MARS Modell keine Trennung nach Bus und Bahn enthält, wurde der theoretische Anteil der Bahn am ÖV durch die Verdichtung der Intervalle im Busverkehr kompensiert. Die Auskunft einer VOR-Mitarbeiterin (Verkehrsverbund Ost-Region (VOR), personal communication, April 29, 2022) zu den Betriebskosten pro gefahrenem Buskilometer diente als Basis für die Berechnung der zusätzlichen Kosten durch das Mehr an gefahrenen Buskilometern. Zur Abschätzung der Kosten der Haltestellendichte wurden analog zusätzliche Bushaltestellen betrachtet, die ebenso für die Bahn kompensieren sollen, und auf Basis von Factsheets der unterschiedlichen Verkehrsunternehmen und den Angaben zu vorhandenen Bushaltestellen die Kosten für eine prozentuale Erhöhung der Bushaltestellen auf Basis der Einschätzung von VOR berechnet (Verkehrsverbund Ost-Region (VOR), personal communication, April 29, 2022). Als Orientierung für die Abschätzung der Kosten einer Imagekampagne zur Erhöhung des Besetzungsgrades dienten in der Vergangenheit bereits durchgeführte Kampagnen und deren reale Kosten (z.B. Riebler, 2019). Die Investitionskosten für den Maßnahmenmix setzen sich unter anderem einerseits aus einmaligen Kosten,

⁴ Dazu zählen die Österreichischen Bundesbahnen, der Verkehrsverbund Ost-Region, die Österreichische Postbus AG, die Wiener Linien und die Verkehrsverbände Tirol, Vorarlberg, Oberösterreich, Steiermark, Salzburg und Kärnten.

z.B. für den Bau neuer Infrastruktur, und andererseits aus Subventionen für Verkehrsbetriebe und zusätzlichen Betriebskosten für die Frequenzerhöhung des ÖV zusammen. Die Investitionskosten sind in allen drei betrachteten Szenarien gleich, da sie als für die Erreichung des Dekarbonisierungsszenarios 2040 notwendig angesehen werden.

Auf der Nutzenseite der Analyse wurden eingesparte Kosten durch vermiedene negative externe Kosten berücksichtigt. Der Ansatz der Quantifizierung von externen Kosten ist zwar nur der Versuch einer Annäherung an die realen Schäden die durch das Verkehrsaufkommen entstehen, wird aber dennoch vor allem im politischen Bereich und der Planung als sehr relevant erachtet (Hennicke et al., 2021). Dabei wurden Luftverschmutzungskosten, Klimafolgeschäden, Unfallkosten, Lärmkosten, Staukosten, Well-to-tank Emissionen und Gesundheitseffekte betrachtet. Für die Berechnung wurden zwei Methoden Guides und ein kürzlich veröffentlichtes Paper herangezogen, im Speziellen (1) die Quantifizierungen der durchschnittlichen externen Kosten des Verkehrs in der EU nach dem „Handbook on the external costs of transport“ der Europäischen Kommission (2019), (2) den Kostensätzen der „Methodenkonvention 3.1 zur Ermittlung von Umweltkosten“ des Umweltbundesamtes Deutschland (Matthey & Bünger, 2020), und (3) die Quantifizierung der Gesundheitseffekte von aktiver Mobilität im Paper zu "The Social Cost of Automobility, Cycling and Walking in the EU" von Gössling et al. (2019). Die verwendeten Multiplikationsfaktoren, angepasst an das Jahr 2021 auf Basis der Inflationsdaten der Statistik Austria (2022), sind in **Tab. B-1** dargestellt. Darüber hinaus wurden die vermiedenen Zahlungen für Emissionszertifikate bei Nicht-Erreichung der Reduktionsziele bis 2030 berücksichtigt (Rechnungshof Österreich, 2021), die in allen drei Szenarien als Nutzen inkludiert sind. Ausgehend vom Anteil des Sektors Verkehr an den Treibhausgasemissionen Österreichs im Jahr 2019 mit 28,2 Prozent (Umweltbundesamt (U), n.d.) wurde der Anteil der Personenmobilität an den Verkehrsemissionen mit 63,04 Prozent (Statista, 2022) verwendet, um die resultierenden 17,78 Prozent des Sektors Personenmobilität an den vermiedenen Emissionszertifikaten, wenn die Ziele im Jahr 2030 erreicht werden würden, zu berechnen. Nicht in die Berechnungen inkludiert wurden positive ökonomische Effekte in Form von Wertschöpfung, gesicherter Beschäftigung, Steuern und Abgaben, die durch die getätigten Investitionen (Umsetzung des Maßnahmenmixes) entstehen.

Tab. B-1: Multiplikationsfaktoren der externen Kosten nach Kostenkategorien, eigene Darstellung IHS (2022)

Kostenkategorie	Multiplikationsfaktor	Einheit	Basis
Luftverschmutzungskosten			
PKW, Benzin	0,36	(€-cent ₂₀₂₁ /pkm)	(European Commission, 2019); Statistik Austria, 2022
PKW, Diesel	1,30	(€-cent ₂₀₂₁ /pkm)	(European Commission, 2019); (Statistik Austria, 2022)
Motorrad	1,23	(€-cent ₂₀₂₁ /pkm)	(European Commission, 2019); (Statistik Austria, 2022)
Bus, Durchschnitt	0,82	(€-cent ₂₀₂₁ /pkm)	(European Commission, 2019); (Statistik Austria, 2022)

Zug, Durchschnitt	0,30	(€-cent ₂₀₂₁ /pkm)	(European Commission, 2019); (Statistik Austria, 2022)
Klimafolgeschäden			
1% Soziale Diskontrate ⁵	204,57	(€ ₂₀₂₁ / t CO _{2äq})	(Matthey & Bünger, 2020); (Statistik Austria, 2022)
0% Soziale Diskontrate	702,95	(€ ₂₀₂₁ / t CO _{2äq})	(Matthey & Bünger, 2020); (Statistik Austria, 2022)
Unfallkosten			
PKW	4,96	(€-cent ₂₀₂₁ /pkm)	(European Commission, 2019); (Statistik Austria, 2022)
Motorrad	13,99	(€-cent ₂₀₂₁ /pkm)	(European Commission, 2019); (Statistik Austria, 2022)
Bus	1,10	(€-cent ₂₀₂₁ /pkm)	(European Commission, 2019); (Statistik Austria, 2022)
Zug, Durchschnitt	0,33	(€-cent ₂₀₂₁ /pkm)	(European Commission, 2019); (Statistik Austria, 2022)
Lärmkosten			
PKW, Benzin	0,55	(€-cent ₂₀₂₁ /pkm)	(European Commission, 2019); (Statistik Austria, 2022)
PKW, Diesel	0,66	(€-cent ₂₀₂₁ /pkm)	(European Commission, 2019); (Statistik Austria, 2022)
Motorrad	9,92	(€-cent ₂₀₂₁ /pkm)	(European Commission, 2019); (Statistik Austria, 2022)
Bus, Durchschnitt	0,33	(€-cent ₂₀₂₁ /pkm)	(European Commission, 2019); (Statistik Austria, 2022)

⁵ Bei einer sozialen Diskontrate von 1 Prozent werden die entstehenden Klimafolgeschäden pro Jahr um ein Prozent weniger stark gewichtet. Bei einer Rate von 0 Prozent werden die Schäden für zukünftige Generationen als gleich stark gewichtet wie für die gegenwärtige. Das Umweltbundesamt Deutschland verwendet den Begriff "Reine Zeitpräferenzrate" (Matthey & Bünger, 2020).

Zug, Durchschnitt	0,92	(€-cent ₂₀₂₁ /pkm)	(European Commission, 2019); (Statistik Austria, 2022)
Staukosten (Delay)			
PKW, Durchschnitt	4,63	(€-cent ₂₀₂₁ /pkm)	(European Commission, 2019); (Statistik Austria, 2022)
Bus, Durchschnitt	1,10	(€-cent ₂₀₂₁ /pkm)	(European Commission, 2019); (Statistik Austria, 2022)
Well-to-tank Emissionen			
PKW, Benzin	0,44	(€-cent ₂₀₂₁ /pkm)	(European Commission, 2019); (Statistik Austria, 2022)
PKW, Diesel	0,41	(€-cent ₂₀₂₁ /pkm)	(European Commission, 2019); (Statistik Austria, 2022)
Motorrad	0,56	(€-cent ₂₀₂₁ /pkm)	(European Commission, 2019); (Statistik Austria, 2022)
Bus, Durchschnitt	0,18	(€-cent ₂₀₂₁ /pkm)	(European Commission, 2019); (Statistik Austria, 2022)
Zug, Durchschnitt	0,44	(€-cent ₂₀₂₁ /pkm)	(European Commission, 2019); (Statistik Austria, 2022)
Gesundheitseffekte			
Positive Gesundheitseffekte			
Radfahren	-0,21	(€ ₂₀₂₁ /pkm)	(Gössling et al., 2019); (Statistik Austria, 2022)
Zu Fuß gehen	-0,42	(€ ₂₀₂₁ /pkm)	(Gössling et al., 2019); (Statistik Austria, 2022)
Verlängertes Leben ⁶			
Radfahren	0,01	(€ ₂₀₂₁ /pkm)	(Gössling et al., 2019); (Statistik Austria, 2022)

⁶ Das positive Vorzeichen für Radfahren und Zu Fuß Gehen erscheint auf den ersten Blick nicht intuitiv, da es um Gesundheitseffekte geht. Das Vorzeichen in dieser Kategorie (im Gegensatz zu den positiven Gesundheitseffekten mit negativem Vorzeichen) ist vermutlich ein Resultat von verkürzten Leben aufgrund von Unfällen und Verletzungen, die im Zusammenhang mit Radfahren und Zu Fuß Gehen stehen.

Zu Fuß gehen	0,02	(€ ₂₀₂₁ /pkm)	(Gössling et al., 2019); (Statistik Austria, 2022)
--------------	------	--------------------------	---

B-5 Ergebnisse

In den folgenden Kapiteln werden die Ergebnisse der Quantifizierung der Investitionskosten, der externen Kosten und der Verknüpfung der Kosten-Nutzen-Analyse (KNA) mit dem MARS-Modell dargestellt. Im Anschluss wird die durchgeführte Sensitivitätsanalyse beschrieben, bei der neben der Basis-Analyse (Medium Case) auch ein Worst Case und ein Best Case betrachtet wurden.

B-5.1 Kosten des Maßnahmenmix der Personenmobilität gemäß Dekarbonisierungsszenario 2040

Die Kosten für den Maßnahmenmix zur Erreichung der Ziele des Dekarbonisierungsszenarios 2040 liegen bei etwa 50,2 Mrd. Euro und sind in den drei Szenarien 1A, 1B und 2 ident, da sich die Maßnahmen nicht unterscheiden. Den größten Kostenpunkt der Investitionskosten stellt der Subventionierungsbedarf der Verkehrsunternehmen durch die vergünstigten Ticketpreise mit etwa 30,6 Mrd. Euro kumuliert über den gesamten 2022 bis 2040 dar (61 Prozent der gesamten Investitionskosten). Diese Schätzung setzt sich aus den zuletzt verfügbaren Einnahmen der größten Verkehrsbetriebe in Österreich zusammen und projiziert eine lineare Reduktion der Ticketpreise auf 50 Prozent der ursprünglichen Ticketpreise bis zum Jahr 2030. Das bedeutet, dass zwischen 2030 und 2040 Tickets für den öffentlichen Verkehr nur noch die Hälfte des Ausgangspreises kosten. In der Berechnung wurde angenommen, dass der Einnahmenverlust durch die vergünstigten Tickets über den gesamten Zeitraum für die Verkehrsbetriebe durch Subventionen ausgeglichen wird, die nur minimal durch die gesteigerten Ticketeinnahmen auf Basis der günstigeren Tarife vermindert werden. Auch die Frequenzanpassung des öffentlichen Verkehrs stellt einen großen Kostenpunkt dar mit kumulierten Investitionskosten von etwa 12,9 Mrd. Euro (26 Prozent der gesamten Investitionskosten). Die notwendigen Investitionen in die Attraktivierung des Radverkehrs fallen mit etwa 6,2 Mrd. Euro kumuliert über den gesamten Betrachtungszeitraum deutlich geringer aus (12 Prozent der gesamten Investitionskosten). Die Anpassung der Haltestellendichte im öffentlichen Verkehr wird mit Investitionskosten in Höhe von fast 400 Mio. Euro beziffert und stellt einen deutlich geringeren Kostenpunkt dar (1 Prozent der gesamten Investitionskosten). Die Imagekampagnen zur Erhöhung des PKW-Besetzungsgrades fallen mit geschätzten Investitionskosten in der Höhe von 4 Mio. Euro kaum ins Gewicht. Die Höhe der Investitionskosten der unterschiedlichen Maßnahmen ist in [Abb. B-5](#) genauer dargestellt, die prozentuale Aufteilung auf die unterschiedlichen Kostenpunkte in [Abb. B-6](#). Die Entwicklung der Investitionskosten für das Dekarbonisierungsszenario 2040 über den Betrachtungszeitraum von 2022 bis 2040 ist in [Abb. B-7](#) grafisch dargestellt.

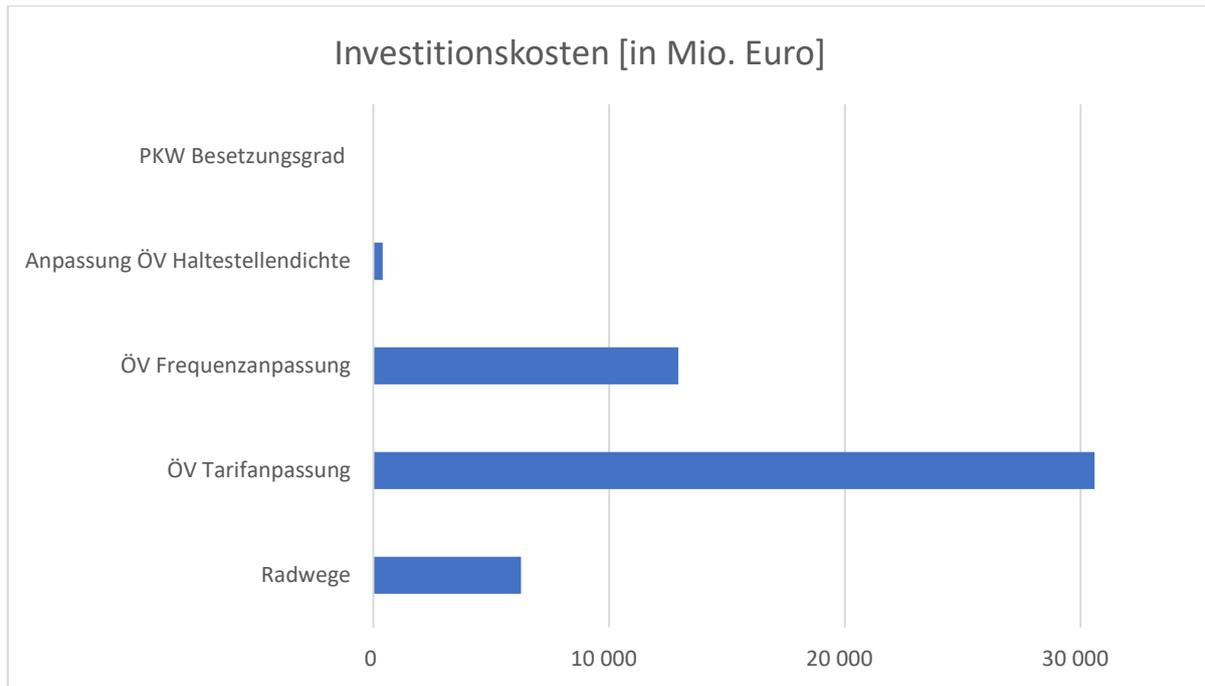


Abb. B-5: Investitionskosten der Maßnahmen für das Dekarbonisierungsszenario 2040, in Mio. Euro, eigene Darstellung (IHS)

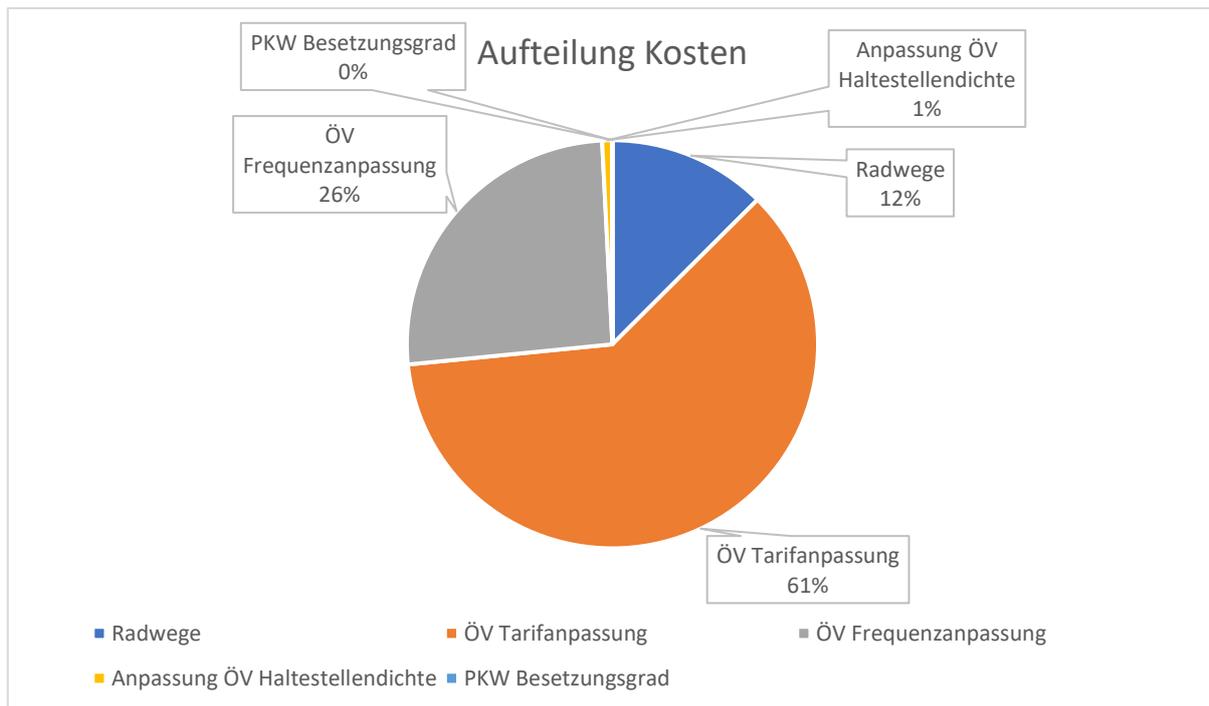


Abb. B-6: Verteilung der Kosten des Maßnahmenmixes für das Dekarbonisierungsszenario 2040, kumuliert über den gesamten Betrachtungszeitraum 2022 bis 2040, eigene Darstellung (IHS)

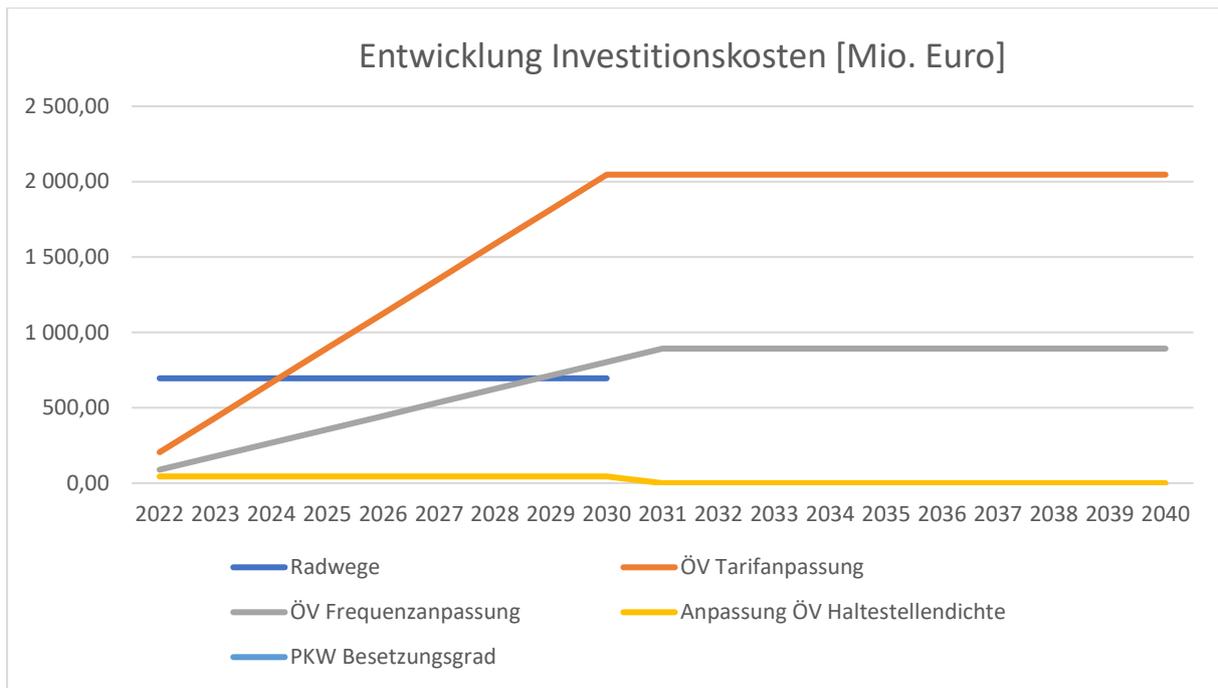


Abb. B-7: Entwicklung der Investitionskosten für das Dekarbonisierungsszenario 2040 über den Betrachtungszeitraum 2022 bis 2040, in Mio. Euro, eigene Darstellung (IHS)

B-5.2 Nutzen durch externe Kosten in den Szenarien

Die Höhe und Anteile der externen Kosten unterscheiden sich zwischen den Szenarien 1A und 1B nur durch die unterschiedliche soziale Diskontrate (social discount rate) für die Bewertung von Klimafolgeschäden, wobei Szenario 1A mit einer 1 Prozent und 1B mit einer 0 Prozent sozialen Diskontrate rechnet. Im Szenario 2 werden keine externen Kosten berücksichtigt. Den größten Kostenpunkt und daher Nutzen bringt die Vermeidung von Unfällen durch die reduzierten Personenkilometer im motorisierten Individualverkehr in Höhe von 16,7 Mrd. Euro. Im Szenario 1B folgen die vermiedenen Klimafolgeschäden als zweitgrößte Einsparung in Höhe von 14,7 Mrd. Euro. Im Szenario 1A betragen die Kosteneinsparungen durch vermiedene Klimafolgeschäden nur etwa 4,6 Mrd. Euro aufgrund der niedrigeren Gewichtung von zukünftigen Klimafolgeschäden bedingt durch die soziale Diskontrate von 1 Prozent. Auch die vermiedenen Staukosten spielen eine große Rolle mit etwa 10,5 Mrd. Euro. Die vermiedenen Lärmkosten tragen zum Nutzen der veränderten Personenmobilität in der Höhe von 3,8 Mrd. Euro bei, gefolgt von positiven Gesundheitseffekten durch aktive Mobilität mit 3,0 Mrd. Euro. Den geringsten Nutzen bringen die Vermeidung von Luftverschmutzungskosten mit Einsparungen in der Höhe von etwa 2,1 Mrd. Euro und die Well-to-tank-Emissionen mit 938,6 Mio. Euro. Die eingesparten externen Kosten sind in [Abb. B-8](#) grafisch dargestellt. Die Verteilung der externen Kosten auf die unterschiedlichen Kostenpunkte für die Szenarien 1A und 1B ist in [Abb. B-9](#) und [Abb. B-10](#) zu sehen.

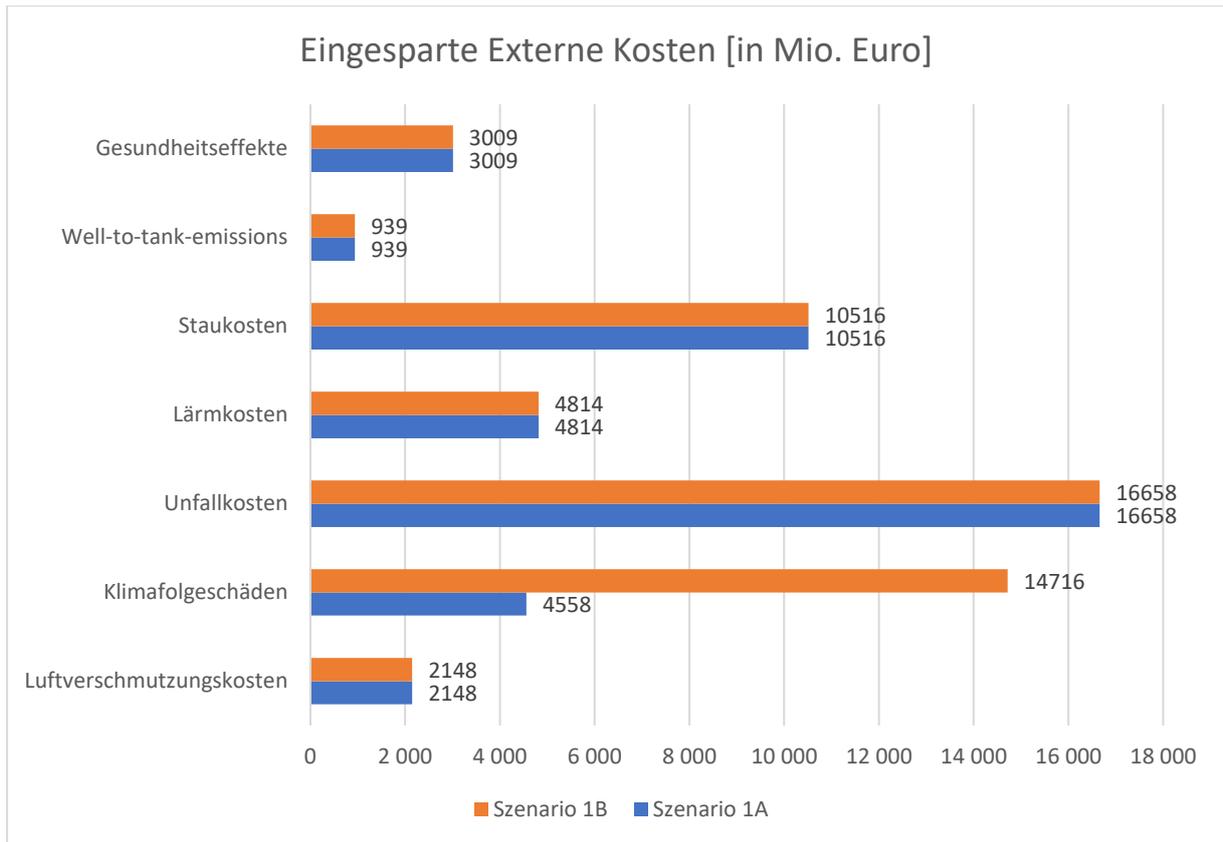


Abb. B-8: Eingesparte externe Kosten, in Mio. Euro, Gegenüberstellung von Szenarien 1A und 1B, eigene Darstellung (IHS)

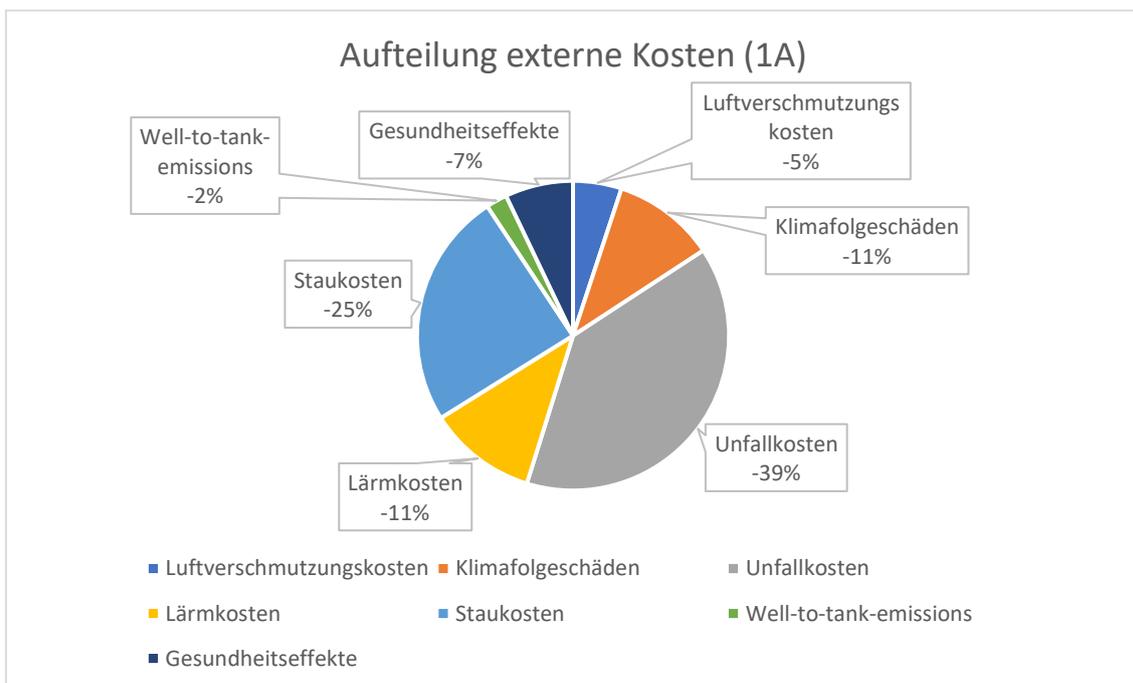


Abb. B-9: Aufteilung der externen Kosten im Szenario 1A, eigene Darstellung (IHS)

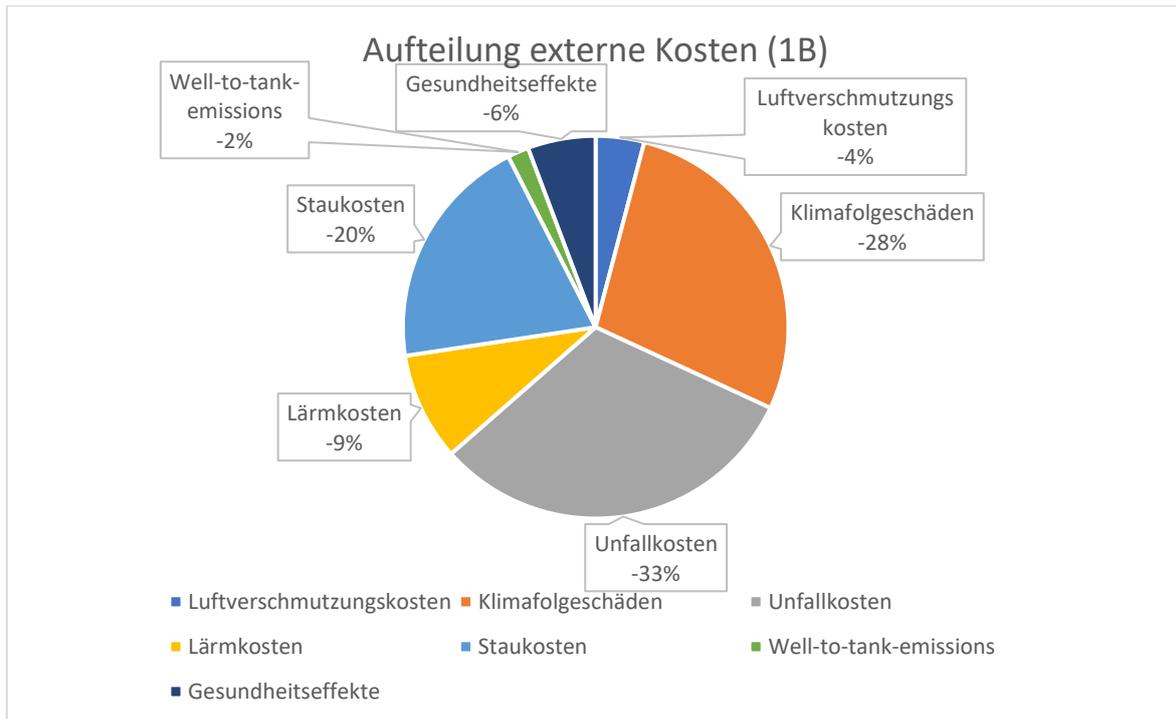


Abb. B-10: Aufteilung der externen Kosten im Szenario 1B, eigene Darstellung (IHS)

Die ursprünglich angedachte getrennte Betrachtung der externen Kosten nach Stadt und Land konnte mit der Verknüpfung des MARS Modells und den Multiplikationsfaktoren nicht durchgeführt werden, da die Output-Variablen von MARS nicht direkt mit den spezifischeren Multiplikationsfaktoren kompatibel sind, die etwa Lärmemissionen in Dezibel angeben oder Luftverschmutzung in Euro pro direkt verursachter Emissionseinheit. Grundsätzlich kann aber festgehalten werden, dass die negativen externen Effekte und dadurch auch die positive Einsparung innerhalb von Österreich ungleich verteilt sind. Die negativen externen Umwelteffekte des Verkehrs, darunter vor allem Luftverschmutzung und Lärmemissionen, betreffen die Bevölkerung des urbanen Raums stärker als die Bevölkerung in ländlichen, weniger stark verbauten Gebieten. (Bohnenberger, 2020; Matthey & Bünger, 2020).

B-5.3 Gegenüberstellung Kosten-Nutzen

Die Gegenüberstellung der Kosten und Nutzen in den drei Szenarien 1A, 1B und 2 wird in [Tab. B-2](#) veranschaulicht. Daraus wird ersichtlich, dass den Investitionskosten von knapp 50,2 Milliarden Euro jeweils ein unterschiedlicher Nutzen in den drei Szenarien gegenübersteht, der größte im Szenario 1B, gefolgt vom Szenario 1A. Beim Szenario 2 überwiegen die Kosten, da die externen Kosten hier nicht berücksichtigt werden. Ein positives Bilanzergebnis im Sinne einer tatsächlichen Kosteneinsparung wird nur im Szenario 1B mit einer höheren Bewertung der Klimafolgeschäden erreicht. Im Szenario 1A gibt es allerdings trotz negativer Bilanz ein deutlich besseres Ergebnis als im Szenario 2.

Tab. B-2: Gegenüberstellung Kosten-Nutzen der drei Szenarien in Mio. EUR, eigene Darstellung IHS (2022)

Kosten/Nutzen	Szenario 1A	Szenario 1B	Szenario 2
Kosten			
Radwege	6 260,0	6 260,0	6 260,0
ÖV Tarifierpassung	30 599,1	30 599,1	30 599,1
ÖV Frequenzanpassung	12 941,3	12 941,3	12 941,3
Anpassung ÖV Haltestellendichte	399,6	399,6	399,6
PKW Besetzungsgrad	4,0	4,0	4,0
Summe Kosten	50 204	50 204	50 204
Nutzen			
Luftverschmutzungskosten	-2 147,9	-2 147,9	
Klimafolgeschäden	-4 558,2	-14 715,7	
Unfallkosten	-16 658,0	-16 658,0	
Lärmkosten	-4 813,9	-4 813,9	
Staukosten	-10 516,1	-10 516,1	
Well-to-tank-Emissionen	-938,6	-938,6	
Gesundheitseffekte	-3 009,5	-3 009,5	
Vermiedene Zertifikate	-1 229,5	-1 229,5	-1 229,5
Summe Nutzen	-43 871,6	-54 029,1	-1 229,5
Gesamtinvestitionen			
Kosten minus Nutzen	6 332,4	-3 825,2	48 974,5
Gesamtinvestitionen pro Jahr	333,3	-201,3	2577,6

Die durchschnittlichen Gesamtinvestitionen pro Jahr im Vergleich der Szenarien 1A, 1B und 2 sind in der **Abb. B-11** grafisch dargestellt. Dabei wird ersichtlich, dass es nur im Szenario 1B einen gesamtgesellschaftlichen Nutzen in der Form von Kosteneinsparungen gibt.

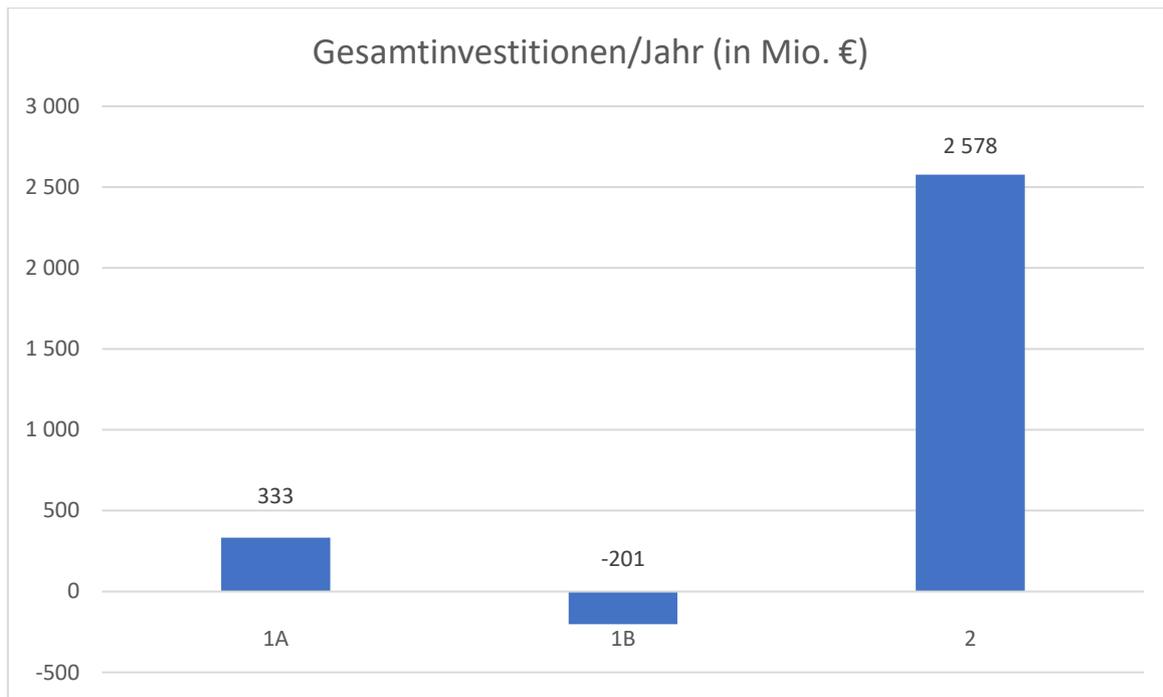


Abb. B-11: Gesamtinvestitionen in Millionen Euro pro Jahr für die Szenarien 1A, 1B und 2, in Mio. Euro, eigene Darstellung (IHS)

Die Ergebnisse veranschaulichen den großen Unterschied, den die Berücksichtigung von externen Kosten in der Einschätzung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses von Investitionen in nachhaltige Personenmobilität macht. In allen Szenarien sind hohe Gesamtinvestitionen pro Jahr in der Höhe von etwa 2,6 Milliarden Euro notwendig, um die Ziele des Dekarbonisierungsszenarios 2040 zu erreichen. Werden aber, wie in Szenario 1A und 1B, die externen Kosten berücksichtigt, so sind die gesellschaftlichen Nettokosten deutlich geringer bzw. ergibt sich sogar ein Nettonutzen durch die Investitionen (Szenario 1B). Der Unterschied zwischen den Ergebnissen der Szenarien 1A und 1B verdeutlicht die Relevanz der sozialen Diskontrate von Klimafolgeschäden, die in dieser Berechnung allein für die Differenz verantwortlich ist. Die Gleichgewichtung zukünftiger Klimafolgeschäden führt demnach zu einer höheren Bewertung dieser Schäden in der Gegenwart und bei Einsparung der Emissionen im Umkehrschluss zu einem größeren Nutzen.

In dieser Basis-Analyse wurden einige Aspekte außen vor gelassen, wie etwa die Vernachlässigung der Einnahmen aus der Maut. Auch reduzierte Mobilitätskosten auf individueller Ebene sind in der KNA nicht berücksichtigt, etwa weggefallene Treibstoffkosten oder vergünstigte Ticketpreise. Würden diese privaten Einsparungen ebenso berücksichtigt werden, würde der gesamtgesellschaftliche Nutzen möglicherweise noch größer ausfallen. Im Zuge einer Sensitivitätsanalyse im nachfolgenden Kapitel wurde die Basis-Analyse als "Medium Case" definiert, der ein "Best Case" mit höheren gesamtgesellschaftlichen Kosteneinsparungen und ein "Worst Case" mit geringeren Einsparungen gegenübergestellt wird.

B-5.4 Sensitivitätsanalyse

Um die Stichhaltigkeit der Ergebnisse zu eruieren, wurden alternative Berechnungen mit unterschiedlichen Annahmen durchgeführt. Dabei wurden einige Aspekte variiert, wie etwa die Höhe des Zertifikatspreises im Jahr 2030, die Berücksichtigung von Mauteinnahmen, die Investitionskosten, die Höhe der Multiplikationsfaktoren und die Bewertung von Klimafolgeschäden. Eine Übersicht über die variierenden Faktoren (Annahmen) ist in [Tabelle B-3](#) dargestellt. [Tabelle B-4](#) fasst zudem die

durchgeführten Berechnungen zusammen. Eine detaillierte Aufstellung der Berechnungen der Sensitivitätsanalyse kann im Anhang eingesehen werden (Tabellen B-5, B-6 und B-7).

Tab. B-3: Variationen der Sensitivitätsanalyse im Best Case, Medium Case und Worst Case

Variationsfaktor	Best Case	Medium Case	Worst Case
Multiplikationsfaktoren Externe Kosten	20% höher	Basis-Szenario	20% geringer
Investitionskosten	Radinvestitionen Minimum	Basis-Szenario, Radinvestitionen Mittelwert	Radinvestitionen Maximum, andere Kostenpunkte 1,5x teurer
Bewertung Klimafolgeschäden	Basis (Kikstra et al., 2021)	Basis Umweltbundesamt Deutschland (Matthey & Bünger, 2020)	Basis geplanter CO ₂ -Preis in Österreich
Zertifikatspreis	Maximum	Mittelwert	Minimum
Mauteinnahmen	Lineare Steigerung auf 0,5€/km bis 2040	Nicht berücksichtigt	Nicht berücksichtigt

Das Basis-Szenario (Medium Case) wird um einen Best und einen Worst Case ergänzt. Variiert werden sowohl die Gesamtkosten der Investitionen für den Maßnahmenmix der Dekarbonisierung bis 2040 auf der Kostenseite, als auch die externen Kosten und damit der Nutzen. Innerhalb dieser Fälle wird beim Best und Medium Case wieder zwischen zwei Varianten (1A und 1B) unterschieden, während Szenario 2 jeweils ohne Miteinbezug von negativen externen Effekten berechnet wurde. Die größte Variation ist auf unterschiedliche Bewertungen der Klimafolgeschäden zurückzuführen. Im Best Case wird mit einem CO₂-Preis in Höhe 2.500 US Dollar (1A) bzw. 5.000 USD (1B) pro Tonne CO_{2äq} gerechnet (Kikstra et al., 2021.) Beim Medium Case (Standardszenario) variiert der Preis je nach sozialer Diskontrate und beginnt 2020 bei rund 200 Euro (1A) bzw. knapp 700 Euro (1B) pro Tonne CO_{2äq} und steigt bis 2040 auf rund 240 bzw. 750 Euro an (Matthey & Bünger, 2020). Im Worst Case wird der aktuell in Österreich geplante CO₂-Preis herangezogen, der im Oktober 2022 mit 30 Euro pro Tonne CO₂ starten und stufenweise bis 2025 auf 55 Euro erhöht werden soll (Köppl et al., 2021). Die massiven Unterschiede in der Höhe der Bewertungen von Klimafolgeschäden deuten an, wie herausfordernd deren Quantifizierung ist, vor allem in Hinblick auf die negativen Folgen für zukünftige Generationen. Im Special Report des IPCC wurde ebenso eine Bandbreite für den Preis für CO₂ genannt, die diese Problematik noch verdeutlicht: für das Einschlagen des 2°C-Pfads reicht die Schätzung der vorhandenen Preise, bei einer Preisbasis von 2010, von 15 bis 220 USD pro Tonne CO_{2äq} im Jahr 2030 bis zu 45 bis 1050 USD pro Tonne CO_{2äq} im Jahr 2050. Um den 1,5°-Pfad einzuschlagen reichen die Schätzungen von 135 bis 6.050 USD pro Tonne CO_{2äq} im Jahr 2030 bis zu 245 bis 14.300 USD pro Tonne CO_{2äq} im Jahr 2050 (IPCC, 2019). Trotz der Unsicherheiten, mit denen die Bewertung behaftet ist, demonstrieren die in der Literatur genannten Werte, dass die in Österreich geplanten Preise den realen Schaden aller Voraussicht nach bei weitem unterschätzen.

Die Variation der Kosten für die zu zahlenden Emissionszertifikate bei Nichterreichung der Reduktionsziele baut auf einem aktuellen Bericht des Österreichischen Rechnungshofes auf, laut dem mit Zahlungen für den Ankauf von Emissionszertifikaten in der Höhe von rund 4,61 Mrd. Euro bis rund 9,21 Mrd. Euro für den gesamten Verpflichtungszeitraum 2021 bis 2030 zu rechnen ist, basierend auf Zertifikatspreisen von 50 EUR und 100 EUR pro Tonne CO_{2äq} (Rechnungshof Österreich, 2021). Für das Basis-Szenario (also den Medium Case) wurde der Mittelwert der Bandbreite der Kosten gewählt, für den Best Case wurde die obere Schranke und für den Worst Case die untere Schranke der Kosten als Nutzen in Form einer Einsparung für die Sensitivitätsanalyse herangezogen.

Für die Berücksichtigung der Mauteinnahmen wurde die in MARS implementierte Maßnahme der schrittweisen Einführung einer fahrleistungsabhängigen Maut betrachtet, die im Startjahr 2022 bei 0,026 Euro pro Fahrzeugkilometer startet und auf 0,5 Euro pro Fahrzeugkilometer im Jahr 2040 steigt. Multipliziert mit den jährlich gefahrenen Fahrzeugkilometern laut dem Modell ergibt diese Maut Einnahmen, welche im Best Case berücksichtigt wurden.

Die Variation der Multiplikationsfaktoren um 20 Prozent nach oben und unten basiert auf der Beobachtung, dass auch die Einschätzung der Multiplikationsfaktoren für externe Kosten gewissen Schwankungen unterliegt und auch in den diversen Methodenguides nicht für alle Kostenkategorien einheitliche Multiplikationsfaktoren für die externen Kosten zu identifizieren sind. Um eine größere Bandbreite für diese Kostenfaktoren zu berücksichtigen, wurde die Schwankung um jeweils 20 Prozent nach oben im Best Case und 20 Prozent nach unten im Worst Case berücksichtigt, was jeweils einem gesteigerten und einem verringerten Nutzen durch eingesparte externe Kosten entspricht.

Für die Investitionskosten wurden analog zu den Kosten für die Emissionszertifikate die Kosten für die Investitionen in Radinfrastruktur auf Basis einer aktuellen Einschätzung (PLANOPTIMO Büro Dr. Köll ZT-GmbH & Verracon GmbH, 2022) als Mittelwert der Bandbreite für den Medium Case herangezogen, während die obere Schranke höheren Kosten und damit dem Worst Case, die untere Schranke niedrigeren Kosten und damit dem Best Case zugeordnet wurde. Die restlichen Investitionskosten wurden im Worst Case mit dem Faktor 1,5 multipliziert, um der oft beobachteten Realität von deutlich höheren Investitionskosten in der Umsetzungsphase Rechnung zu tragen.

Tab. B-4: Übersicht Sensitivitätsanalyse im Best Case, Medium Case und Worst Case, in Mio. Euro

	Summe Kosten	Summe Nutzen	Kosten minus Nutzen	Gesamtinvestitionen pro Jahr
Best Case				
Szenario 1 A	49 513,9	-381 327,5	-331 813,6	-17 463,9
Szenario 1 B	49 513,9	-434 563,3	-385 049,4	-20 265,8
Szenario 2	49 513,9	-282 390,9	-232 877,0	-12 256,7
Medium Case				
Szenario 1 A	50 203,9	-43 871,6	6 332,4	333,3
Szenario 1 B	50 203,9	-54 029,1	-3 825,2	-201,3
Szenario 2	50 203,9	-1 229,5	48 974,5	2 577,6
Worst Case				
Szenario 1	72 865,9	-32 385,2	40 480,7	2 130,6
Szenario 2	72 865,9	-818,6	72 047,3	3 792,0

Die Entwicklung im zeitlichen Verlauf von Kosten und Nutzen heruntergebrochen auf durchschnittliche Jahreswerte der jeweiligen Cases ist in der [Abb. B-12](#) für den Best Case dargestellt, kumuliert über den gesamten Betrachtungszeitraum in Millionen Euro. Dieser lineare Verlauf entspricht nicht exakt der jährlichen Reduktion der Personenkilometer in der Simulation des MARS Modells. Das Basis-Szenario

bzw. der Medium Case ist in der [Abb. B-13](#) dargestellt, der zeitliche Verlauf der Kostenentwicklung für den Worst Case ist in [Abb. B-14](#) zu sehen.

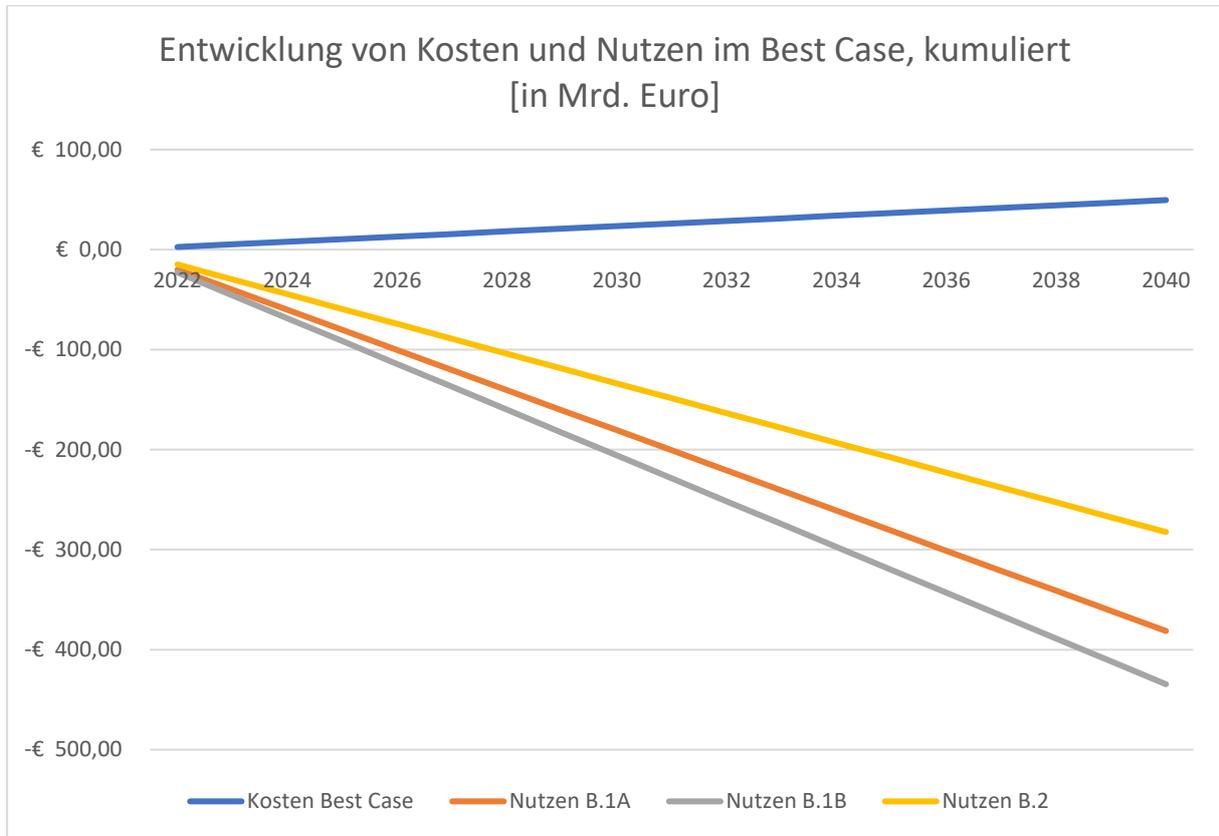


Abb. B-12: Entwicklung der Kosten und Nutzen für den Best Case, kumuliert in Mrd. Euro, eigene Darstellung (IHS)

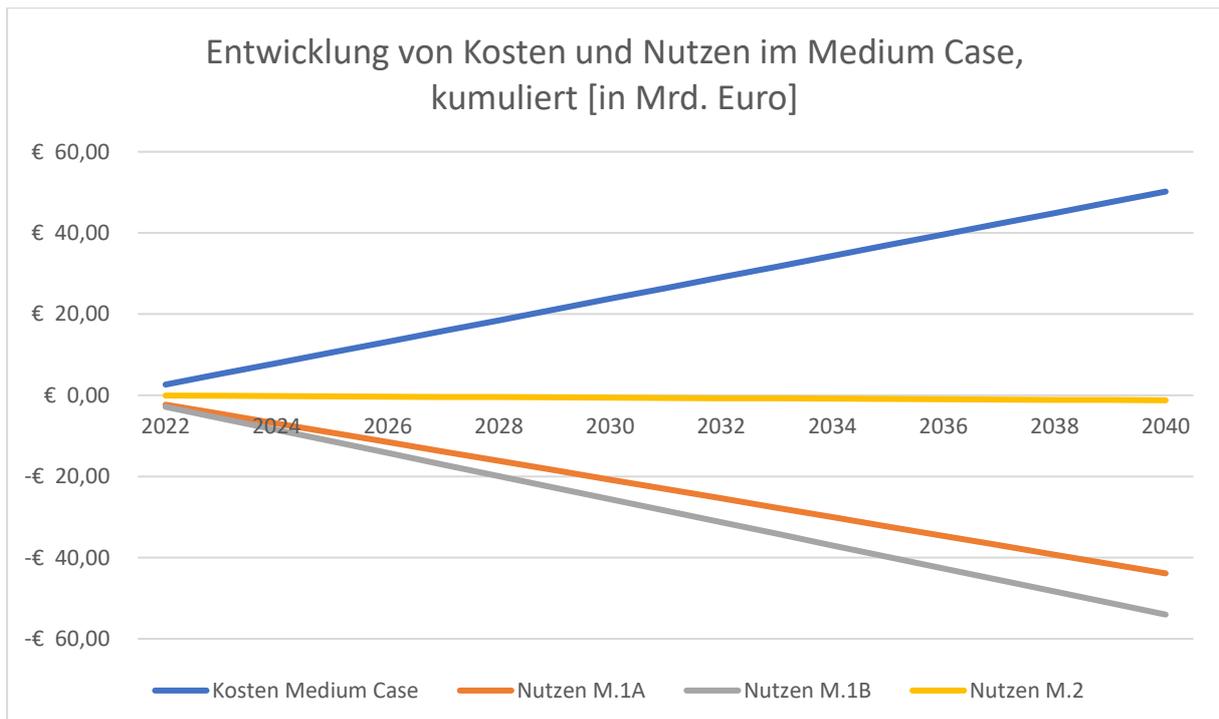


Abb. B-13: Entwicklung der Kosten und Nutzen für den Medium Case, kumuliert in Mrd. Euro, eigene Darstellung (IHS)

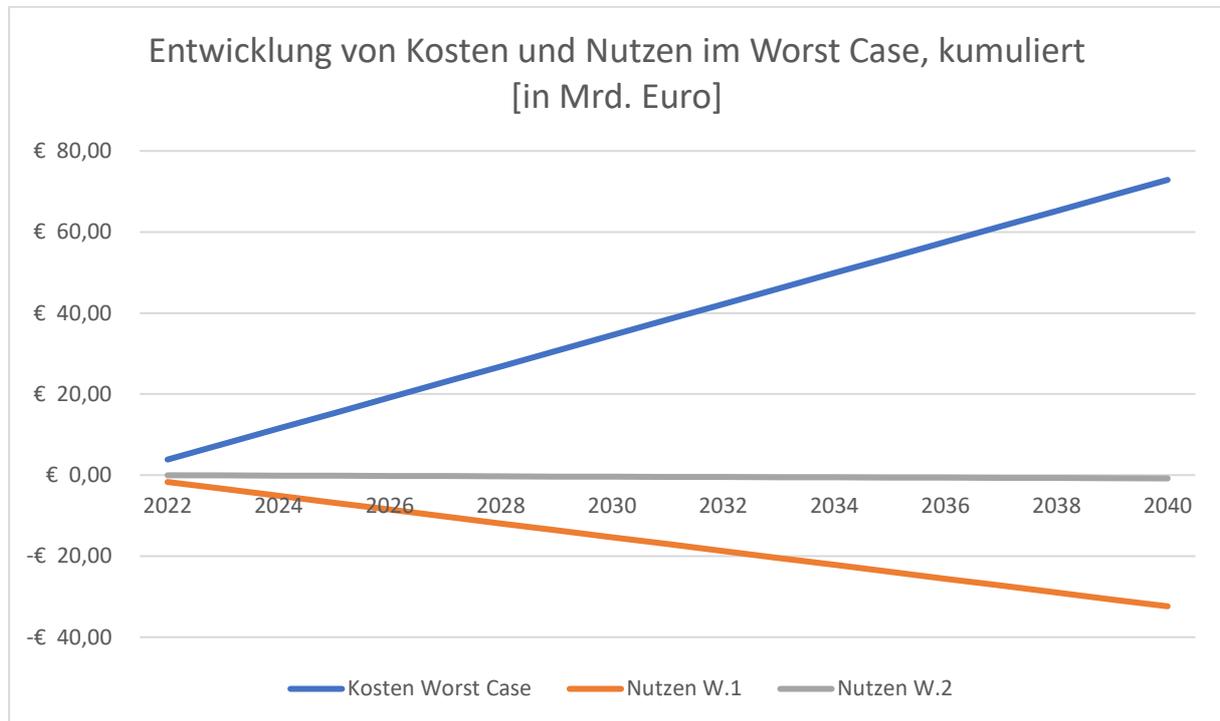


Abb. B-14: Entwicklung der Kosten und Nutzen für den Worst Case, kumuliert in Mrd. Euro, eigene Darstellung (IHS)

B-5.5 Abschätzung der Reduktionspotenziale

Um die Dekarbonisierung der Personenmobilität in Österreich bis 2040 zu erreichen, ist es in erster Linie notwendig, die mit dem motorisierten Individualverkehr (MIV) zurückgelegten Personenkilometer zu reduzieren und den weiter bestehenden Anteil zu elektrifizieren. Mit der Implementierung der gewählten Maßnahmen im MARS Modell wird gemäß den Modellberechnungen eine Reduktion der Personenkilometer um 26 Prozent erreicht. Diese Reduktion ist das Resultat des Portfolios an Maßnahmen, durch welche einerseits sowohl der öffentliche Verkehr und der Radverkehr attraktiviert werden, andererseits der MIV an sich mit negativen Anreizen versehen wird. Ein Beispiel dafür ist etwa die schrittweise Einführung einer Maut, die mit 0,5 Euro pro gefahrenem Kilometer im Jahr 2040 durchaus als ambitioniert eingestuft werden kann. Im Modell sind also alle Maßnahmen notwendig, um die gefahrenen Personenkilometer des MIV um besagte 26 Prozent zu reduzieren. In den Berechnungen des MARS Modells werden im Vergleich zum Referenzszenario bei dem Dekarbonisierungsszenario über den Betrachtungszeitraum von 2022 bis 2040 knapp 1,5 Milliarden Tonnen CO₂ eingespart. Eine Abschätzung dazu, welche Investitionskosten im Verhältnis zu welchen Emissionsreduktionen führen, ist in der aktuellen Simulation schwierig, da ein gesamtheitlicher Maßnahmenmix betrachtet wird und jede Einzelmaßnahme für das Gesamtergebnis relevant ist. Zukünftige Forschungsprojekte könnten sich auf die spezifischere Wirkung von einzelnen Maßnahmen, deren Kosten und Nutzen fokussieren.

B-5.6 Gesundheitliche Bewertung von nachhaltigeren Mobilitätsformen

Eine Transformation hin zu nachhaltigeren Mobilitätsformen trägt auf unterschiedliche Arten zu positiven Gesundheitseffekten für die Bevölkerung bei. Zum einen werden durch ein reduziertes

Verkehrsaufkommen des MIV die Treiber der externen Kosten selbst reduziert, wie etwa Lärmemissionen, Luftverschmutzung und Unfälle an sich. Zum anderen werden Personenkilometer zunehmend weniger durch den MIV und mehr durch aktive Mobilitätsformen wie Radfahren oder Zu Fuß Gehen zurückgelegt. Für die vorliegende Analyse wurde auf die Quantifizierung einer Studie von Gössling et al. zurückgegriffen, in der die positiven Gesundheitseffekte aktiver Mobilität in eine monetäre Bewertung überführt wurden (Gössling et al., 2019). In einer Studie zum Superblock Modell Barcelonas, das unter anderem auf kurzen Wegen und aktiver Mobilität aufbaut, haben Mueller et al. geschätzt, dass etwa 65.000 Personen innerhalb eines Jahres vom Auto oder Motorrad auf öffentliche Verkehrsmittel und aktive Mobilität umgestiegen sind, was einerseits geschätzte 36 Tode verhindert hat und andererseits die Lebenserwartung für die erwachsene Bevölkerung Barcelonas im Schnitt um 200 Tage verlängert hat (Mueller et al., 2020). Darüber hinaus gibt es seit einigen Jahren das PASTA Projekt (Physical Activity through Sustainable Transport Approaches), bei dem versucht wird aktive Mobilität als innovativen Ansatz von Bewegung in den Alltag von Individuen einzubauen. Im Rahmen dessen werden Daten in mehreren Städten im longitudinal cohort design gesammelt (Dons et al., 2015; Gascon et al., 2019).

B-6 Diskussion

Zu Beginn der Diskussion steht die Frage, ob das wesentliche Erkenntnisinteresse der Studie erfüllt wurde, im Speziellen, ob die Verknüpfung des Verkehrsmodells MARS mit einer Kosten-Nutzen-Analyse erfolgreich war. Dazu ist festzuhalten, dass das MARS Modell und die KNA nicht vollständig kompatibel sind, da MARS auf einer sehr aggregierten Ebene operiert, die nicht eins zu eins mit Investitionen in konkrete Maßnahmen zu verknüpfen ist. Eine Verknüpfung von MARS mit konkreten Maßnahmen und der Abschätzung direkter Kausalitäten ist nicht ohne Annahmen oder weitere empirische Untersuchungen machbar. Darüber hinaus war es nicht möglich, eine Unterscheidung der Investitionen und Effekte nach Stadt und Land zu treffen, da es zwar Multiplikationsfaktoren auf diesen feineren räumlichen Ebenen gibt, diese aber mit Output-Variablen verknüpft werden müssen, die das MARS Modell in der Form nicht liefert, beispielsweise die dB-Werte der Lärmemissionen oder die kg der Luftverschmutzungsemissionen von diversen Luftschadstoffen. Im kleinen Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde der Fokus daher auf eine durchschnittliche Betrachtung und die generelle Verknüpfung von MARS mit einer ökonomischen Bewertung gelegt. Neben dieser Limitation ist es wichtig hervorzuheben, dass das MARS Modell hingegen sehr gut geeignet ist für die Betrachtung von kombinierten Maßnahmenpaketen über einen längeren Zeitraum, die als Grundlage für strategische Entscheidungen dienen sollen.

Darüber hinaus ist die Verknüpfung von MARS mit der KNA gut geeignet, um eine grobe Abschätzung der Größenordnung von externen Kosten im Verhältnis zu Investitionen zu tätigen. Ob die konkreten Werte etwas variieren, ist im Kontext der Erkenntnisinteressen dieses Projekts wenig relevant, wichtiger erscheint die Erkenntnis, dass wir uns sowohl bei der Kosten- als auch bei der Nutzenseite in einer Größenordnung von Milliarden Euro bewegen. Selbst im absoluten Worst Case der Sensitivitätsanalyse liegen die eingesparten externen Kosten noch bei einer Höhe von etwa 31,6 Milliarden Euro, was eine durchaus große Summe ist und einen unschätzbaren Wert für Klima und Bevölkerung darstellt. Die Verwendung des Konzeptes der externen Kosten hat sich hierbei bewährt, um den gesellschaftlichen Nutzen sichtbar zu machen, der ansonsten oft unberücksichtigt bleibt. Auch Hennicke et al. streichen hervor, dass die externen Kosten des Verkehrs real für Gesellschaft und Umwelt und keine rein fiktive Größe sind, bloß weil sie nicht direkt von den Verursacher:innen getragen werden und viele ökologische und soziale Schäden nicht eindeutig monetär bewertet werden können (Hennicke et al., 2021, p. 121). Sie betonen allerdings weiters die soziale Dimension, welche vom Konzept der externen Kosten in ihrer Verteilungswirkung nicht erfasst wird und die bei der Betrachtung von nachhaltiger Mobilität immer mitgedacht werden muss (Hennicke et al., 2021).

Die Analyse im Projekt KNAP geht wie bereits erwähnt mit einigen Limitationen einher. Eine der Herausforderungen ist die Notwendigkeit einer Abgrenzung, welche Investitionen und Effekte berücksichtigt werden sollen und welche nicht. Dazu gehört beispielsweise die Elektromobilität. Im Szenario Transition 2040 ist die Entwicklung der Fahrzeugflotte mit zunehmender Elektrifizierung ein externer Input, ohne spezielle Maßnahmen für die Attraktivierung von E-Mobilität. Daher wurden auch im Projekt KNAP keine Maßnahmen dahingehend berücksichtigt. Ein weiterer Aspekt sind Beschäftigungseffekte durch Investitionen in den Ausbau von ÖV und Rad- und Fußinfrastruktur, die auf der Nutzenseite nicht berücksichtigt wurden. Wesentlich ist auch die Frage inwieweit Mehreinnahmen aus Ticketerlösen und neu eingeführten Bepreisungen wie etwa einer fahrleistungsabhängigen Maut berücksichtigt werden sollten. Diesen Mehreinnahmen stehen wiederum geringere Einnahmen durch die Mineralölsteuer (MÖSt) und ähnlichem gegenüber.

Neben diesen wesentlichen Aspekten ist das Projekt KNAP mit weiteren Unsicherheitsfaktoren konfrontiert, deren Relevanz im Zuge einer Sensitivitätsanalyse untersucht wurde. Dazu zählen etwa Unsicherheiten bei der Quantifizierung von Kosten für die Investitionsmaßnahmen, die Höhe der Multiplikationsfaktoren für die externen Kosten, die Bandbreite der Kosten für den Ankauf von Emissionszertifikaten und die Wahl eines stichhaltigen Preises für Klimafolgeschäden. Unsicherheiten

in Bezug auf die zukünftige Inflation wurden durch die Entscheidung für die Verwendung von stabilen Preisen auf Basis des Jahres 2021, wie es bei ähnlichen Analysen üblich ist, vermieden.

Das Projekt KNAP hat unter Anerkennung all dieser Limitationen und Unsicherheitsfaktoren versucht für die notwendige Transformation der Personenmobilität aufzuzeigen, dass es neben den Kosten für die Investitionen auch positive Nutzen gibt, die wenig präsent sind und hier in Form der externen Kosten berücksichtigt wurden. Wie viel die Investitionen zur Erreichung des Dekarbonisierungsziels 2040 tatsächlich kosten werden, ist schwer zu beziffern, im Rahmen dieses Projektes wurde lediglich eine Annäherung durchgeführt. Die tatsächlichen Kosten können sowohl höher als auch geringer ausfallen. Klar ist aber, dass Maßnahmen zur Dekarbonisierung des Verkehrssystems gesetzt werden müssen, da nicht Handeln keine Option ist. Auch wenn die Ergebnisse mit großen Unsicherheiten behaftet sind, kann festgehalten werden, dass es in jedem Fall deutlich positive Effekte für die Bevölkerung, für einen gleichberechtigteren Zugang zu Mobilität und das Klima durch Maßnahmen für nachhaltigere Personenmobilität und den damit einhergehenden Rückgang der zurückgelegten Personenkilometer des MIV gibt.

Die Beobachtung, dass Klimaziele aufgrund von Krisen in anderen Bereichen, wie etwa der Energiekrise und den hohen Treibstoffpreisen, an Priorität verlieren, ist in Anbetracht der Dringlichkeit der Klimakrise problematisch. Trotz der Corona-Krise und der aktuell akuten Energiekrise aufgrund des Ukraine-Krieges lässt sich die Notwendigkeit zu handeln nicht in die Zukunft verschieben. Ziel muss sein, diese multiplen Krisen gesamtheitlich zu betrachten. Die Corona-Krise könnte beispielsweise als Impuls für verändertes Mobilitätsverhalten gesehen werden und die Energiekrise als Treiber für Investitionen, die dabei helfen können, Abhängigkeiten zu reduzieren. Nachdenklich stimmt auch, dass der in Österreich geplante CO₂-Preis deutlich unter den Schätzungen aus der Literatur für die tatsächlichen Kosten der Klimafolgeschäden liegt.

B-7 Handlungsempfehlungen für die Etablierung nachhaltiger Personenmobilität

Um nachhaltige Personenmobilität im österreichischen Verkehrssystem stärker zu etablieren, sind große Anstrengungen notwendig, da der Verkehrssektor aktuell vor allem vom motorisierten Individualverkehr geprägt ist. Eine grundlegende Empfehlung ist die Umsetzung sämtlicher Maßnahmen, welche im MARS Modell realisiert und mit Investitionskosten bewertet wurden, da sie wichtige Bausteine am Weg zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors bis 2040 sind. Dazu zählen unter anderem Maßnahmen für den Ausbau der Radinfrastruktur auf allen Ebenen über einen diversen Mix, zu dem etwa Radwege ausbauen, Radfahrstreifen markieren, Fahrradstraßen und Fahrradbügel errichten, Dienstfahräder anschaffen, überdachte Fahrradabstellplätze errichten, Radverkehrskordinator:innen anstellen, optimierte Räumzeit bei Ampeln, Baumpflanzungen für fahrradfreundlichen Rückbau und betriebliche Mobilitätsmanagement-Beratungen durch Gemeinden gehören. Obwohl für die Attraktivierung des Zu-Fuß-Gehens in dieser Berechnung mit dem MARS Modell keine konkreten Maßnahmen inkludiert sind, sollte diese Form der aktiven Mobilität als wichtiges Verkehrsmittel hinsichtlich Klima, Gesundheit, Flächenverbrauch, sozialer Gerechtigkeit und Energieverbrauch ebenso gefördert werden. Maßnahmen zur Erhöhung des Fußgänger:innenanteils werden daher ebenfalls explizit empfohlen, etwa durch eine Umverteilung oder Umgestaltung des Straßenraumes (z.B. Bäume, Arkaden, Geschwindigkeitsreduktion auf 20 km/h für den MIV, Vorrang geben in der Straßenverkehrsordnung etc.). Maßnahmen für den Fußverkehr sind einerseits kostengünstig im Vergleich zu anderen Maßnahmen und weisen andererseits oft Synergien mit Maßnahmen für den Radverkehr auf. Für den öffentlichen Verkehr empfiehlt es sich, sowohl die Ticketpreise zu vergünstigen, optimalerweise bei gleichzeitigem oder zumindest teilweisem Ausgleich der Verluste für die Verkehrsbetriebe, als auch die Haltestellendichte und die Frequenz zu erhöhen. Auch die Einführung einer fahrleistungsabhängigen Maut wird empfohlen, wenngleich diese Maßnahme nicht von allen Verkehrsteilnehmer:innen begrüßt werden wird. Eine nähere Betrachtung des Maßnahmenmixes weist den Ausbau der Radinfrastruktur als besonders kosteneffizient aus, ebenso wie die Erhöhung der Haltestellendichte des öffentlichen Verkehrs, wobei hier auf den Fokus Busverkehr hingewiesen werden muss (ein Ausbau der Bahnhaltstellen wäre in der Praxis sehr wahrscheinlich mit deutlich höheren Kosten verbunden).

Zusätzlich zu diesen spezifischen Handlungsempfehlungen finden im MARS Modell weitere externe Entwicklungen statt, die eine wichtige Rolle für die Dekarbonisierung des Verkehrssektors spielen. Dazu gehört eine verdichtete Bauweise bei Neubauten, ebenso wie die Etablierung von E-Mobilität. Um die Dekarbonisierung der Personenmobilität bis 2040 zu erreichen, ist ein Verbot der Neuzulassung von PKWs mit Verbrennungsmotoren zugunsten von E-PKWs in naher Zukunft wesentlich. Solche Maßnahmen wurden in diesem Projekt mit dem MARS Modell bisher nicht berücksichtigt, die E-Mobilität setzt sich implizit durch, da im Modell ab 2027 alle Neuzulassungen E-PKWs sind. Maßnahmen zur Stärkung von E-Mobilität wären aber zweifellos relevant und reichen vom Ausbau der Ladeinfrastruktur bis zu Parkprivilegien, Steuerbegünstigungen und Investitionsförderungen für E-PKWs, die besonders auf den nicht vermeidbaren Berufsverkehr abzielen sollten.

Bei all den genannten Maßnahmen gilt es zu bedenken, dass Klimafolgeschäden tendenziell unterbewertet werden. Der aktuell in Österreich geplante CO₂-Preis liegt weit unter den Empfehlungen in der gängigen Literatur (z.B. (IPCC, 2019); (Kikstra et al., 2021)) und wird wahrscheinlich nicht ausreichen, um die notwendigen Verhaltensänderungen herbeizuführen. Ein ambitionierter CO₂-Preis ist notwendig, der die Dringlichkeit der Lage nicht verschleiern und zugleich von sozialen Ausgleichsmechanismen begleitet wird, um die Benachteiligung mancher Bevölkerungsgruppen nicht noch zu verschärfen. Hennicke et al. haben beispielsweise berechnet, dass sich bei einem durchschnittlichen Verbrauch von 7 Litern pro 100 km bei den empfohlenen Werten des Umweltbundesamt Deutschland (Matthey & Bünger, 2020) als Basis mit 180 bis 640 Euro pro Tonne CO₂ ein Preisaufschlag von 61 bis 179 Cent pro Liter ergeben würde (Hennicke et al., 2021, p. 119).

Da das MARS Modell mit dem gesamten Mix an Maßnahmen herangezogen wurde, lassen sich keine eindeutigen Kausalitäten der isolierten Maßnahmenwirkungen ableiten. Im Zuge des Projekts KNAP war es lediglich möglich, mit den bestehenden Simulationsergebnissen zu arbeiten. In einem zukünftigen Projekt könnten die Wirkungen einzelner Maßnahmen sowie ihr Zusammenspiel und daraus resultierende Wirkungen genauer analysiert werden.

In Bezug auf die Analyse der Relevanz der externen Kosten lässt sich festhalten, dass ein paar wenige Kostenkategorien die monetäre Bewertung dominieren. Dazu zählen einerseits Unfallkosten, die vor allem durch die vielen Fatalitäten bei Motorradfahrer:innen getrieben werden, Staukosten, und andererseits Klimafolgeschäden, denen je nach Bewertungsmethode und -basis mehr oder weniger Gewicht zuteilwird. Die vermiedenen Emissionszertifikate stellen einen vergleichsweise kleinen Kostenpunkt dar, da dies ein marktbasierendes System ist, das nur einen Bruchteil der tatsächlichen Klimafolgeschäden abdeckt und dadurch die Tendenz der Unterbewertung von Klimafolgeschäden unterstreicht.

B-8 Schlussfolgerungen

Die Verknüpfung des MARS Modells und der KNA war unter Berücksichtigung wesentlicher Limitationen durchführbar. Diese Limitationen stellen zwar für zukünftige genauere Analysen eine Herausforderung dar, dennoch lassen sich bereits durch das Projekt KNAP und seine Ergebnisse bedeutende Schlussfolgerungen ziehen.

Die Dekarbonisierung des Verkehrssektors ist keine Option, die zur Debatte steht, sondern eine Notwendigkeit, die möglichst rasch umgesetzt werden muss. Die Studie zeigt, dass die Maßnahmen im Personenverkehr zum Erreichen der Dekarbonisierung im Jahr 2040 in jedem Fall zu positiven Effekten für Bevölkerung und Klima führen. Den notwendigen Investitionen stehen diese positiven Effekte gegenüber, die in der öffentlichen Debatte oftmals nicht berücksichtigt werden. In den Szenarien und Sensitivitätsanalysen wurde gezeigt, dass das Ergebnis einer KNA von positiver bis negativer ökonomischer Bilanz reichen kann. Welches Szenario schlussendlich zu tragen kommt unterliegt Unsicherheiten. Ziel des Projekts war nicht, eine "positive Bilanz" zu berechnen, sondern aufzuzeigen, dass den Investitionskosten auch Nutzen gegenüberstehen, bis hin zu einer überwiegend positiven Wirkung auf die Volkswirtschaft.

Zusätzliche positive ökonomische Effekte der Investitionen im Hinblick auf generierte Wertschöpfung, gesicherter Beschäftigung sowie Steuern und Abgaben wurden in der vorliegenden Analyse nicht berücksichtigt. Das Projekt KNAP hat sich einer möglichst umfassenden Berechnung angenähert, indem Investitionskosten abgeschätzt wurden, Multiplikationsfaktoren der Nutzen, inklusive externer Kosten zusammengetragen wurden und Sensitivitäten aufgezeigt wurden. Wir weisen darauf hin, dass sich nicht alle Effekte monetarisieren lassen und beispielsweise der Wert eines bewohnbaren Planeten und der Erhalt der Biodiversität nicht in der KNA berücksichtigt werden. Die Ergebnisse stellen eine Grundlage für weiterführende Analysen und den gesellschaftlichen Diskurs dar.

B-9 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzungen	
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO _{2äq}	CO ₂ -Äquivalent
dB	Dezibel
IPCC	International Panel on Climate Change
KNA	Kosten-Nutzen-Analyse
KNAP	Kosten-Nutzen-Analyse in nachhaltige Personenmobilität
MARS	Metropolitan Activity Relocation Simulator
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MÖST	Mineralölsteuer
ÖV	Öffentlicher Verkehr

B-10 Anhang

Tab. B-5: Sensitivitätsanalyse im Best Case, in Mio. Euro

Best Case	Szenario 1A	Szenario 1B	Szenario 2
Kosten			
Radwege	5 570,0	5 570,0	5 570,0
ÖV Tarifierpassung	30 599,1	30 599,1	30 599,1
ÖV Frequenzanpassung	12 941,3	12 941,3	12 941,3
ÖV Haltestellendichte anpassen	399,6	399,6	399,6
PKW Besetzungsgrad	4,0	4,0	4,0
Summe Kosten	49 513,9	49 513,9	49 513,9
Nutzen			
Luftverschmutzungskosten	-2 577,5	-2 577,5	
Klimafolgeschäden	-53 235,8	-106 471,6	
Unfallkosten	-19 989,6	-19 989,6	
Lärmkosten	-5 776,7	-5 776,7	
Staukosten	-12 619,3	-12 619,3	
Well-to-tank-emissions	-1 126,3	-1 126,3	
Gesundheitseffekte	-3 611,4	-3 611,4	
Externe Kosten gesamt	-98 936,6	-152 172,4	
Vermiedene Zertifikate	-1 640,0	-1 640,0	-1 640,0
Mauteinnahmen	-280 750,9	-280 750,9	-280 750,9
Summe Nutzen	-381 327,5	-434 563,3	-282 390,9
Gesamtinvestitionen			
Kosten minus Nutzen	-331 813,6	-385 049,4	-232 877,0
Gesamtinvestitionen pro Jahr	-17 463,9	-20 265,8	-12 256,7

Tab. B-6: Sensitivitätsanalyse im Medium Case, in Mio. Euro

Medium Case	Szenario 1A	Szenario 1B	Szenario 2
Kosten			
Radwege	6 260,0	6 260,0	6 260,0
ÖV Tarifierpassung	30 599,1	30 599,1	30 599,1
ÖV Frequenzanpassung	12 941,3	12 941,3	12 941,3
ÖV Haltestellendichte anpassen	399,6	399,6	399,6
PKW Besetzungsgrad	4,0	4,0	4,0
Summe Kosten	50 203,9	50 203,9	50 203,9
Nutzen			
Luftverschmutzungskosten	-2 147,9	-2 147,9	
Klimafolgeschäden	-4 558,2	-14 715,7	
Unfallkosten	-16 658,0	-16 658,0	
Lärmkosten	-4 813,9	-4 813,9	
Staukosten	-10 516,1	-10 516,1	
Well-to-tank-emissions	-938,5	-938,5	
Gesundheitseffekte	-3009,5	-3 009,5	
Externe Kosten gesamt	-42 642,1	-52 799,7	
Vermiedene Zertifikate	-1 229,5	-1 229,5	-1 229,5
Summe Nutzen	-43 871,6	-54 029,1	-1 229,5
Gesamtinvestitionen			
Kosten minus Nutzen	6 332,4	-3 825,2	48 974,5
Gesamtinvestitionen pro Jahr	333,3	-201,3	2 577,6

Tab. B-7: Sensitivitätsanalyse im Worst Case, in Mio. Euro

Worst Case	Szenario 1	Szenario 2
Kosten		
Radwege	6 950,0	6 950,0
ÖV Tarifierpassung	45 898,6	45 898,6
ÖV Frequenzanpassung	19 411,9	19 411,9
ÖV Haltestellendichte anpassen	599,4	599,4
PKW Besetzungsgrad	6,0	6,0
Summe Kosten	72 865,9	72 865,9
Nutzen		
Luftverschmutzungskosten	-1 718,3	
Klimafolgeschäden	-1 099,5	
Unfallkosten	-13 326,4	
Lärmkosten	-3 851,1	
Staukosten	-8412,9	
Well-to-tank-emissions	-750,8	
Gesundheitseffekte	-2 407,6	
Externe Kosten gesamt	-31 566,6	
Vermiedene Zertifikate	-818,6	-818,6
Mauteinnahmen		
Summe Nutzen	-32 385,2	-818,6
Gesamtinvestitionen		
Kosten minus Nutzen	40 480,7	72 047,3
Gesamtinvestitionen pro Jahr	2 130,6	3 792,0

B-11 Literaturverzeichnis

- Angelini, A., Heinfellner, H., Pfaffenbichler, P., & Schwingshackl, M. (forthcoming). TRANSITION MOBILITY 2040—Entwicklung eines Klima- und Energieszenarios zur Abbildung von Klimaneutralität im Verkehr 2040. Umweltbundesamt.
- BMK. (2021). Mobilitätsmasterplan 2030 für Österreich—Der neue Klimaschutz-Rahmen für den Verkehrssektor Nachhaltig – resilient – digital. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:6318aa6f-f02b-4eb0-9eb9-1ffabf369432/BMK_Mobilitaetsmasterplan2030_DE_UA.pdf
- Bohnenberger, K. (2020). Money, Vouchers, Public Infrastructures? A Framework for Sustainable Welfare Benefits. *Sustainability*, 12(2), 596. <https://doi.org/10.3390/su12020596>
- Bundeskanzleramt. (2020). Aus Verantwortung für Österreich. Regierungsprogramm 2020 – 2024. <https://www.bundeskanzleramt.gv.at/bundeskanzleramt/die-bundesregierung/regierungsdokumente.html>
- Dons, E., Götschi, T., Nieuwenhuijsen, M., de Nazelle, A., Anaya, E., Avila-Palencia, I., Brand, C., Cole-Hunter, T., Gaupp-Berghausen, M., Kahlmeier, S., Laeremans, M., Mueller, N., Orjuela, J. P., Raser, E., Rojas-Rueda, D., Standaert, A., Stigell, E., Uhlmann, T., Gerike, R., & Int Panis, L. (2015). Physical Activity through Sustainable Transport Approaches (PASTA): Protocol for a multi-centre, longitudinal study. *BMC Public Health*, 15(1), 1126. <https://doi.org/10.1186/s12889-015-2453-3>
- Emberger, G., Mayerthaler, A., & Haller, R. (2010). National Scale Land-Use Transport Policy Modelling. 12th WORLD CONFERENCE ON TRANSPORTATION RESEARCH.
- Europäische Kommission (Ed.). (2015). Guide to cost-benefit analysis of investment projects: Economic appraisal tool for cohesion policy 2014-2020. European Union.
- European Commission. (2019). Handbook on the external costs of transport Version 2019 – 1.1 (4.K83; p. 332). European Union.

- Follmer, R., Gruschwitz, D., Kiatipis, Z. A., Blome, A., Josef, F., Gensasz, S., Körber, K., Kasper, S., Tomschy, R., Herry, M., Steinacher, I., Sammer, G., Gruber, C., Röschel, G., Klemenschitz, R., Bartana, I. B., Raser, E., Riegler, S., & Roider, O. (2016). Ergebnisbericht zur österreichweiten Mobilitätserhebung „Österreich unterwegs 2013/2014“. BMVIT. https://www.bmk.gv.at/themen/verkehrsplanung/statistik/oesterreich_unterwegs/berichte.html
- Gascon, M., Götschi, T., de Nazelle, A., Gracia, E., Ambròs, A., Márquez, S., Marquet, O., Avila-Palencia, I., Brand, C., Iacorossi, F., Raser, E., Gaupp-Berghausen, M., Dons, E., Laeremans, M., Kahlmeier, S., Sánchez, J., Gerike, R., Anaya-Boig, E., Panis, L. I., & Nieuwenhuijsen, M. (2019). Correlates of Walking for Travel in Seven European Cities: The PASTA Project. *Environmental Health Perspectives*, 127(9), 097003. <https://doi.org/10.1289/EHP4603>
- Gössling, S., Choi, A., Dekker, K., & Metzler, D. (2019). The Social Cost of Automobility, Cycling and Walking in the European Union. *Ecological Economics*, 158, 65–74. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.12.016>
- Heller, J. (2021). Aktive Mobilität in Wien. Vertiefte Auswertung des Mobilitätsverhaltens der Wiener Bevölkerung für das zu Fuß gehen und das Rad fahren. MA 18, Stadt Wien. <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/studien/pdf/b008588.pdf>
- Hennicke, P., Koska, T., Rasch, J., Reutter, O., & Seifried, D. (2021). Nachhaltige Mobilität für alle. Ein Plädoyer für mehr Verkehrsgerechtigkeit. oekom verlag. <https://doi.org/10.14512/9783962388072>
- IPCC. (2019). Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty ([Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T.

- Waterfield (eds.)).
- https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf
- Kikstra, J. S., Waidelich, P., Rising, J., Yumashev, D., Hope, C., & Brierley, C. M. (2021). The social cost of carbon dioxide under climate-economy feedbacks and temperature variability. *Environmental Research Letters*, 16(9), 094037. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac1d0b>
- Köppl, A., Schleicher, S., & Schratzenstaller, M. (2021). CO₂-Bepreisung in der Steuerreform 2022/2024 (No. 13/2021; WIFO Research Briefs). WIFO.
- Matthey, A., & Bünger, B. (2020). Methodenkonvention 3.1 zur Ermittlung von Umweltkosten. Kostensätze Stand 12/2020. Umweltbundesamt.
- Mueller, N., Rojas-Rueda, D., Khreis, H., Cirach, M., Andrés, D., Ballester, J., Bartoll, X., Daher, C., Deluca, A., Echave, C., Milà, C., Márquez, S., Palou, J., Pérez, K., Tonne, C., Stevenson, M., Rueda, S., & Nieuwenhuijsen, M. (2020). Changing the urban design of cities for health: The superblock model. *Environment International*, 134, 105132. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105132>
- Pazdernik, K., Anderl, M., Friedrich, A., Gangl, M., Kriech, M., Kuschel, V., Lampert, C., Mandl, N., Matthews, B., Mayer, S., Moldaschl, E., Poupá, S., Purzner, M., Rockenschaub, A. K., Schieder, W., Schmid, C., Schmidt, G., Schodl, B., Schwaiger, E., ... Zechmeister, A. (2022). Austria's National Inventory Report 2022 (REP-0811). Umweltbundesamt.
- Perl, D., Anderl, M., Gangl, M., Heinfellner, H., Lampert, C., Poupá, S., Purzner, M., Schieder, W., Titz, M., & Zechmeister, A. (2021). Emissionstrends 1990-2019. Ein Überblick über die Verursacher von Luftschadstoffen in Österreich (REP-0770). Umweltbundesamt.
- Pfaffenbichler, P. (2003). The strategic, dynamic and integrated urban land use and transport model MARS (Metropolitan Activity Relocation Simulator): Development, testing and application [Wien, Techn. Univ., Diss., 2003]. In *Das strategische, dynamische und integrierte Flächennutzungs- und Verkehrsmodell für Städte MARS (Metropolitan Activity Relocation Simulator)*. <https://permalink.catalogplus.tuwien.at/AC03925375>

- Pfaffenbichler, P. (2011). Modelling with Systems Dynamics as a Method to Bridge the Gap between Politics, Planning and Science? Lessons Learnt from the Development of the Land Use and Transport Model MARS. *Transport Reviews*, 31(2), 267–289. <https://doi.org/10.1080/01441647.2010.534570>
- Pfaffenbichler, P. (2018). Modellierung der Auswirkung von Personenverkehrsmaßnahmen im Rahmen des Projekts Sachstandsbericht Mobilität—Endbericht.
- Pfaffenbichler, P., Emberger, G., & Shepherd, S. (2010). A system dynamics approach to land use transport interaction modelling: The strategic model MARS and its application. *System Dynamics Review*, 26(3), 262–282. <https://doi.org/10.1002/sdr.451>
- PLANOPTIMO Büro Dr. Köll ZT-GmbH, & Verracon GmbH. (2022). Grundlagenstudie Investitionsbedarf Radverkehr (p. 66). https://www.klimaaktiv.at/dam/jcr:2b491b3f-b342-4e7b-8cfd-35701dbee814/Investitionsbedarf_Radverkehr.pdf
- Rechnungshof Österreich. (2021). Klimaschutz in Österreich – Maßnahmen und Zielerreichung 2020 (Bericht Des Rechnungshofes Reihe BUND 2021/16; p. 128). Rechnungshof Österreich.
- Riebler, C. (2019, March 6). Rad-Kampagne: Österreich Werbung und Bundesländer kooperieren. APA OTS. https://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20190306_OTS0161/rad-kampagne-oesterreich-werbung-und-bundeslaender-kooperieren-bild
- Shibayama, T., Laa, B., Brezina, T., Hammel, M., Szalai, E., Damjanovic, D., Peck, O., Schönfelder, S., & Streicher, G. (2022). FLADEMO - Flächendeckende Mobilitäts-Servicegarantie (Programmmanagement Mobilität Der Zukunft). Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). https://projekte.ffg.at/anhang/62b1b1ffee5b3_Ergebnisbericht_V8.pdf
- Statista. (2022). Treibhausgas-Emissionen des Sektors Straßenverkehr in Österreich nach Verursacher von 1990 bis 2019. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/962273/umfrage/treibhausgas-emissionen-des-sektors-verkehr-in-oesterreich-nach-verursacher/>

- Statistik Austria. (2022). Inflationsraten und Indizes des VPI von 1999 bis 2021. https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/preise/verbraucherpreisindex_vpi_hvpi/index.html
- Umweltbundesamt Österreich. (2021). Treibhausgas-Bilanz 2019 nach Sektoren. <https://www.umweltbundesamt.at/news210119/sektoren>
- Umweltbundesamt (U). (n.d.). Treibhausgase [Unternehmenswebsite]. Umweltthemen / Klima. Retrieved June 22, 2022, from <https://www.umweltbundesamt.at/klima/treibhausgase>
- Verkehrsverbund Ost-Region (VOR). (2022, April 29). Auskunft Forschungsprojekt StartClim [Microsoft Teams].
- Wiener Linien. (2021). Modal Split Wien. <https://www.wienerlinien.at/web/wienerlinien/r%C3%BCckblick-2020-ausblick-2021>
- Wiener Linien. (2022). Wiener Linien ziehen positive Bilanz zu Öffi-Jahr 2021: Trotz anhaltender Coronakrise positiver Trend zu den Öffis erkennbar. <https://www.wienerlinien.at/jahresr%C3%BCckblick-2021>
- Zechmeister, A., Anderl, M., Bartel, A., Geiger, K., Gugele, B., Gössl, M., Haider, S., Heinfellner, H., Heller, C., Köther, T., Krutzler, T., Kuschel, V., Lampert, C., Neier, H., Pazdernik, K., Perl, D., Poupa, S., Prutsch, A., Purzner, M., ... Wieser, M. (2021). Klimaschutzbericht 2021 (REP-0776). Umweltbundesamt.