



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

FORSCHUNGSBEREICH FÜR
VERKEHRSPPLANUNG UND
VERKEHRSTECHNIK



Technische Universität Wien
Institut für Verkehrswissenschaften
Forschungsbereich für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik
(TUW-FVV)

Karlsplatz 13/230-1
A-1040 Wien
T: +43-(0)1-58801-23101

Studie zum Thema

Österreichs Mobilität in 100 Jahren

durchgeführt im Auftrag der

*ÖBB-Holding AG
Am Hauptbahnhof 2
1100 Wien*

inhaltlich verantwortlich

*Dipl.-Ing. Ulrich Leth
Dipl.-Ing. Tadej Brezina
Ao. Univ. Prof. Mag. Dr. Günter Emberger*

*Ao. Univ. Prof. Mag. Dr. Günter Emberger
Forschungsbereichsleiter*

Wien, im Juni 2023



Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abkürzungsverzeichnis | 6 |
| Zusammenfassung..... | 7 |
| 1 Ausgangssituation und Aufgabenstellung | 8 |
| 2 Analyse der Rahmenbedingungen..... | 9 |
| 2.1 Geschichtliche Entwicklungen | 9 |
| 2.1.1 Bevölkerung und Siedlungsstruktur | 9 |
| 2.1.2 Infrastrukturangebot | 11 |
| 2.1.3 Personenverkehr | 14 |
| 2.1.4 Güterverkehr | 22 |
| 2.1.5 CO ₂ -Emissionen | 24 |
| 2.2 Aktuelle Zielsetzungen..... | 27 |
| 2.2.1 Internationale Klimaziele..... | 27 |
| 2.2.2 Nationaler Energie- und Klimaplan (BMK)..... | 30 |
| 2.2.3 Mobilitätsmasterplan 2030 (BMK) | 31 |
| 2.2.4 Bundesländerziele | 32 |
| 2.3 Prognosen und Szenarien zur Entwicklung der Rahmenbedingungen..... | 36 |
| 2.3.1 Entwicklung Bevölkerung | 36 |
| 2.3.2 Entwicklung Motorisierung | 37 |
| 2.3.3 Weitere, auf dem Klimawandel beruhende Entwicklungen..... | 39 |
| 3 Studien und Forschungsergebnisse zur Vergangenheit und Zukunft der Mobilität..... | 40 |
| 3.1 Internationale Studien und Forschungsergebnisse | 40 |
| 3.1.1 On Mobility (Marchetti, 1993)..... | 40 |
| 3.1.2 Toward green mobility: the evolution of transport (Ausubel et al., 1998) | 40 |
| 3.1.3 The future mobility of the world population (Schafer und Victor, 2000) | 41 |
| 3.1.4 Insights into future mobility (MIT Energy Initiative, 2019) | 43 |
| 3.1.5 Zukunftsszenarien autonomer Fahrzeuge - Chancen und Risiken für Verkehrsunternehmen (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV), 2015)..... | 43 |
| 3.1.6 The limits of transport decarbonization under the current growth paradigm (de Blas et al., 2020) | 43 |
| 3.1.7 Is It Time for a Public Transit Renaissance? (Shaheen und Cohen, 2018)..... | 44 |
| 3.1.8 Shape the Future of Mobility – Für ein zukunftsfähiges Schweizer Mobilitätssystem (PricewaterhouseCoopers AG, 2019)..... | 45 |
| 3.1.9 mobility4work - Mobilität für die digitalisierte Arbeitswelt (Haselsteiner et al., 2020) | 45 |
| 3.1.10 Drones for parcel and passenger transportation: A literature review (Kellermann et al., 2020) | 46 |



| | | |
|--------|---|----|
| 3.1.11 | Ökologische Bewertung von Verkehrsarten (Allekotte et al., 2020)..... | 47 |
| 3.1.12 | How (In)accurate Are Demand Forecasts in Public Works Projects?: The Case of Transportation (Flyvbjerg et al., 2005) | 49 |
| 3.1.13 | Guidance for transport planning and policymaking in the face of an uncertain future (Lyons und Davidson, 2016) | 50 |
| 3.1.14 | Transformation by design or by disaster – Why we need more transformative research now (Bogner et al., 2023) | 51 |
| 3.1.15 | Climate Endgame: Exploring catastrophic climate change scenarios (Kemp et al., 2022)..... | 51 |
| 3.1.16 | Theorising mobility justice (Sheller, 2018) | 52 |
| 3.1.17 | The political economy of car dependence: A systems of provision approach (Mattioli et al., 2020) | 53 |
| 3.2 | National | 53 |
| 3.2.1 | Sachstandsbericht Mobilität (Heinfellner et al., 2019) | 53 |
| 3.2.2 | mobalance – Möglichkeiten einer bewussten Gestaltung von Mobilität durch Anwendung des Suffizienzprinzips im österreichischen Kontext (Millonig et al., 2020)..... | 54 |
| 3.2.3 | Transition Mobility 2040 (Angelini et al., 2022) | 55 |
| 3.2.4 | Mobilität 2050 – Roadmap zum Umbau des Verkehrssystems (Slupetzky, 2021)..... | 55 |
| 3.2.5 | SAFiP – Systemszenarien Automatisiertes Fahren in der Personenmobilität (Soteropoulos et al., 2019)56 | |
| 3.2.6 | EISERN - Energy Investment Strategies And Long Term Emission Reduction Needs (Strategien für Energie-Technologie-Investitionen und langfristige Anforderung zur Emissionsreduktion) (Müller et al., 2012)57 | |
| 3.2.7 | FLADEMO - Flächendeckende Mobilitäts-Servicegarantie (Shibayama et al., 2022) | 58 |
| 3.2.8 | Berücksichtigung der Effective Carbon Rate bei der CO2-Bepreisung (Plank et al., 2023) | 60 |
| 3.3 | Bahnspezifisch | 61 |
| 3.3.1 | Network Rail Third Adaptation Report (Network Rail Limited, 2021)..... | 61 |
| 3.3.2 | Increased risk of extreme heat to European roads and railways with global warming (Mulholland und Feyen, 2021)..... | 63 |
| 3.3.3 | Impacts of climate change on operation of the US rail network (Chinowsky et al., 2019)..... | 65 |
| 3.3.4 | Climate change has both positive and negative implications on rail transport (Finnish Environment Institute)..... | 65 |
| 3.3.5 | Die Zukunft der Eisenbahn in Deutschland – Szenarien für das Jahr 2040 (Hofmann und von Olnhausen, 2019)..... | 65 |
| 4 | Prognose „Mobilität in Österreich in 100 Jahren“ | 67 |
| 4.1 | Zusammenfassung der Literatur..... | 67 |
| 4.2 | Über die Entwicklung der Rahmenbedingungen in Österreich | 68 |
| 4.3 | Systematische / systemische Betrachtungsweise von Verkehrsträgern | 69 |
| 4.3.1 | Fußverkehr/Radfahrer | 73 |
| 4.3.2 | Binnenschifffahrt/Kanäle..... | 73 |
| 4.3.3 | Eisenbahn/spurgebundene Verkehrsträger | 74 |



| | | |
|-----------------------------|-------------------------------|----|
| 4.3.4 | Automobil | 75 |
| 4.3.5 | Flugverkehr | 75 |
| 4.3.6 | Hyperloop, Drohnen, etc. | 76 |
| 4.4 | Fazit | 76 |
| Abbildungsverzeichnis | | 78 |
| Tabellenverzeichnis | | 81 |
| Literaturverzeichnis | | 82 |



Abkürzungsverzeichnis

| | |
|--------|---|
| AV | Autonomous vehicle, autonomes Fahrzeug |
| BIP | Bruttoinlandsprodukt |
| CAV | Connected and autonomous vehicle, Vernetztes und autonomes Fahrzeug |
| COP | Conference of Parties, Vertragsstaaten-Konferenz |
| ESD | Effort Sharing Decision, Lastenteilung für die Emissionsziele der EU-Mitgliedsstaaten |
| ETS | Emissions Trading System, der EU Emissionsrechtehandel |
| EU | Europäische Union |
| EV | Electric vehicle, Elektrofahrzeug |
| EW | Einwohner:in |
| IPCC | Intergovernmental Panel on Climate Change |
| Kfz | Kraftfahrzeug |
| KI | künstliche Intelligenz |
| km | Kilometer |
| Lkw | Lastkraftwagen |
| LNF | Leichtes Nutzfahrzeug |
| MaaS | Mobility as a Service |
| Maglev | magnetic levitation, Magnetschwebebahn |
| Mio. | Millionen |
| MIV | Motorisierter Individualverkehr |
| MMP | Mobilitätsmasterplan |
| Mrd. | Milliarden |
| ÖBB | Österreichische Bundesbahnen |
| ÖPNRV | Öffentlicher Personen-Nah- und Regional-Verkehr |
| ÖPNV | Öffentlicher Personennahverkehr |
| ÖV | Öffentlicher Verkehr |
| PJ | Petajoule |
| Pkw | Personenkraftwagen |
| RCP | Representative Concentration Pathway, Treibhausgaskonzentrationspfad |
| SFT | stress free temperature, spannungsfreie Temperatur |
| SNF | Schweres Nutzfahrzeug |
| TEN | Transeuropäische Netze |
| TGV | Train à Grande Vitesse, Hochgeschwindigkeitszug |
| UN | United Nations, Vereinte Nationen |
| UPS | Unfälle mit Personenschaden |
| WEM | With existing measures, Maßnahmenzenario |
| ZEV | Zero emission vehicle, emissionsfreies Fahrzeug |
| zGg | zulässiges Gesamtgewicht |



Zusammenfassung

Unser Mobilitätsverhalten wird sich in den nächsten Jahrzehnten grundlegend ändern – entweder, weil wir mit aller Kraft versuchen, die globale Erderwärmung unter 2 °C zu begrenzen und entsprechend einschneidende Maßnahmen setzen (change by design), oder weil die externen Rahmenbedingungen (Extremwetterereignisse, globale Migrationsströme, soziale und politische Verwerfungen) ein Beibehalten des Status quo nicht mehr zulassen (change by disaster). Im Rahmen dieser Studie wird der erste Ansatz verfolgt und untersucht, welche Verkehrsträger in einem zukunftsfähigen Verkehrssystem eine Rolle spielen werden (müssen).

In der Vergangenheit schon hat sich das Mobilitätsverhalten entsprechend den politischen, rechtlichen, infrastrukturellen und sozialen Rahmenbedingungen entwickelt. Nur so war es möglich, dass der Auto- und Flugverkehr trotz ihrer negativen direkten und indirekten Umweltauswirkungen eine derartige Bedeutung im Verkehrssystem erreichen konnten. Noch immer verzeichnet der Motorisierungsgrad Steigerungen, und Anteil des Schienenverkehrs am Modal Split stagniert im Personen- wie im Güterverkehr auf niedrigem Niveau.

Aktuell findet ein Paradigmenwechsel in der Bevölkerung und der Politik statt, der sich jedoch deutlich zu langsam vollzieht, um einen relevanten Beitrag zur Vermeidung der Klimakrise leisten zu können. Um die Klimaneutralität im Verkehr bis zum Jahr 2040 zu erreichen, sind neben technologischen Möglichkeiten wie der Elektrifizierung und Energieeffizienzsteigerungen auch signifikante Reduzierungen der Fahrleistungen von Pkws und Lkws im Vergleich zur Gegenwart erforderlich. Im Personenverkehr bedeutet dies eine Reduktion des Anteils des motorisierten Individualverkehrs (MIV) von 61 auf 42 Prozent und eine entsprechende Erhöhung des Anteils des Umweltverbunds (ÖV von 16 auf 23 Prozent, Radfahren von 7 auf 13 Prozent und Gehen von 16 auf 22 Prozent). Im Güterverkehr sollten zukünftige Transportzuwächse zu 100 Prozent auf die Schiene verlagert werden.

Weder Trendprognosen noch Szenarienrechnungen sind in der Lage, die Mobilität in 100 Jahren vorherzusagen. In der untersuchten Literatur herrscht jedoch Einigkeit, dass die Zukunft gestaltbar ist und die Politik entsprechend positive Zukunftsbilder entwickeln könne und müsse.

Im vorliegenden Bericht wurden die Entwicklung der Rahmenbedingungen – von der Bevölkerungsstruktur über das Infrastrukturanangebot bis zur Entwicklung im Personen- und Güterverkehr – analysiert, die aktuellen Zielsetzungen auf internationaler, nationaler und Bundesländer-Ebene zusammengetragen und existierende Prognosen und Szenarien zur zukünftigen Entwicklung der Mobilität gescreent. Im Rahmen einer umfangreichen Literaturstudie wurden die Erkenntnisse aus Forschungsarbeiten und Strategiepapieren gesammelt, die sich mit langfristigen Technologiezyklen und historischen Entwicklungen, zukünftig notwendigen oder intendierten Entwicklungen, Zukunftstechnologien, Policy-Überlegungen und Klimawandelanpassungsstrategien beschäftigen.

Im Zuge einer systemischen Betrachtung wurden Verkehrsträger anhand eines definierten Kriteriensets qualitativ hinsichtlich ihrer Zukunftsfähigkeit bewertet, wobei darauf bedacht genommen wurde, dass die individuelle Wahrnehmung des Verkehrs nicht mit der systemischen Wirkungsweise übereinstimmt. Bei der Analyse wurde festgestellt, dass das Zufußgehen und Radfahren als die vielversprechendsten Verkehrsträger der Zukunft bewertet werden. Der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) sowie der Bahnverkehr im Fern- und Güterverkehr wurden ebenfalls positiv bewertet. Das Automobil, Flugzeuge und andere neuere Transporttechnologien wurden aufgrund ihres jungen Alters und grober Defizite im Vergleich zu den anderen Verkehrsträgern – u.a. was den Energieverbrauch, die Resilienz gegen Änderungen in der Verfügbarkeit von Treibstoffen, den Flächenverbrauch, die Eignung für Alltagswege, die Inklusivität oder die Leistungsfähigkeit betrifft – als weniger zukunftsfähig bewertet. Das Automobil wird auch in Zukunft eine Rolle spielen, aber weniger dominierend sein und hauptsächlich für bestimmte Dienstleistungen wie Transporte im Gesundheits- und Warenaktor eingesetzt werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Mobilitätsbedürfnisse der Zukunft am besten durch eine Kombination aus aktiver Mobilität (Zufußgehen und Radfahren) sowie Bahn und öffentlichem Verkehr skalierbar, ökologisch, sozial und wirtschaftlich befriedigt werden können.

1 Ausgangssituation und Aufgabenstellung

Historisch gesehen war Mobilität auf Muskelkraft und Windkraft angewiesen, bis die Dampfmaschine und später die Eisenbahn größere Distanzen schnell und bequem überwindbar machten. Die Erfindung des Automobils und die Massenproduktion ermöglichten eine erschwingliche Mobilität für die breite Bevölkerung und beeinflussten die Siedlungsstrukturen (z. B. "autogerechte Stadt").

Jedoch führte der wachsende Autoverkehr in den 1950er und 1960er Jahren zu negativen Auswirkungen wie Staus, Lärm, Abgasen und Unfällen. Daraufhin wurden organisatorische, legislative und technische Maßnahmen ergriffen, um diese Probleme zu lösen, aber die gestiegene Nachfrage nach Automobilität kompensierte die positiven Effekte weitgehend. Zudem wurde dem Auto immer mehr Raum zugewiesen, während Fußgänger:innen, Radfahrer:innen und der öffentliche Verkehr an den Rand gedrängt wurden.

Die heutigen Siedlungsstrukturen sind stark auf den Autoverkehr ausgerichtet und führen zu einer hohen Abhängigkeit von individuellem motorisiertem Verkehr. Dieser Trend verstärkt sich weltweit, insbesondere in aufstrebenden Regionen in Asien, Afrika, dem Nahen Osten und Südamerika. Der Straßenverkehr verursacht jährlich 1,25 Millionen direkte und 3-7 Millionen indirekte Todesfälle (durch Luftverschmutzung). Zudem tragen Verkehrsemissionen weltweit zu 14% der Treibhausgasemissionen bei, in Österreich sind es etwa 30 Prozent.

Ziel des EU-Klimafahrplans 2050 ist es, das +2 °C-Limit einzuhalten. Dies erfordert den weitgehenden Verzicht auf fossile Energieträger bis 2050, einschließlich des Verkehrssektors, der seine Treibhausgasemissionen um 60% gegenüber dem Basisjahr 1990 reduzieren muss.

Das Ziel der Studie mit dem Titel "Österreichs Mobilität in 100 Jahren" besteht darin, mithilfe von Zeitreihen- und Trendanalysen, Untersuchungen der Rahmenbedingungen und Auswertung von Forschungsarbeiten im Mobilitätssektor die Anforderungen an die Mobilität in Österreich in 100 Jahren abzuleiten. Ergebnis der Studie ist eine systemische Betrachtung verschiedener Verkehrsträger und eine Bewertung ihrer Zukunftsfähigkeit.

Der Bericht ist wie folgt aufgebaut:

In Kapitel 2 wird eine umfassende Analyse verschiedener Entwicklungen und Zeitreihen zur Beschreibung der Mobilität und der Mobilitätsbedürfnisse im Personen- und Güterverkehr präsentiert. Dies umfasst Aspekte wie Bevölkerungsentwicklung, Siedlungsstrukturen, Infrastrukturangebot verschiedener Verkehrsträger sowie Verkehrsaufkommen von Personen und Gütern. Zudem werden die direkten und indirekten Auswirkungen des Verkehrssystems auf Verkehrssicherheit und Umweltbelastung dargestellt.

Basierend auf diesen Erkenntnissen werden in Kapitel 2 auch nationale und internationale Klimaziele analysiert und deren Relevanz für den Verkehrssektor diskutiert. Es wird betont, dass eine sofortige Reduktion der CO₂-Emissionen im Verkehrssektor notwendig ist, um die maximale Erwärmung auf 2 °C zu begrenzen. Der Verkehrssektor ist für rund ein Drittel der Treibhausgasemissionen in Österreich verantwortlich und der einzige Sektor, in dem die Emissionen steigen. Es besteht eine Diskrepanz zwischen dem Ziel, den Verkehrssektor bis 2040 klimaneutral zu machen, und der derzeitigen Realität.

Kapitel 3 fasst eine Vielzahl internationaler und nationaler Studien und Strategiepapiere zur Entwicklung der Mobilität zusammen und analysiert sie. Diese Studien untersuchen verschiedene Aspekte wie autonomes Fahren, Digitalisierung, individuelles CO₂-Budget für Mobilität und Auswirkungen des Klimawandels auf bestehende Infrastrukturen.

Aufbauend auf den vorherigen Schritten wurde in Kapitel 4 eine Methode zur systemischen Bewertung verschiedener Verkehrsträger hinsichtlich ihrer Zukunftsorientierung und Zukunftsfähigkeit entwickelt und die Verkehrsträger anhand eines definierten Kriteriensets qualitativ bewertet. Dabei wird das "Schichtenmodell" von Rupert Riedl angewendet, das besagt, dass evolutionäre Entwicklungen eine gewisse Zeit überlebensfähig sein müssen, bevor sich neue Entwicklungen darauf aufbauen können.



2 Analyse der Rahmenbedingungen

In diesem Kapitel wird anhand diverser Indikatoren die historische Entwicklung Österreichs in den letzten 100 Jahren nachgezeichnet (Kapitel 2.1). Es folgt ein Abschnitt bzgl. internationaler und nationaler Zielsetzungen im Bereich Mobilität (Kapitel 2.2), bevor das Kapitel mit Prognosen und Szenarien über die zukünftige Entwicklung der Rahmenbedingungen (Kapitel 2.3) endet.

2.1 Geschichtliche Entwicklungen

2.1.1 Bevölkerung und Siedlungsstruktur

Die Bevölkerung Österreichs hat in den letzten 100 Jahren um 2,5 Mio. Menschen bzw. fast 40 Prozent zugenommen, wobei sich Phasen der Stagnation (1950er- bzw. 1970er/1980er-Jahre) mit Phasen verstärkten Wachstums (1960er-Jahre, Ende 1980er-/Anfang 1990er-Jahre, seit 2000) abwechseln (Abbildung 1).

Die Lebenserwartung hat während dieser Zeit kontinuierlich zugenommen. Lag sie Anfang der 1950er-Jahre noch bei knapp 62 Jahren für Männer und 67 Jahren für Frauen, beträgt sie aktuell ca. 79 Jahre für Männer und 84 Jahre für Frauen (Abbildung 2). Die zunehmende Alterung der Gesellschaft, aber auch die immer länger werdenden Zeiträume gesunder (und mobiler) Nicht-mehr-Erwerbstätigkeit haben Auswirkungen auf das Mobilitätsverhalten und führen zu einer erhöhten Verkehrsnachfrage.

Der Urbanisierungsgrad erreicht gegen Ende der 1980er-Jahre einen Höhepunkt, als fast zwei Drittel der österreichischen Bevölkerung in Städten wohnte. Es folgte ein Rückgang bis 2012 auf ca. 57 Prozent und ein neuerlicher Anstieg seither (Abbildung 3).

Zwischen den einzelnen Wirtschaftssektoren hat es gravierende Verschiebungen gegeben: alleine in den vergangenen 45 Jahren sind die Erwerbstätigen in der Land- und Forstwirtschaft um 57 Prozent zurückgegangen, deren Anteil von 13 Prozent auf 4 Prozent; die Anzahl der in Industrie und Gewerbe Beschäftigten ist im selben Zeitraum um 16 Prozent zurückgegangen, der Anteil von 42 Prozent auf 25 Prozent; die Beschäftigten im Dienstleistungsgewerbe haben sich hingegen mehr als verdoppelt, ihr Anteil ist von 45 Prozent auf 71 Prozent gestiegen (Abbildung 4).

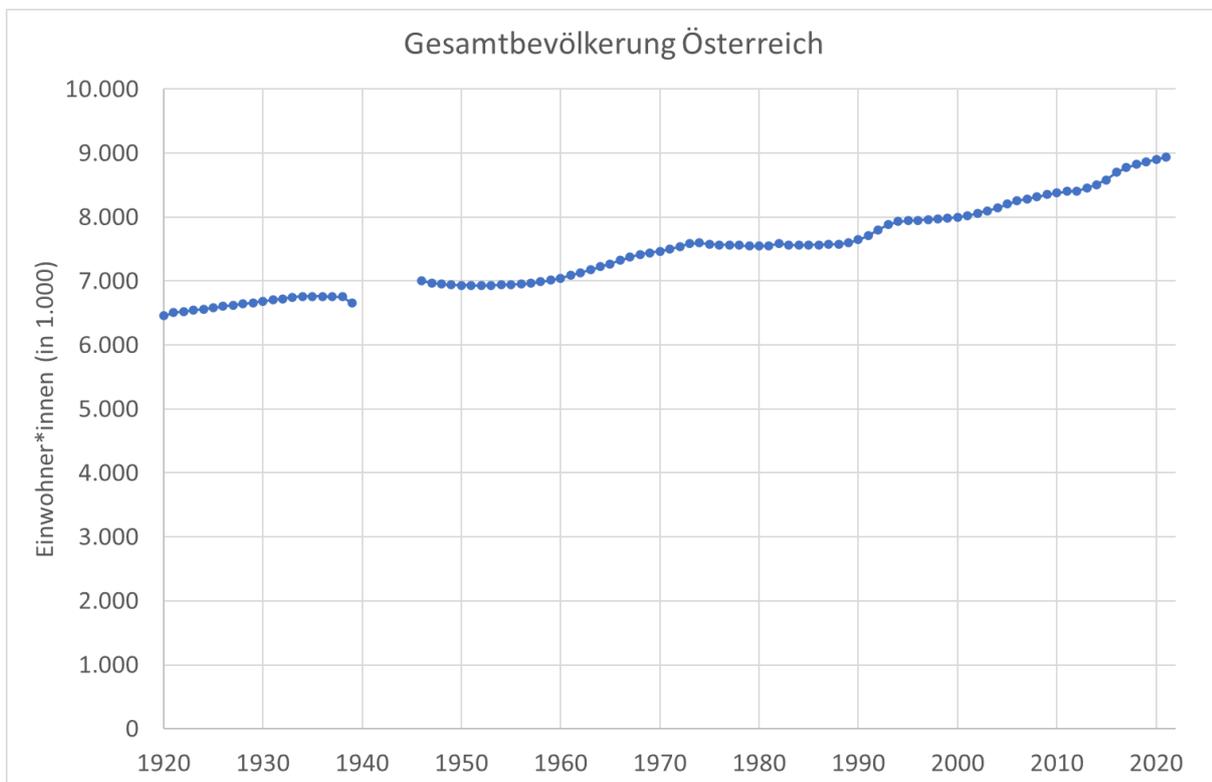


Abbildung 1: Entwicklung des gesamten Bevölkerungsbestandes in Österreich (eigene Darstellung auf Basis Statistik Austria (2022c)).

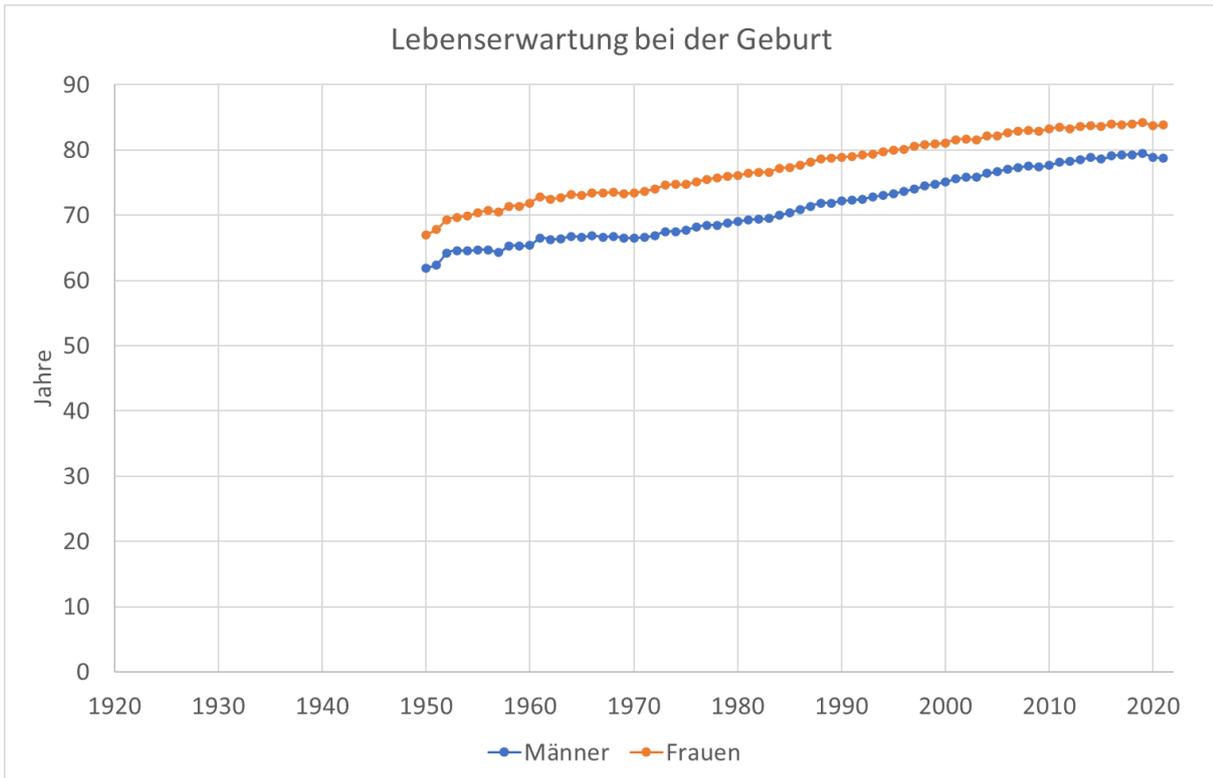


Abbildung 2: Lebenserwartung bei Geburt (eigene Darstellung auf Basis Wirtschaftskammer Österreich (2022b)).

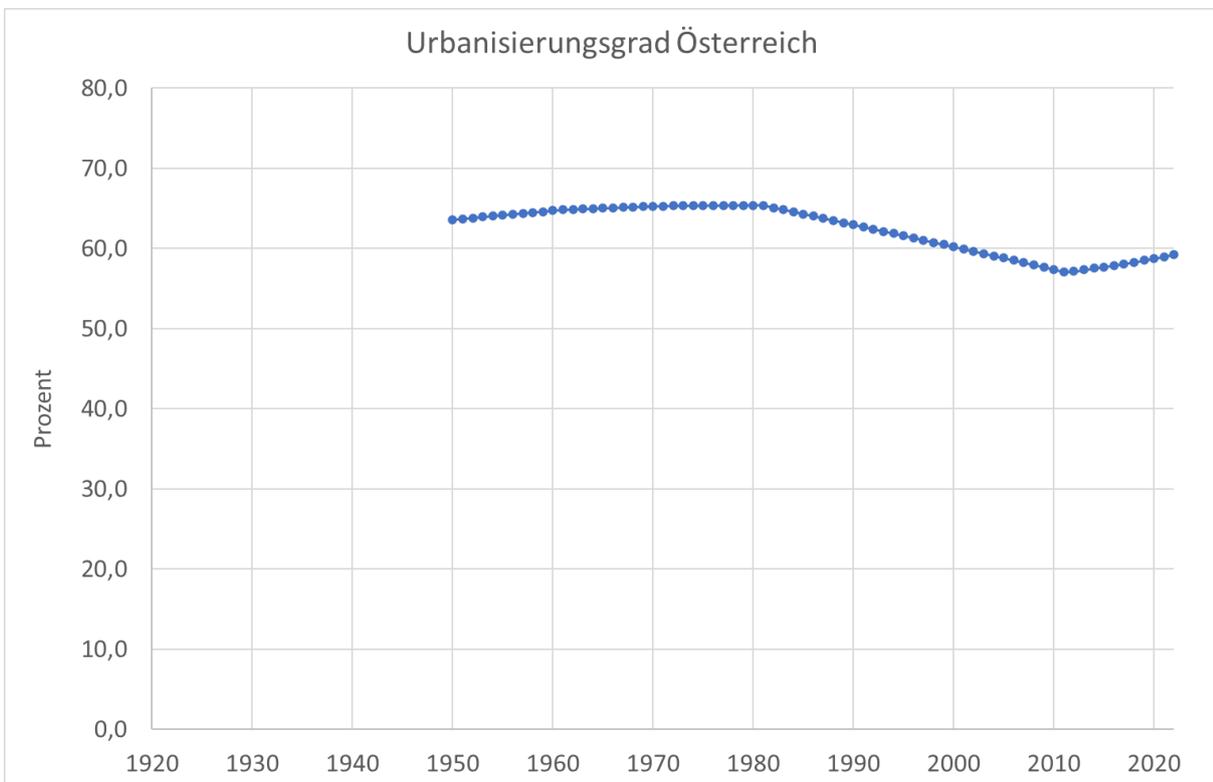


Abbildung 3: Entwicklung des Urbanisierungsgrades in Österreich; Quelle: eigene Darstellung auf Basis United Nations Department of Economic and Social Affairs (2019).

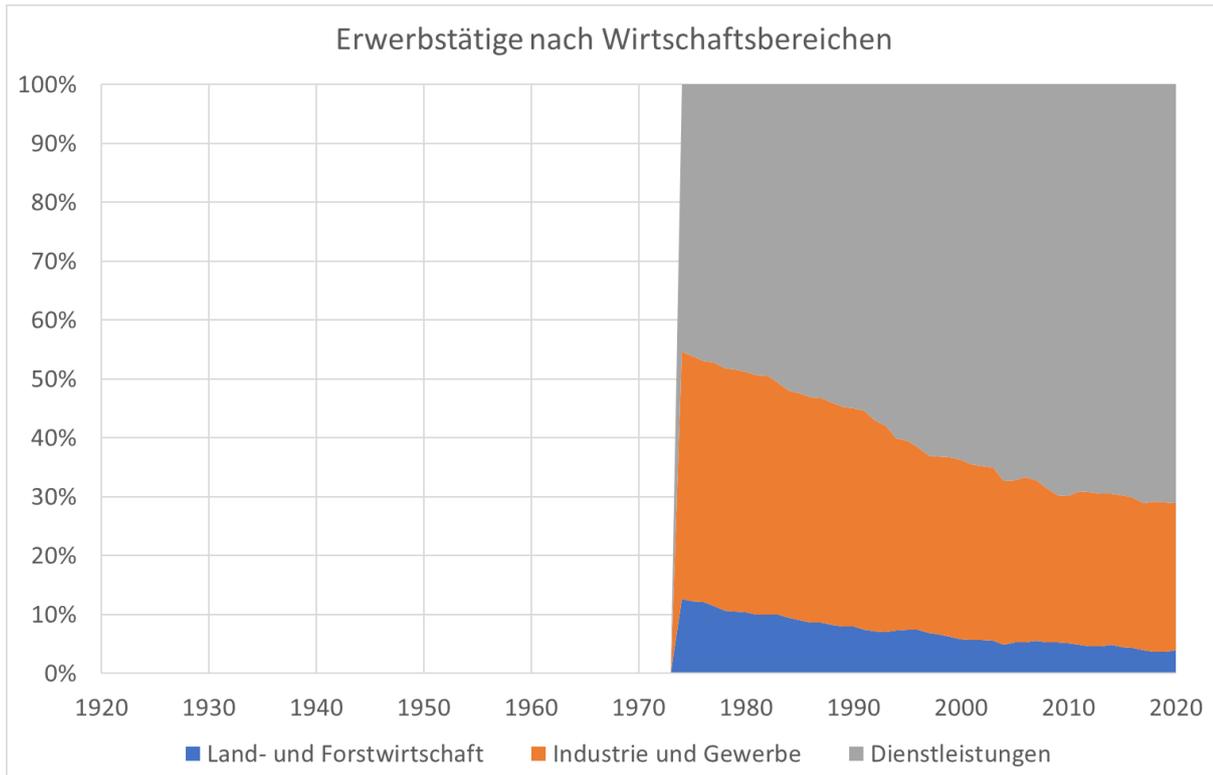


Abbildung 4: Erwerbstätige nach Wirtschaftsbereich; Quelle: eigene Darstellung auf Basis Statistik Austria (2022d).

2.1.2 Infrastrukturangebot

Für die Darstellung des Verkehrsinfrastrukturangebotes werden Zeitreihen der Längen von hochrangigen Straßen, der Betriebslänge des ÖBB-Schienennetzes und der an dieses andockenden Anschlussbahnen verwendet.

Während das hochrangige Straßennetz praktisch erst seit den 1940er und 1950er-Jahren errichtet wurde und inzwischen ca. 2.250 km lang ist (Abbildung 5), geht die Länge des Schienennetzes seit dem 2. Weltkrieg zurück (Abbildung 6). Beim hochrangigen Straßennetz fanden die größten Zuwächse in den 1970er und 1980er Jahren statt, wobei sich das gesamte Autobahn- und Schnellstraßennetz mit einem Zuwachs von 547 km pro Jahrzehnt mehr als verdoppelte. Zwischen 1980 und 1990 nahm die Länge um weitere 698 km (rund 40 Prozent) auf 1.684 km zu.

Dem stetigen, schrittweisen Rückgang der Betriebslänge des ÖBB-Schienennetzes seit dem 2. Weltkrieg folgte in den Jahren 2009 bis 2011 die Einstellung bzw. Ausgliederung zahlreicher, hauptsächlich nicht elektrifizierter Nebenbahnen, vor allem in den Bundesländern Niederösterreich und Burgenland. Konkret ging es dabei um 807 km Strecken, davon 47 km elektrifiziert.

Die Elektrifizierung des Netzes über die Nachkriegsjahre erreichte in den 2000er-Jahren ein Plateau von gut 3.500 km Länge, das seitdem weniger stark, aber dennoch konstant steigt und im Jahr 2022 einen Elektrifizierungsgrad von 75 Prozent erreichte.

Die Anzahl der Anschlussbahnen vom ÖBB-Netz zu Verladestellen und Betrieben stieg nach dem zweiten Weltkrieg kontinuierlich an und erreichte 1986 mit 1.369 Stück das Maximum. Der Stagnation auf dem Niveau von ca. 1.300 Anschlussbahnen bis in die 2. Hälfte der 1990er Jahre folgte ein starker Rückgang und ab 2007 auf 37 Prozent des Maximums binnen zwei Jahrzehnten.

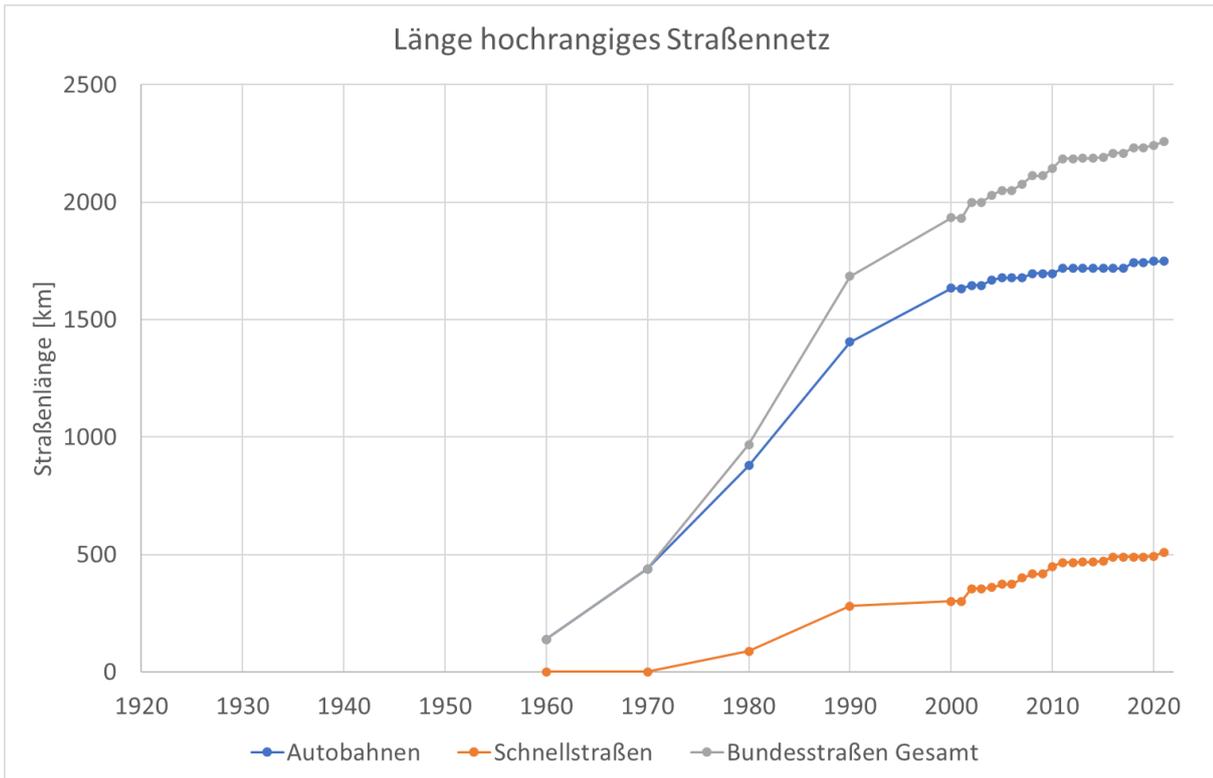


Abbildung 5: Entwicklung Straßennetz; Quelle: eigene Darstellung auf Basis BMK (2022b, S. 11).

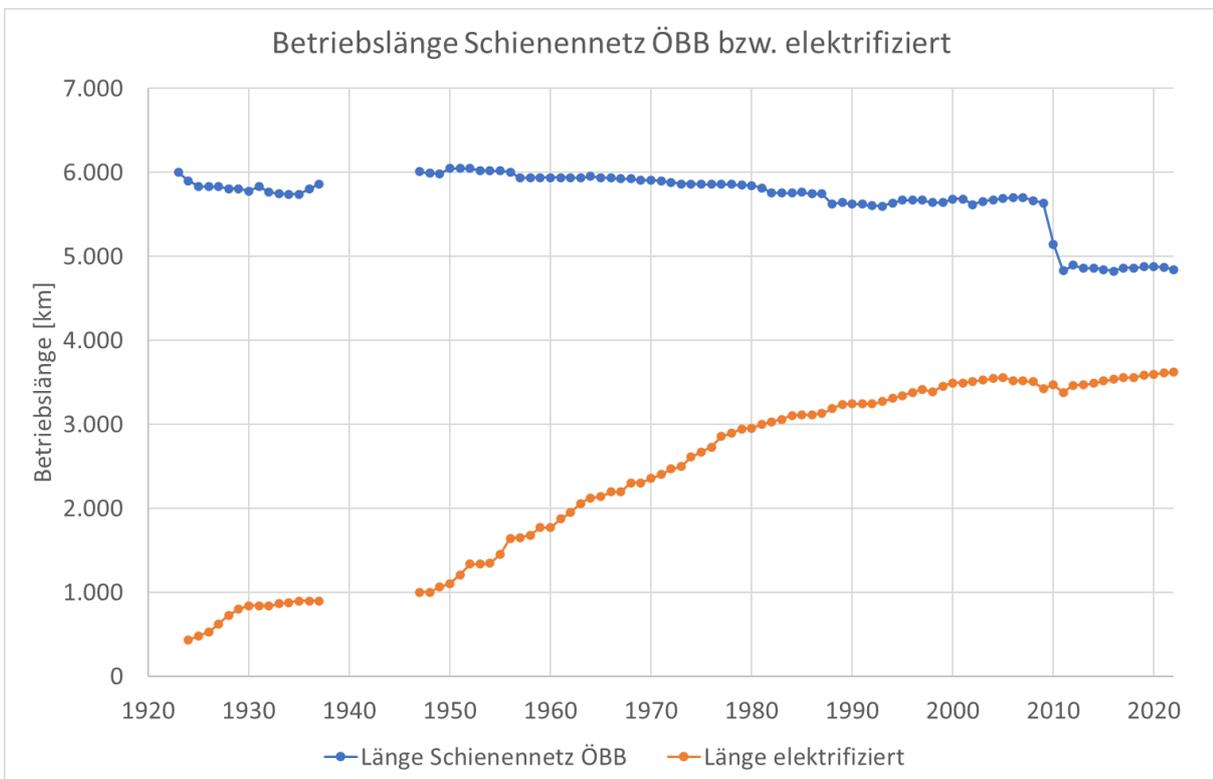


Abbildung 6: Entwicklung der Betriebslänge im Schienennetz, Quelle: eigene Darstellung auf Basis ÖBB-Holding AG (2023).

Abbildung 7 bis Abbildung 9 zeigen das mit Personenverkehrsleistungen bediente Schienennetz zu den drei Zeitpunkten 1920, 1970 und 2020/21. Eine Übersicht der Einstellung von Bahnstrecken mit Personenverkehrsleistungen zwischen den 1920er und den 2000er Jahren ist der Website „Bahnnetz Österreich“ ("Bahnwalter", 2018) zu entnehmen.

Bahnnetz Österreich 1920 (Personenverkehr)

Stand: 1. 1. 1920

- Normalspur
- - - Schmalspur
- Weiterführung einer Lokalbahn auf Straßenbahngleisen

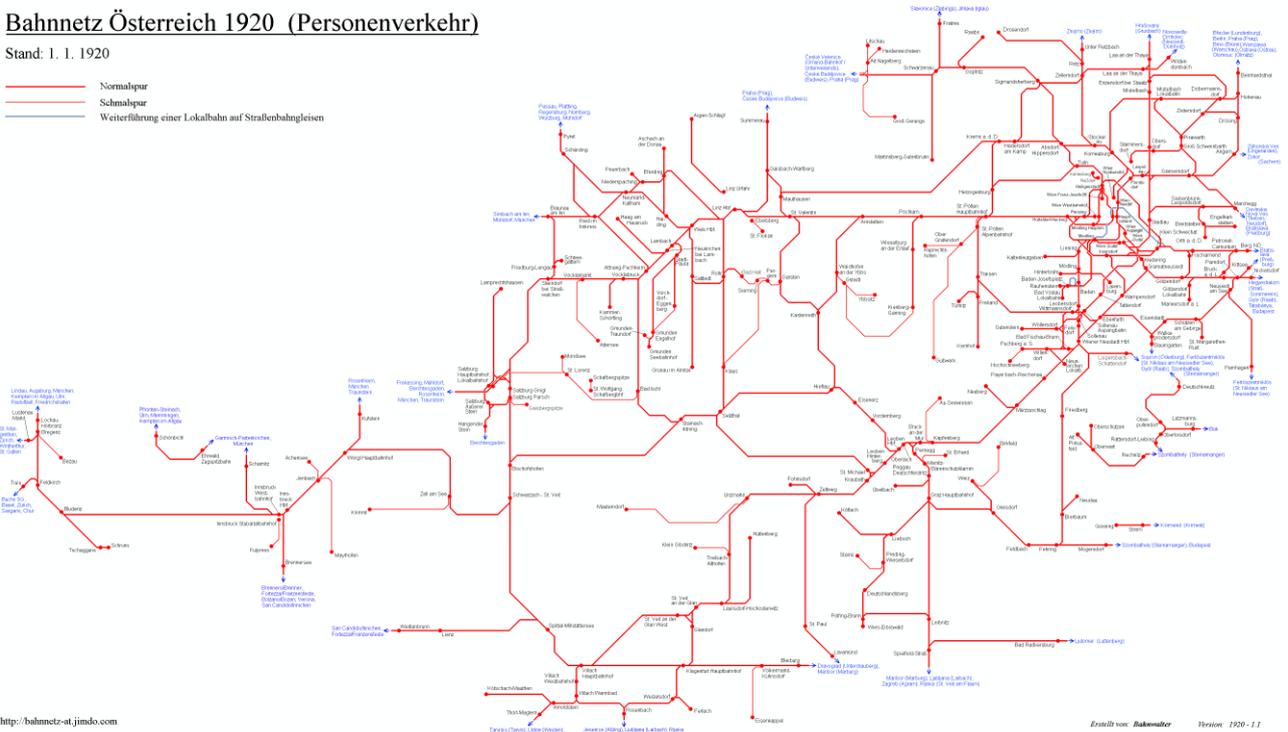


Abbildung 7: Netzplan Österreich 1920, Quelle: "Bahnwalter" (2020).

Bahnnetz Österreich 1970 (Personenverkehr)

Stand: 1. 1. 1970

- Normalspur
- - - Schmalspur
- - - - - Eigentlich schon eingestellte, aber im ÖBB-Fahrplanch noch registrierte Strecke.
- - - - - Schienenersatzverkehr mit Bussen mit Bahn-Tarif
- Weiterführung einer Lokalbahn auf Straßenbahngleisen

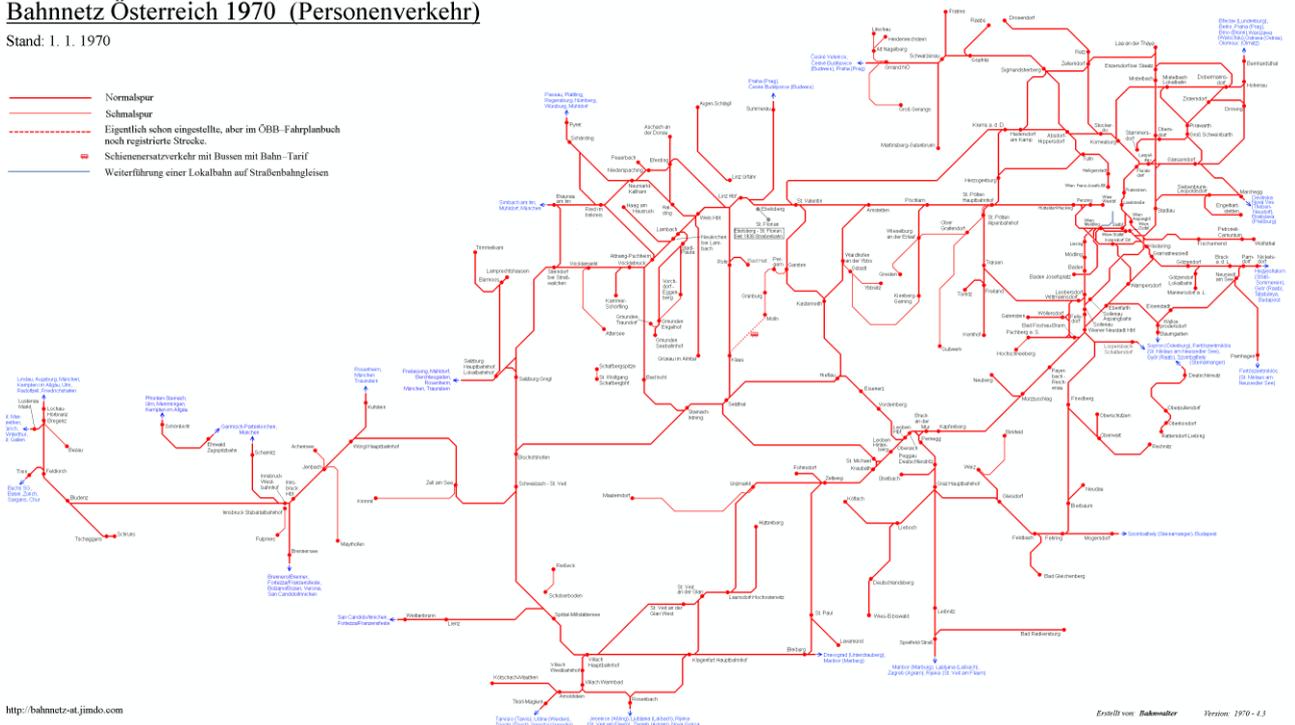


Abbildung 8: Netzplan Österreich 1970, Quelle: "Bahnwalter" (2020).

Bahnnetz Österreich 2020–2021 (Personenverkehr)

Gültig von 15. 12. 2019 bis 11. 12. 2021

- Normalspur
- Schmalspur
- Nicht täglich: ⊙ – Nur Mo-Fr, wenn Werktag ⊙ – Nur Werktag ⊙ – Nur Sa, So, Feiertag
- ⊙ – Betriebszeiten siehe im daneben angefügten Kasten
- ⊙ – Nicht täglich betriebene Strecken ohne Symbol haben sonstige, nicht auf einfachen Wochentagsangaben basierende Festlegungen der Betriebslage
- Weiterführung einer Lokalbahn auf Straßenbahngleisen
- Museumsbahn – Saisonaler Betrieb, meist Sa, So, Feiertage während der Sommermonate
- Museumsbahn – Nur an einzelnen Tagen im Jahr
- Strecke, die nicht mehr existiert oder keinen Personenverkehr mehr hat
- Museumsbahn und Schienenfahrradlinien-Betrieb
- Nur Schienenfahrradlinien-Betrieb

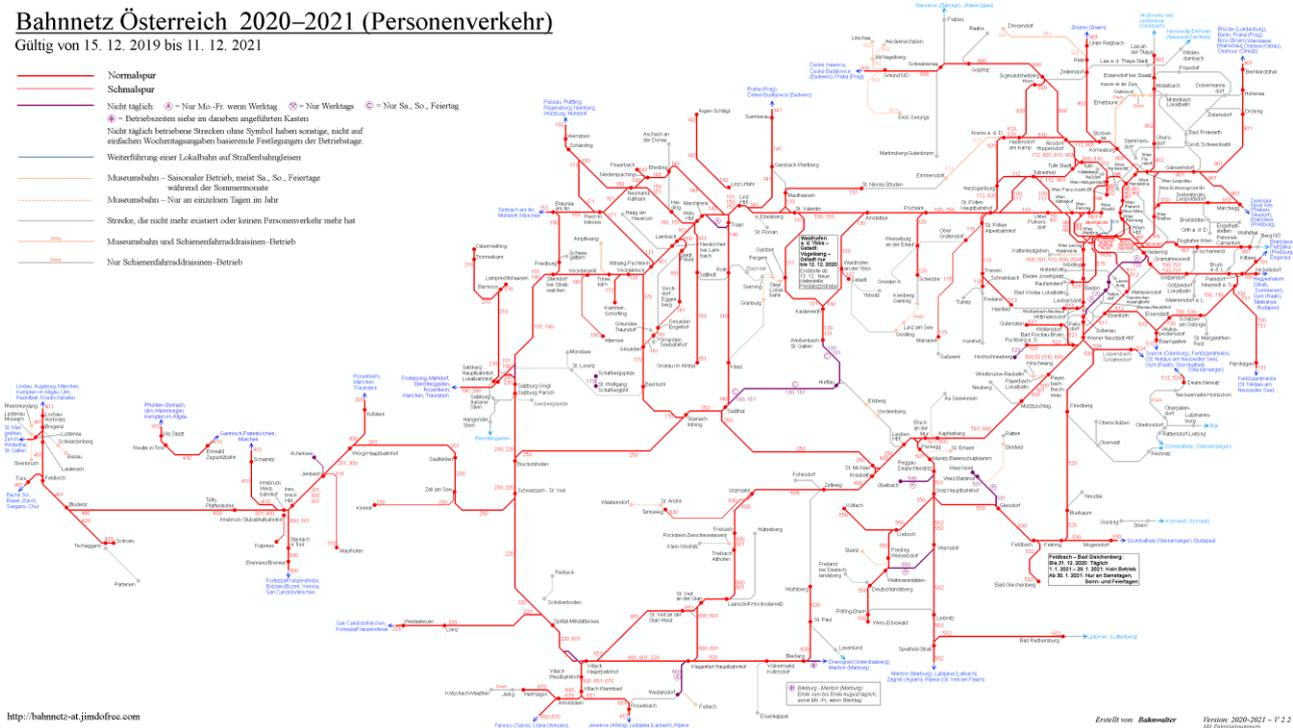


Abbildung 9: Netzplan Österreich 2020, Quelle: "Bahnwalter" (2020).

2.1.3 Personenverkehr

Zur Veranschaulichung der Personenverkehrsentwicklungen werden der Kfz-Bestand und der Motorisierungsgrad für Österreich und die einzelnen Bundesländer dargestellt. Darüber hinaus wird der Modal Split basierend auf Verkehrsleistung/-aufwand und der Modal Split basierend auf der Weegeanzahl (seit 1950) verwendet. In weiterer Folge werden die Betriebsleistungen der Bahn im Personen- und Güterverkehr sowie das Transportaufkommen dargestellt. Abschließend werden internationale Zeitreihen für Radverkehrsentwicklungen dargestellt und Verkehrssicherheitsbetrachtungen angestellt.

Der Pkw- und Kombibestand (Abbildung 10) hat sich seit den 1950er-Jahren linear entwickelt, ebenso der Lkw-Bestand, wenn auch auf niedrigerem Niveau. Der Pkw-Bestand hat die 5 Mio.-Fahrzeugmarke im Jahr 2019 überschritten, der Lkw-Bestand beträgt seit 2020 über 500.000 Fahrzeuge. Die einspurigen Kfz erlebten in den 1950er-Jahren einen Höhenflug, gefolgt von einer Stagnation bis Anfang der 2000er-Jahre und einem moderaten Anstieg seither.

Der Motorisierungsgrad, der bis in die 1990er-Jahre eine linear zunehmende Tendenz zeigte, flacht inzwischen deutlich ab. 2022 war das erste Jahr, in dem der Motorisierungsgrad – aufgrund des hohen Bevölkerungswachstums – gesunken ist (Abbildung 11). Auf Bundesländerebene zeigt sich ein differenziertes Bild: während der Motorisierungsgrad in den Flächenbundesländern weiterhin wächst – allerdings auf unterschiedlichem Niveau (Burgenland mit ca. 680 Pkw/1.000 EW vs. Tirol/Vorarlberg mit ca. 550 Pkw/1.000 EW) – geht er in Wien seit dem Jahr 2001 und dem Höchstwert von 416 Pkw/1.000 EW zurück und liegt aktuell bei 376 (Abbildung 12).

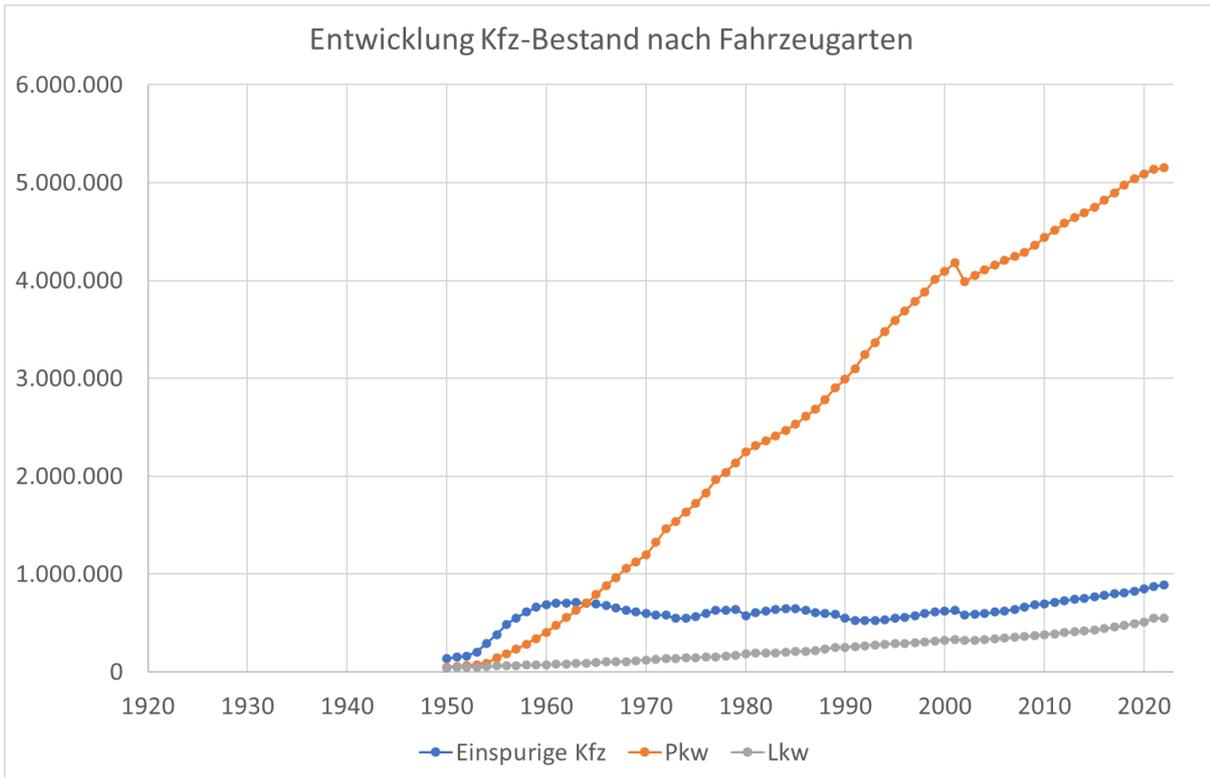


Abbildung 10: Entwicklung Kfz-Bestand, Zeitreihenbruch 2001/2002 aufgrund geänderter Erfassungsmethodik; Quelle: eigene Darstellung auf Basis BMK (2022b).

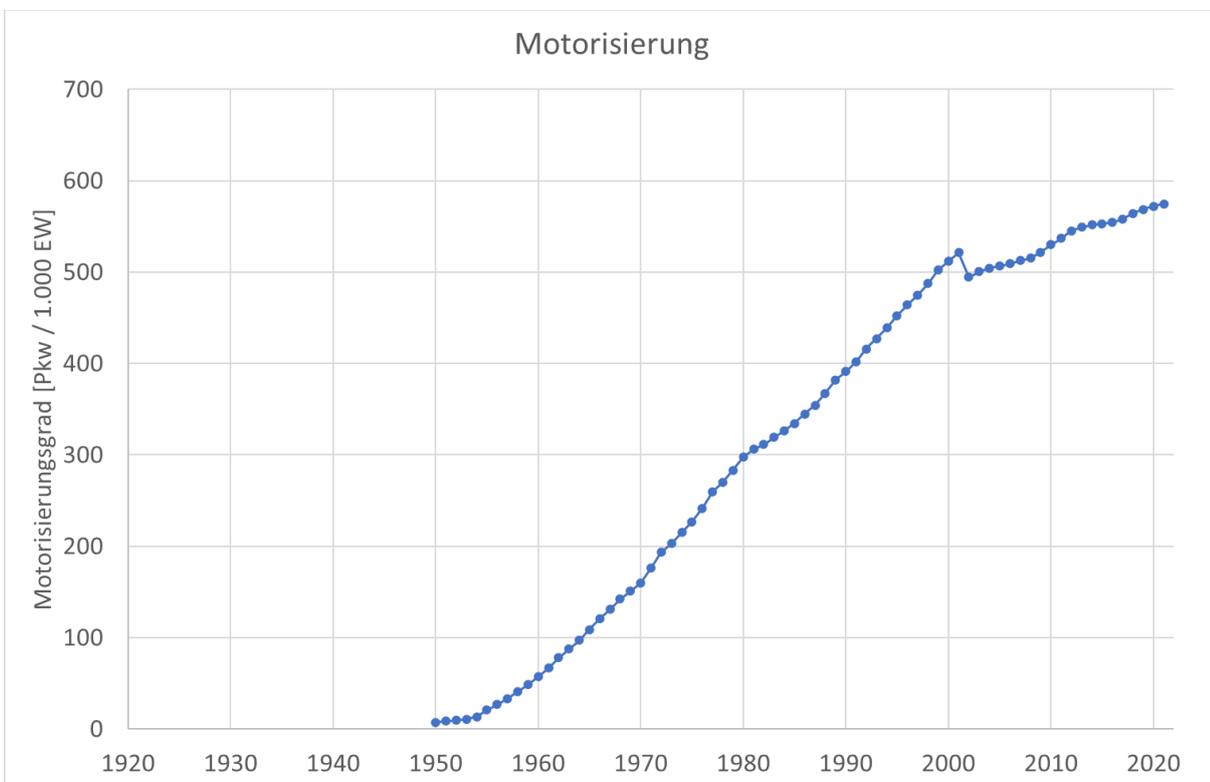


Abbildung 11: Entwicklung Motorisierungsgrad Österreich, Zeitreihenbruch 2001/2002 aufgrund geänderter Erfassungsmethodik; Quelle: eigene Berechnung auf Basis Wirtschaftskammer Österreich (2022a) und Statistik Austria (2022c).

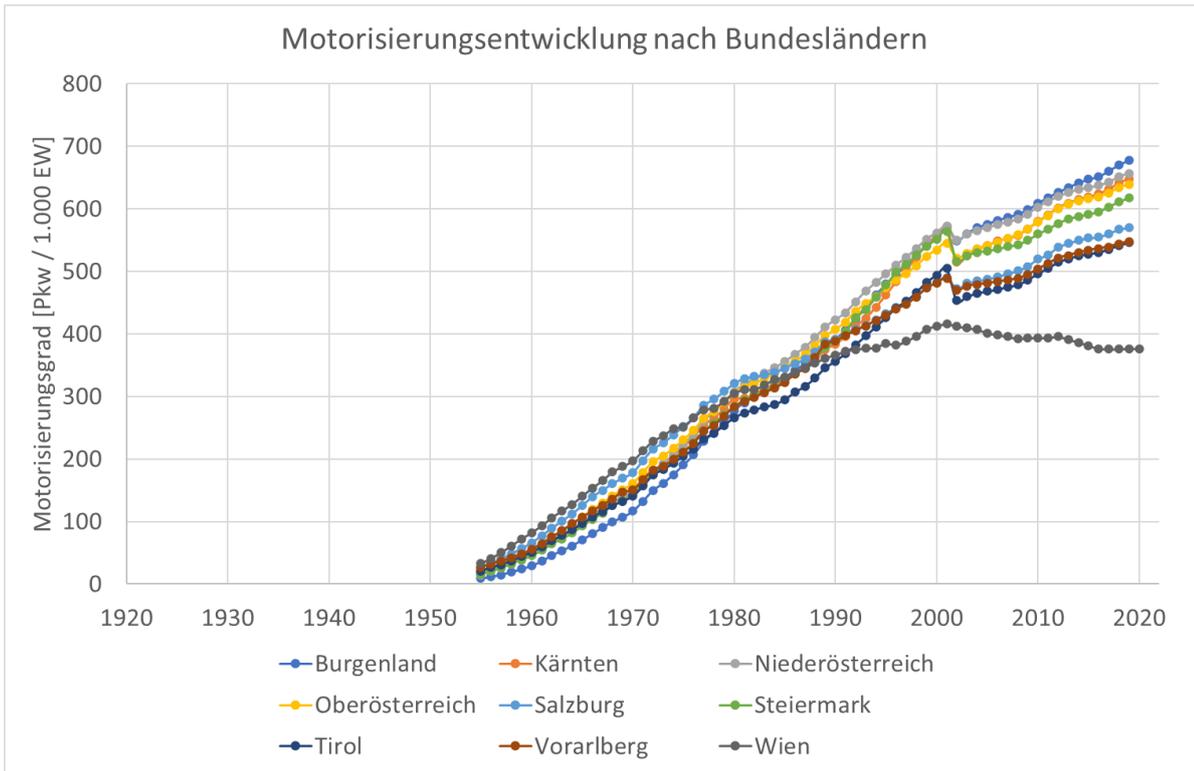


Abbildung 12: Entwicklung Motorisierungsgrad nach Bundesländern, Zeitreihenbruch 2001/2002 aufgrund geänderter Erfassungsmethodik; Quelle: eigene Berechnung auf Basis Wirtschaftskammer Österreich (2022a) und Statistik Austria (2022c).

Die Verkehrsleistungen bzw. Verkehrsaufwände im Personenverkehr auf der Straße und der Schiene entwickelten sich annähernd parallel, allerdings auf unterschiedlichen Niveaus. Das Verhältnis von Schiene zu Straße hat sich dabei im Laufe der Zeit von 1:5 im Jahr 1970 zu 1:7 im Jahr 2009 verändert (Abbildung 13).

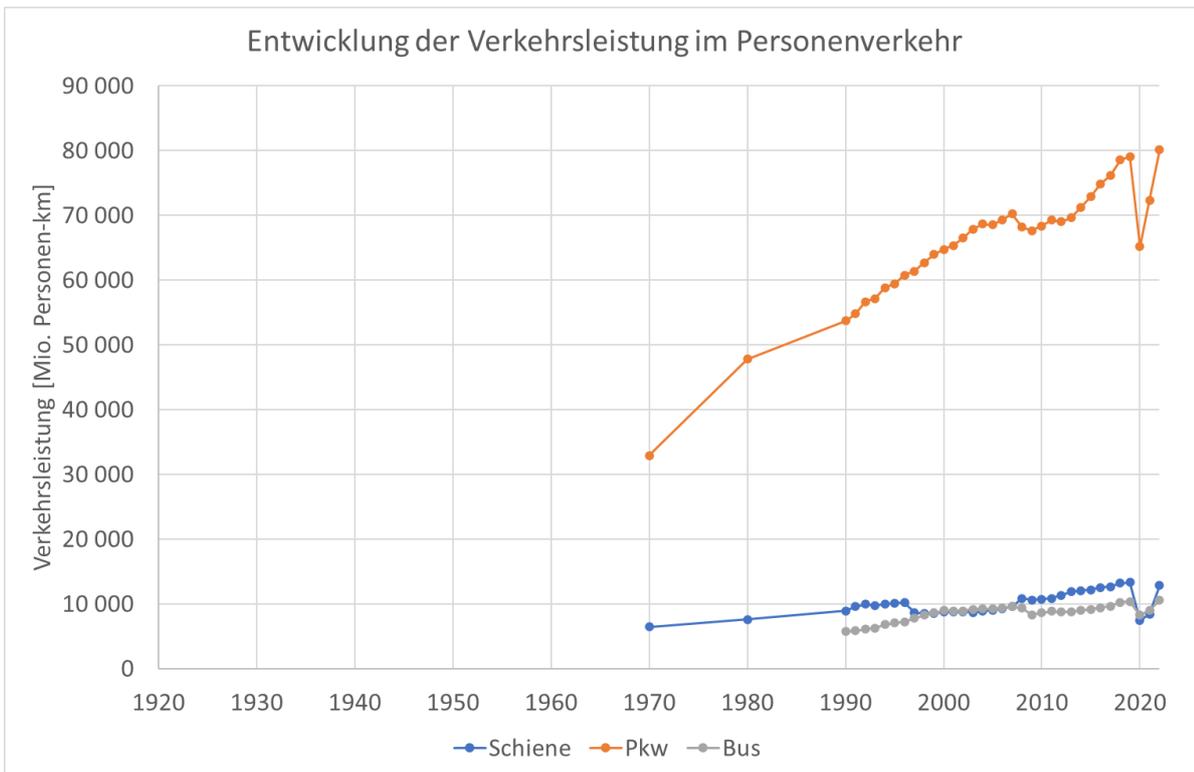


Abbildung 13: Entwicklung der Verkehrsleistung im Personenverkehr; eigene Darstellung auf Basis (European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport, 2022; ÖBB-Holding AG, 2023).

Die Zeitreihen der ÖBB-zentrierten Leistungsparameter in Form von Betriebs- und Transportleistung sowie dem Transportaufkommen in Form von Fahrgästen sind in Abbildung 14 dargestellt.

Die Betriebsleistung der Zugkilometer zeigt einen kontinuierlichen Anstieg nach dem 2. Weltkrieg. Deutlich merkbar ist der Neue Austro Takt 1991 (NAT 91), der in den Jahren 1991 und 1992 zu einer massiven Ausweitung der angebotenen Zugsleistungen führte. Ebenso ersichtlich sind die darauffolgenden Anpassungen, die bis Mitte der 1990er zu einer merkbaren Reduktion führten. Der Plan912, der um das Ende des 1. Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts umgesetzt wurde, brachte einen erneuten Anstieg. Ebenso sichtbar ist der COVID-19-bedingte Rückgang des Jahres 2020, in dem die kontinuierlichen Serviceausweitungen nur einen kurzen Dämpfer erlitten. Diese Angebotsausweitungen zeigen sich sowohl in der Transportleistung, also der von der Summe der Fahrgäste zurückgelegten Reiseentfernungen, und im Fahrgastaufkommen, die im Jahr 2022 fast wieder das Pre-COVID-19-Level erreicht haben.

Der Vergleich von Betriebsleistung, Transportleistung und Fahrgastaufkommen zeigt, dass die vom NAT91 erwarteten Effekte bei den Fahrgästen nicht so stark ausfielen – die nachfolgenden Anpassungen also notwendig machten.

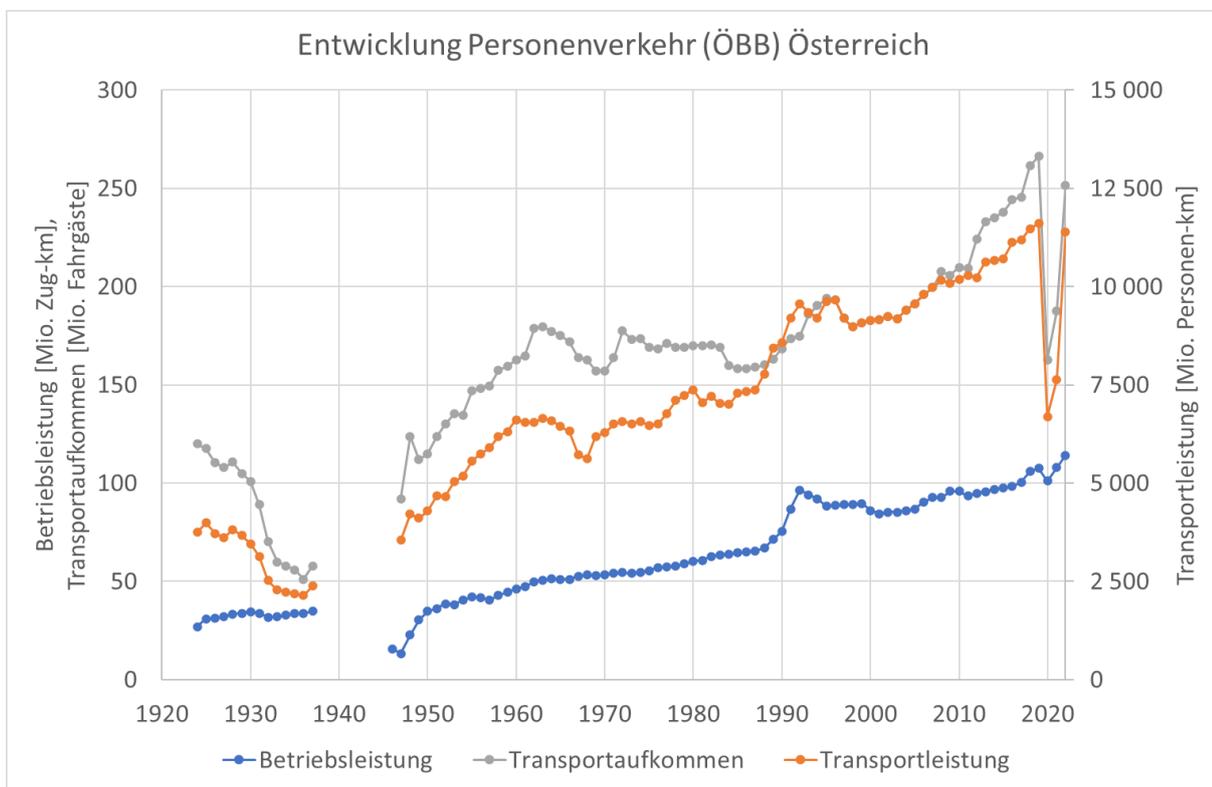
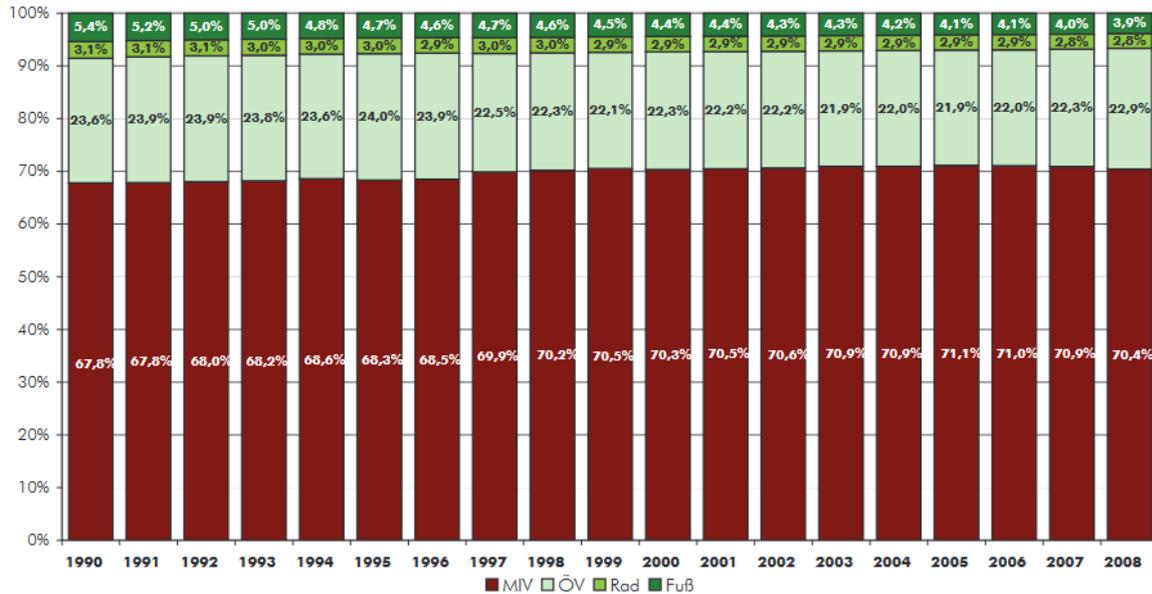


Abbildung 14: Entwicklung des ÖBB-Personenverkehrs; Anmerkung: Einbruch durch COVID-19 im Jahr 2020, Zeitreihenbruch 1997 – 2008 durch Fortschreibung mit Wachstumsrate Fahrgäste korrigiert; Quelle: eigene Abbildung auf Basis ÖBB-Holding AG (2023).

Von den rein betriebswirtschaftlich orientierten Kennzahlen der erbrachten Transportleistungen abgesehen hat sich der Modal Split als aussagekräftiges Beurteilungskriterium für das Verkehrsgeschehen auf unterschiedlichen Maßstabsebenen etabliert. Dieser wird meistens aus der Anzahl der zurückgelegten Wege berechnet, für spezielle Fragestellungen wird er auf Basis der Verkehrsleistung dargestellt.

Der Modal Split – berechnet aus der Verkehrsleistung (= Verkehrsaufwand) – zwischen MIV, ÖV, Rad- und Fußverkehr zeigt in der Zeitreihe der letzten 30 Jahren nur geringste Veränderungen (Abbildung 15 und Abbildung 16).

Entwicklung der Verkehrsleistung im Personenverkehr nach benutztem Verkehrsmittel 1990 - 2008 in [Prozent] im Inland



Quelle: UBA, Grundlagen zur Österreichischen Luftschadstoffinventur 2009

HERRY 2011

Abbildung 15: Modal Split nach Verkehrsleistung (Personenkilometer) für die Jahre 1990-2008; Quelle: BMVIT (2012)

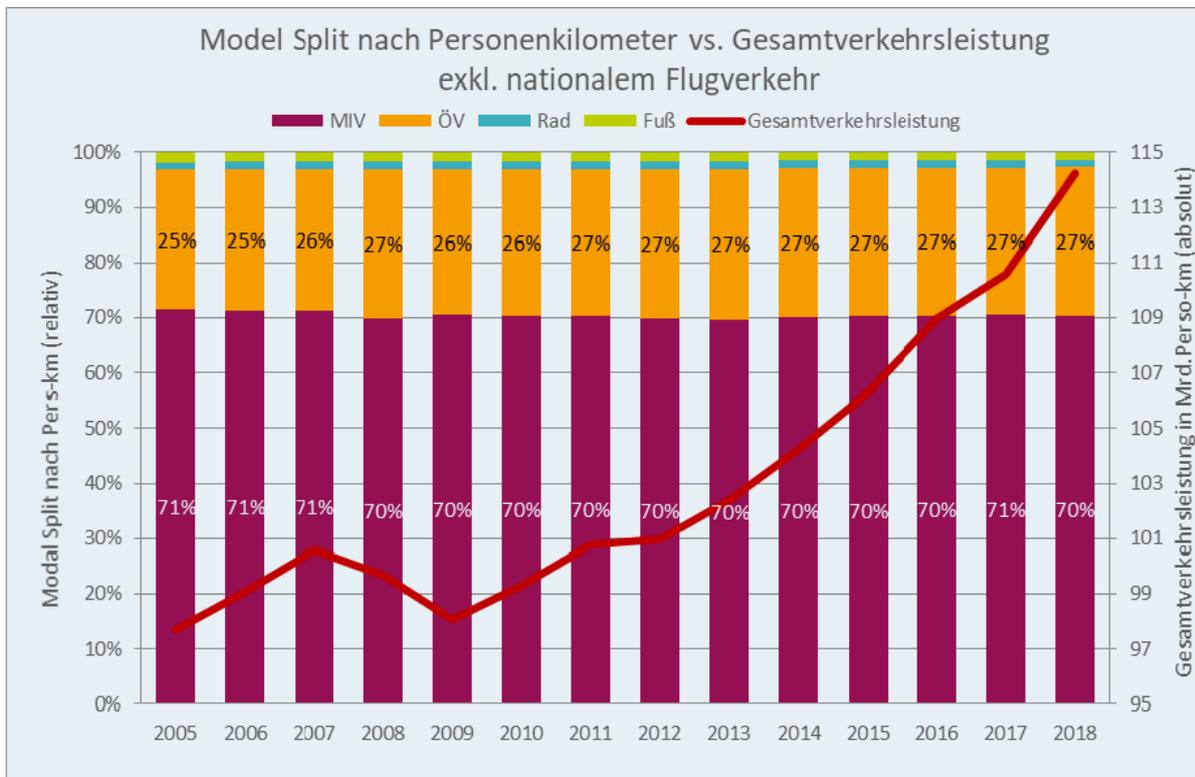


Abbildung 16: Modal Split nach Verkehrsleistung (Personenkilometer) für die Jahre 2005-2018; Quelle: Balas et al. (2021)

Der vom Umweltbundesamt für die CO₂-Emissions-Inventur ermittelte Modal Split für die Jahre 1990 und 2019 ist in Abbildung 17 ersichtlich. Es zeigt sich eine leichte Abnahme des Pkw-Anteils um 1,5 Prozentpunkte, diese wurde jedoch von anderen mechanisierten Verkehrsmitteln kompensiert. So kam es bei den Bussen, dem ÖPNV und bei den Motorrädern zu Zuwächsen. Auf der anderen Seite verzeichneten

das Fahrrad und das Zuzußgehen Rückgänge. Das Zuzußgehen halbierte sich in Relation beinahe in diesen knapp 30 Jahren.

Die langjährige Zeitreihe des Modal Split ab 1950 – berechnet aus der Anzahl der Wege – zeigt eine massive Zunahme des MIV-Anteils, die sich ab 1970 abgeschwächt fortsetzt. Exakt gegenläufig entwickelt sich der Fußverkehrsanteil. Der Radverkehrsanteil sinkt stark bis 1980 und stagniert dann auf niedrigem Niveau. Der ÖV-Anteil sinkt zuerst leicht und steigt dann wieder auf das Niveau von 1950 (Abbildung 18).

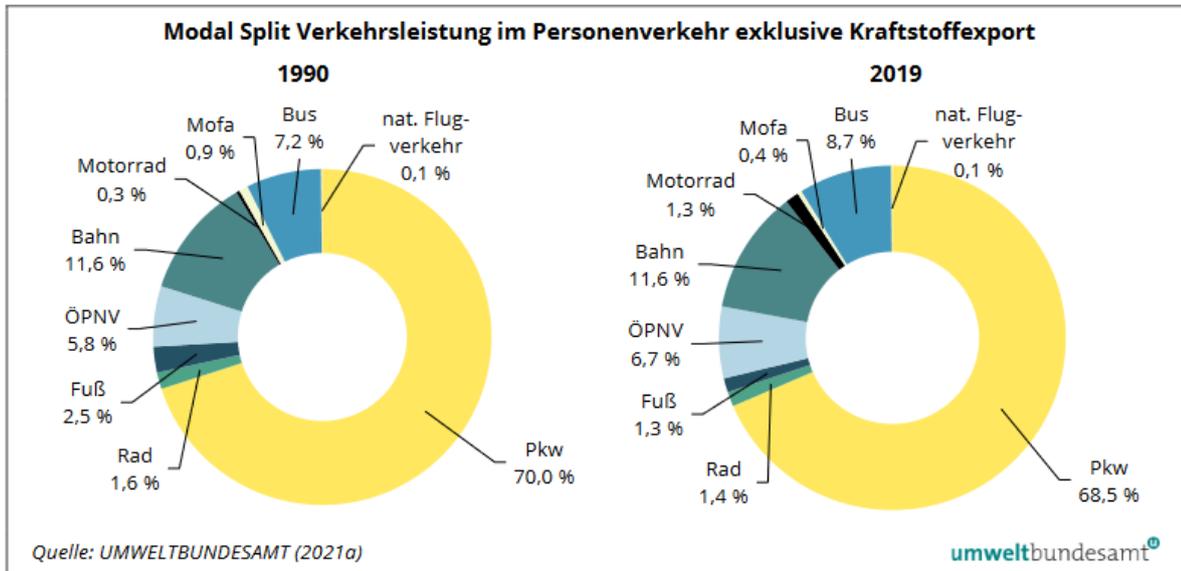


Abbildung 17: Modal Split Verkehrsleistung im Personenverkehr (P-km) Inland (exklusive Kraftstoffexport und internationaler Flugverkehr), 1990 und 2019; Quelle: Umweltbundesamt (2021).

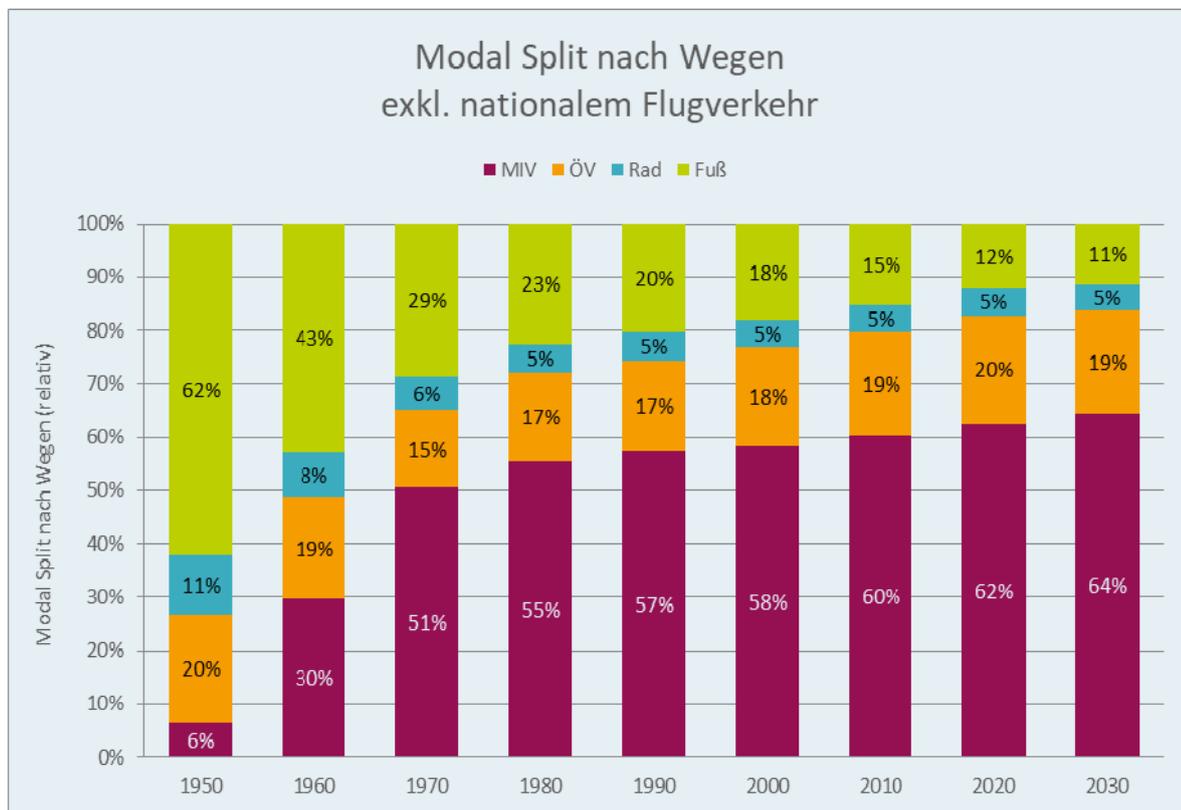


Abbildung 18: Modal Split seit 1950, inkl. Ausblick bis 2030 nach Wegen; Quelle: Balas et al. (2021)

Abschließend wird die Entwicklung des Verkehrsmittels Fahrrad betrachtet. Leider existieren keine langfristigen Zeitreihen für den Radverkehr in Österreich, jedoch können die von Albert de la Bruheze (2000) zusammengetragenen Daten westeuropäischer Städte für eine Trendbeurteilung herangezogen werden. Die bis zum Jahr 1920 zurückreichende Analyse des Radverkehrs zeigt, dass dessen Anteil vor der Massenmotorisierung teilweise bis zu 90 Prozent betrug, dann massiv einbrach und erst in den letzten Jahren in radverkehrsaffinen Städten der Niederlande und Dänemarks wieder Werte um die 40 Prozent erreichte (Abbildung 19). In Ländern mit deutlich geringerer Radverkehrsbeliebtheit fallen die nach dem Zweiten Weltkrieg erreichten Werte deutlich geringer aus – siehe zum Beispiel Manchester. Die radstärksten Städte Österreichs, Salzburg und Graz, bleiben mit heutigen Werten zwischen 10 und 15 Prozent hinter den radaffinen Städten zurück.

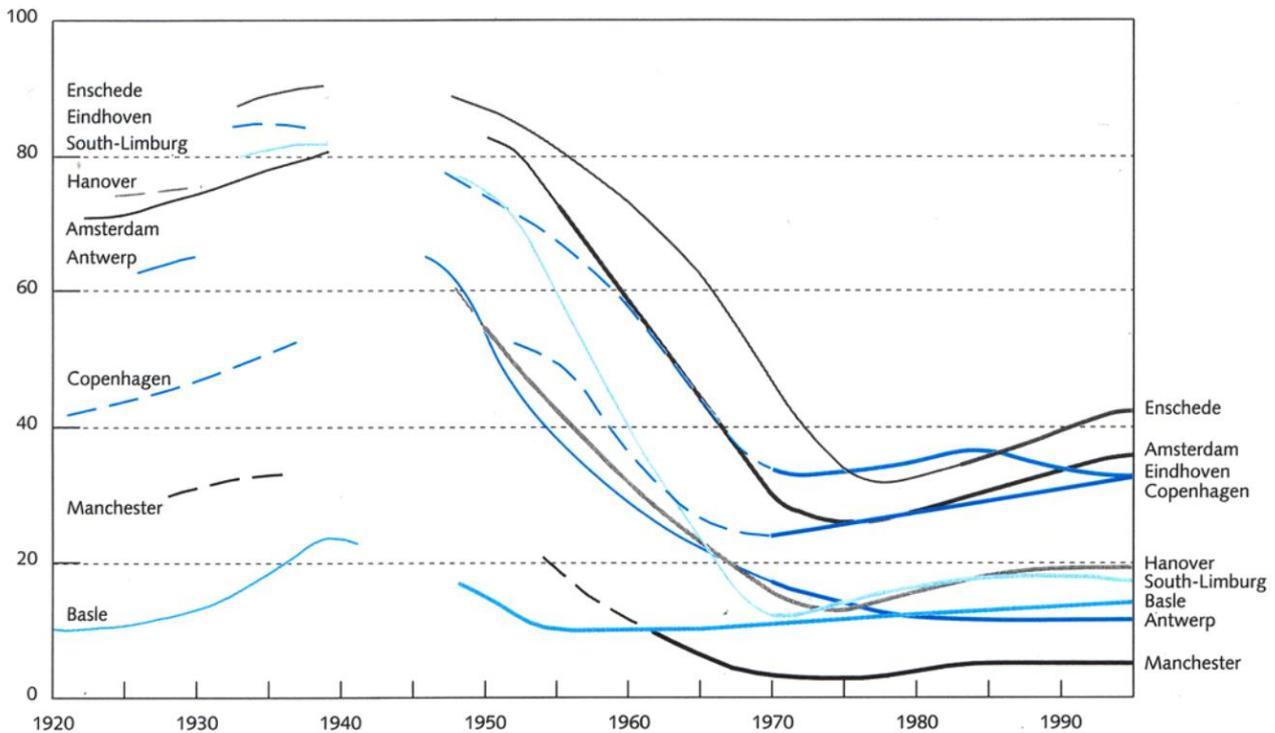


Abbildung 19: Modal Split des Radverkehrs an den Gesamtwegen (Pkw, Moped, Rad, ÖV) in neun Westeuropäischen Städten, 1920-1995; Quelle: Albert de la Bruheze (2000).

Mechanisierter Personenverkehr ist mit einem Risiko verbunden, an Leib und Leben Schaden zu nehmen. Die Statistik Austria bietet die Anzahl der Unfälle mit Personenschaden (UPS), die Anzahl der Getöteten und die Anzahl der Verletzten bis in das Jahr 1960 zurück an (Abbildung 20). In der Zeitreihe ist ein starker Rückgang der absoluten Unfallkennwerte erkennbar, trotz Ausschlägen unter- als auch oberhalb des Trends.

Das absolute Maximum aller absoluten Werte wurde im Jahr 1972 erreicht: 52.696 UPS, 72.020 Verletzte und 2.948 Getötete. Die damals einsetzende konsequente Verkehrssicherheitsarbeit wie z.B. die Gurtverpflichtung, die Einführung von Tempolimits auf Freilandstraßen und Autobahnen oder die Verkehrssicherheitsarbeit Vision Zero des BMVIT führten zu einer Reduktion aller absoluten Werte, im Jahr 2020: 30.670 UPS, 37.730 Verletzte und 344 Getötete.

Es konnten die absoluten Unfall- und Opferzahlen und das spezifische Risiko bei einem Unfall zu verunfallen oder getötet zu werden, gesenkt werden. Während es im Jahr 1972 noch 0,056 Getötete pro UPS und 1,369 Verletzte pro UPS gab, betrugten diese Werte im Jahr 2020: 0,011 Getötete pro UPS und 1,230 Verletzte pro UPS.

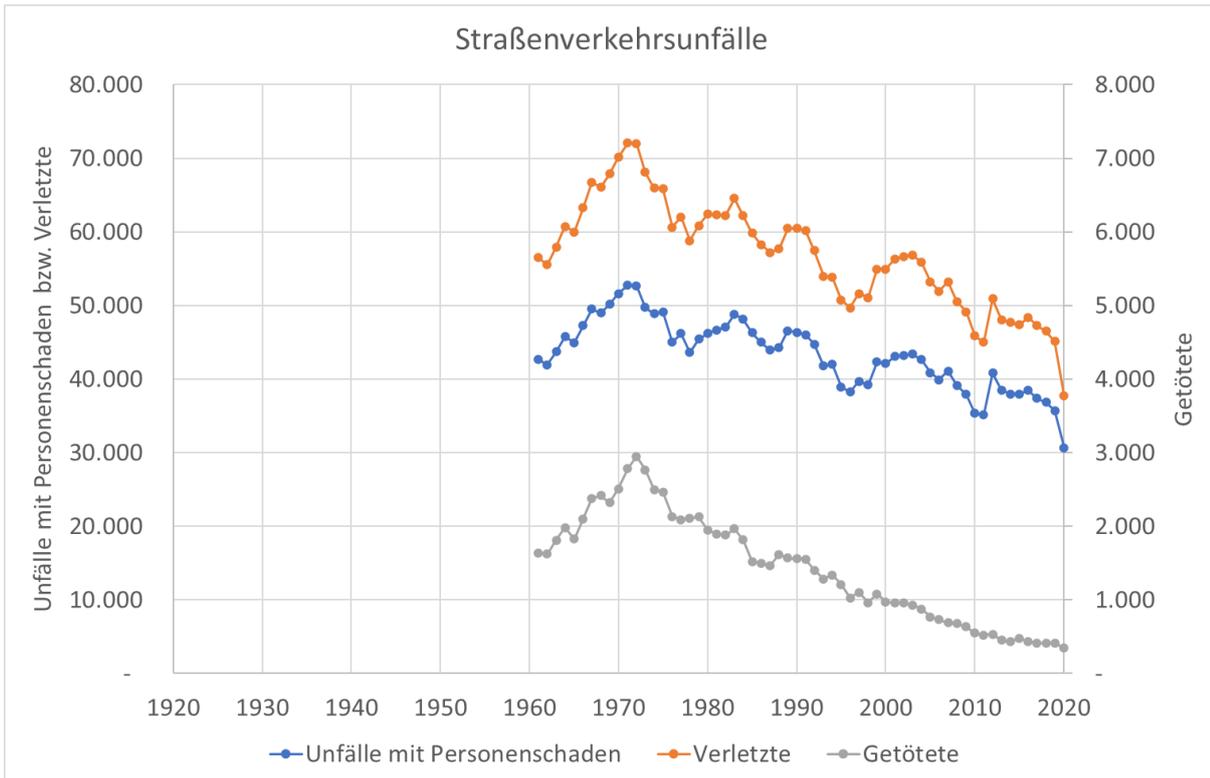


Abbildung 20: Entwicklung Verkehrssicherheit; Quelle: eigene Darstellung auf Basis Statistik Austria (2022e).

Die Geschwindigkeitserhöhung durch hochrangigen Straßen- und Bahnausbau hat sich im System nicht in eine Reisezeiteinsparung niedergeschlagen, sondern in einer Vergrößerung der zurückgelegten Wege (Abbildung 21).

Mobilitätsverhalten der Österreicher:innen

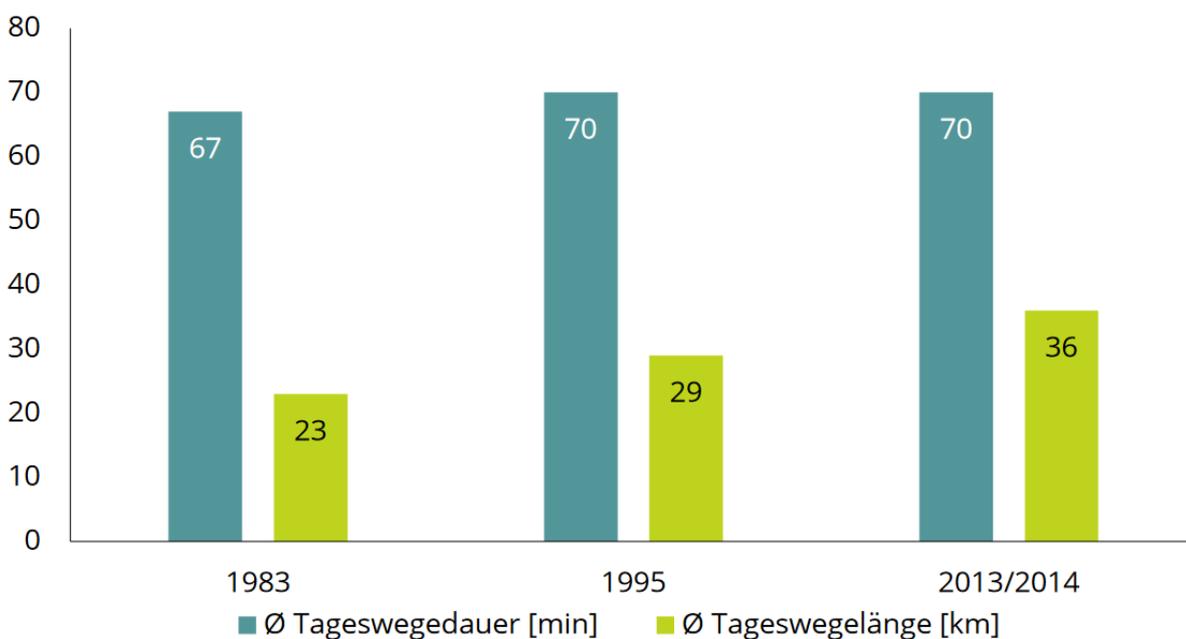


Abbildung 21: Mobilitätsverhalten der Österreicher:innen 1983, 1995 und 2013/2014; Quelle: Angelini et al. (2022) nach (BMVIT, 2016; Herry et al., 2007; Hiess, 2007).

2.1.4 Güterverkehr

Wie Abbildung 22 zeigt, hat es ein stetiges Wachstum des Güterverkehrsaufwandes [Tonnenkilometer pro Jahr] vor allem auf der Straße gegeben, die Mitte der 1960er-Jahre die Eisenbahn überholte. Der Straßentransport hat den Dämpfer durch die Wirtschaftskrise 2009 nach einigen Jahren weggesteckt und liegt aktuell ca. 30 Prozent über der Transportleistung von 2009. Die Schiene hat den Wert von 2009 zwar wieder erreicht, aber nicht mehr überschritten. Der Güterverkehr via Schiff spielt in Österreich eine stark untergeordnete Rolle.

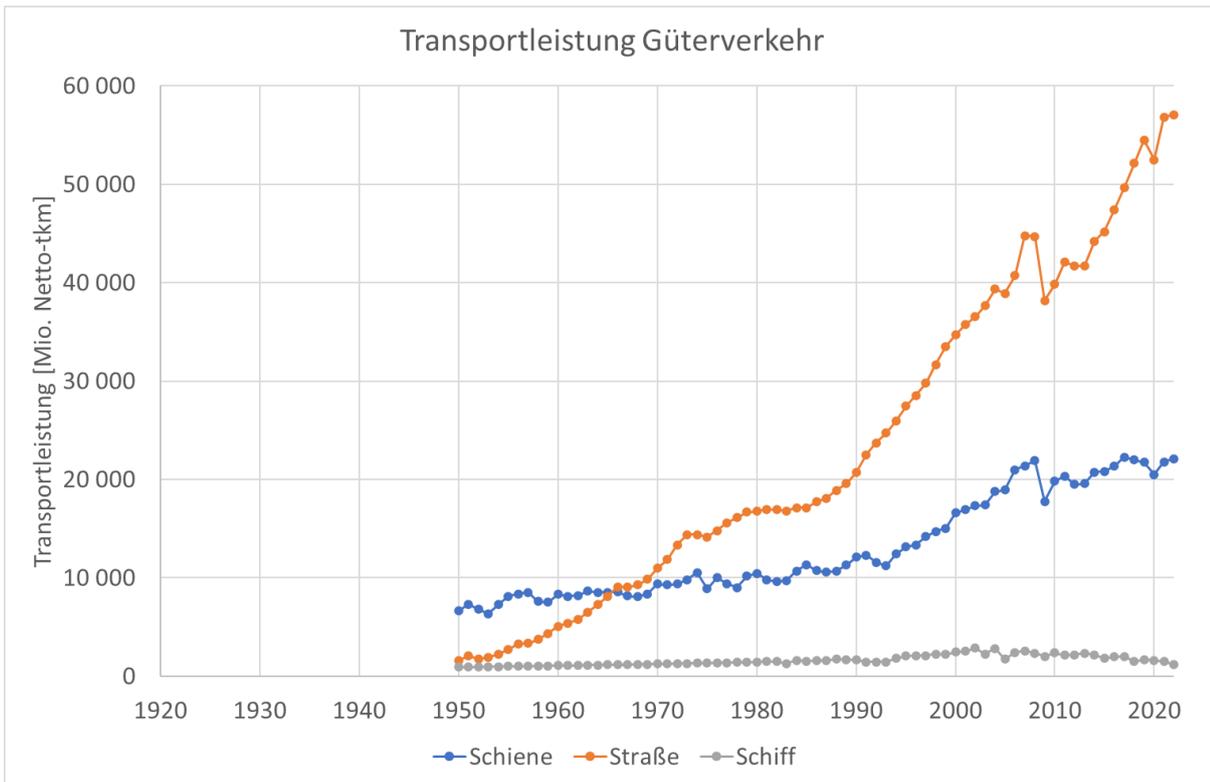


Abbildung 22: Entwicklung der Transportleistung im Schienengüterverkehr in Österreich; Quelle: eigene Abbildung auf Basis ÖBB-Holding AG (2023).

Das starke Wachstum des Güterverkehrs auf der Straße, das fast ausschließlich von Sattelzügen und Lastzügen stammt, ließ den Anteil der Bahn trotz steigenden absoluten Güterverkehrsaufwand von 70 Prozent im Jahr 1950 auf 30 Prozent im Jahr 2010 schrumpfen (Abbildung 23). Aktuell (2022) beträgt er 27,5 Prozent.

Güterverkehr Ö: Zeitreihe Aufwand
(Quelle: UBA)

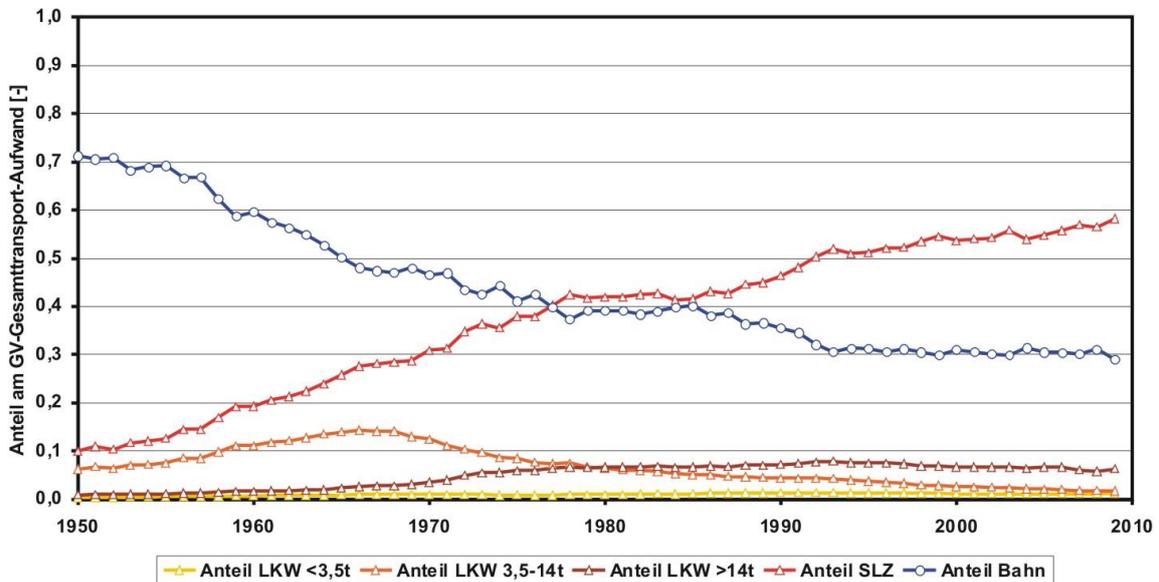


Abbildung 23: Zeitreihe des Güterverkehrsanteiles von Straße und Eisenbahn für Österreich 1950 – 2009; Quelle: Anderl et al. (2008) in Müller et al. (2012).

Das Diagramm des Umweltbundesamtes (Abbildung 24) erweitert den Betrachtungszeitraum bis ins Jahr 2020 und weist Veränderungsdaten der einzelnen Verkehrsträger aus. Während für die terrestrischen Verkehrsmittel (SNF, LNF und Bahn) die Tonnenkilometer beständig zunahmen, unterlagen die sehr geringen absoluten Anteile von Schifffahrt und nationaler Frachtluftfahrt starken Schwankungsauslägen mit in Summe einem Rückgang von 80 Prozent über den Betrachtungszeitraum.

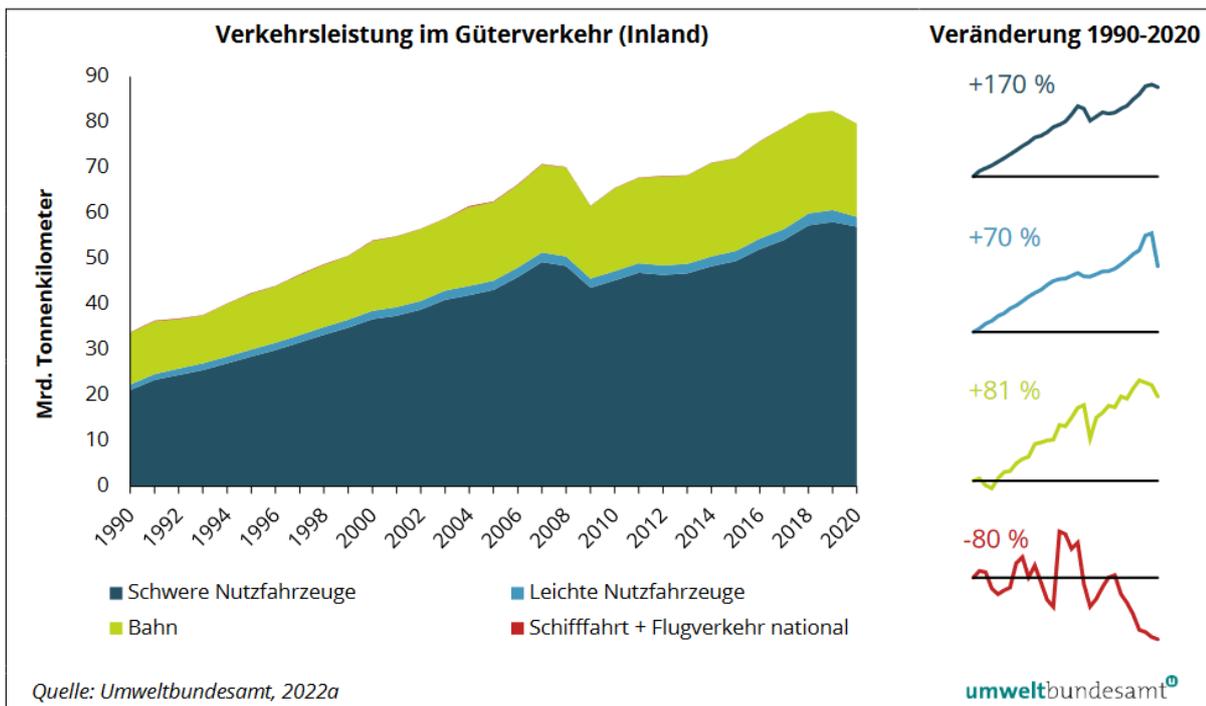


Abbildung 24: Verkehrsleistung (=Verkehrsaufwand) im Güterverkehr; Quelle: Umweltbundesamt (2022a, S. 147)

2.1.5 CO₂-Emissionen

In Sachen klimarelevanter Emissionen ist der Verkehr das Sorgenkind der Österreichischen Umwelt- und Klimaschutzpolitik. Mit gut 30 Prozent macht der Verkehr den zweitgrößten Sektor der Emissionen nach dem Emissionshandel von Energie und Industrie aus (Abbildung 25). Allerdings ist der Verkehr jener Sektor, der seit dem Basisjahr 1990 massive Zuwächse hatte – während bei den anderen Sektoren zumindest leichte Reduktionen erzielt werden konnten.

Das österreichische Klimaschutzgesetz (KSG, 2017) weist jährliche Höchstgrenzen von Treibhausgasemissionen nach Sektoren aus. Der Vergleich der tatsächlichen Emissionen mit diesen Höchstgrenzen (Abbildung 26) zeigt, dass der Verkehr seit 2016 in zunehmendem Ausmaß jährlich diese Höchstgrenzen übersteigt. Es werden zu wenige Maßnahmen gesetzt oder die gesetzten Maßnahmen sind nicht wirkungsvoll.

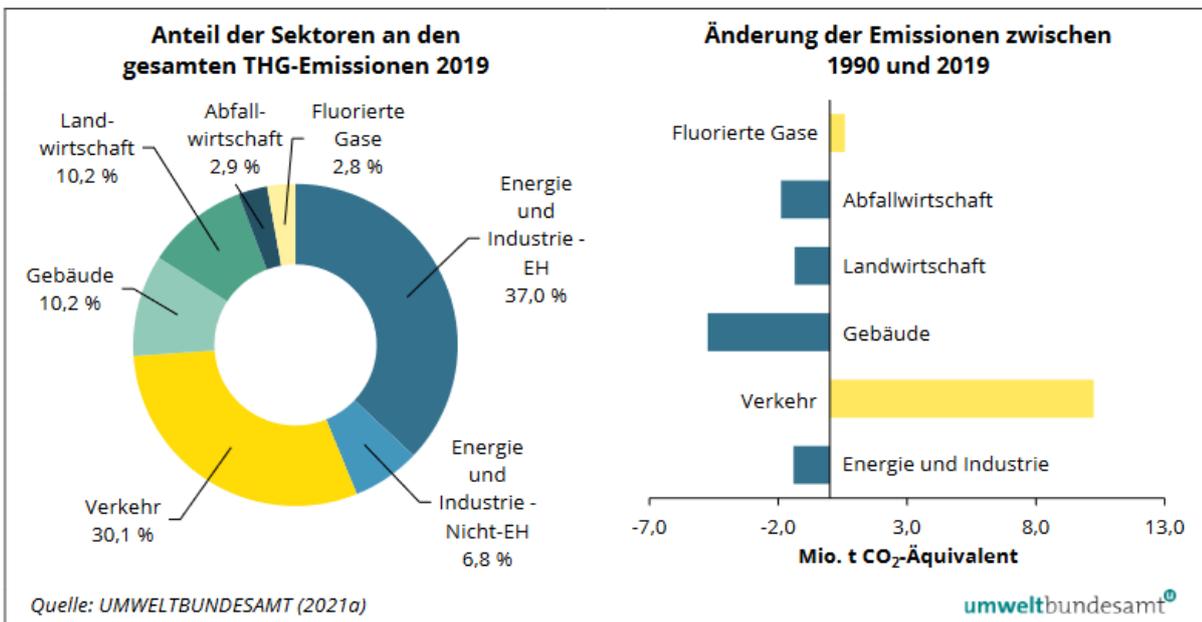


Abbildung 25: Anteil der Sektoren an den Treibhausgas-Emissionen 2019 (inklusive Emissionshandel) und Änderung der Emissionen zwischen 1990 und 2019; Quelle: Umweltbundesamt (2021)

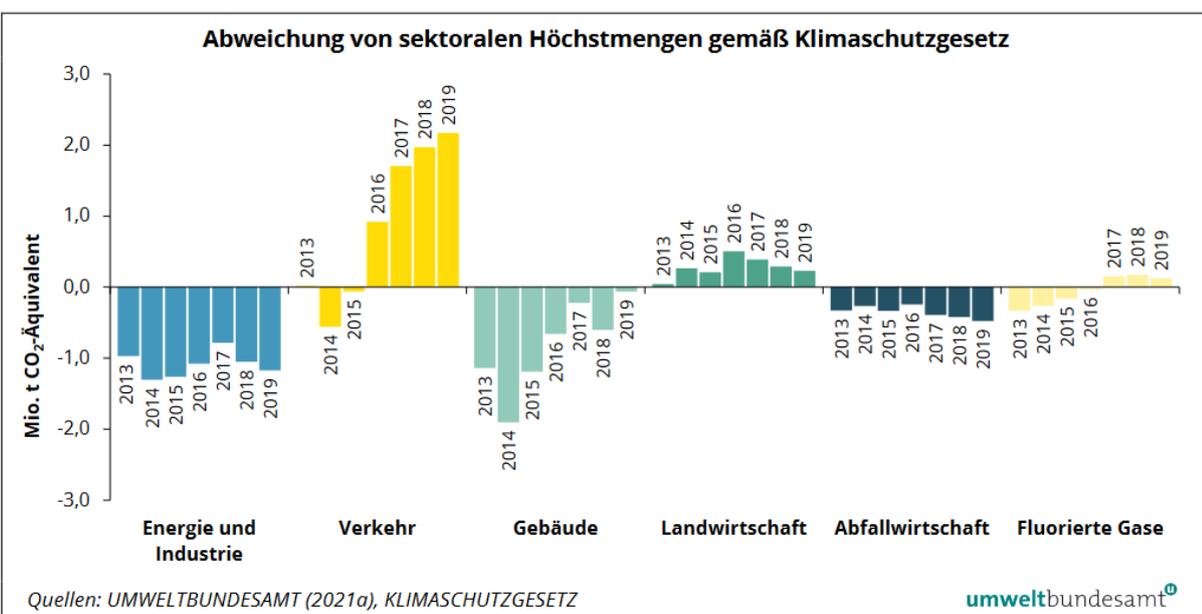


Abbildung 26: Abweichungen von den sektoralen Höchstmengen 2013–2019 gemäß Klimaschutzgesetz; Quelle: Umweltbundesamt (2021).

In welche relativen Komponenten (Basisjahr = 100 Prozent) sich die Veränderungen der Verkehrs-CO₂-Emissionen zerlegen lassen, ist den folgenden beiden Abbildungen zu entnehmen - Abbildung 27 für den Personenverkehr und Abbildung 28 für den Güterverkehr. Hierin sind die Emissionen von zwei Basisjahren (1990 und 2005) ausgehend dargestellt, wobei die Zunahmen in roter und die Abnahmen in blauer Farbe ausgewiesen sind. Aus der Darstellung können drei Schlüsse gezogen werden:

1. Die Emissionen haben seit 1990 im Güterverkehr (100 auf 200 Prozent) deutlich stärker zugenommen als im Personenverkehr (100 auf ca. 130 Prozent).
2. Der Zuwachs stammt überwiegend aus der Zunahme der Verkehrsleistung im Straßenverkehr bzw. aus dem Tanktourismus.
3. Statt einer „Verlagerung auf die Schiene“ findet die Verlagerung von der Schiene auf die Straße statt – sowohl beim Güter- als auch beim Personenverkehr. Und beides schlägt sich in zusätzlichen CO₂-Emissionen nieder.

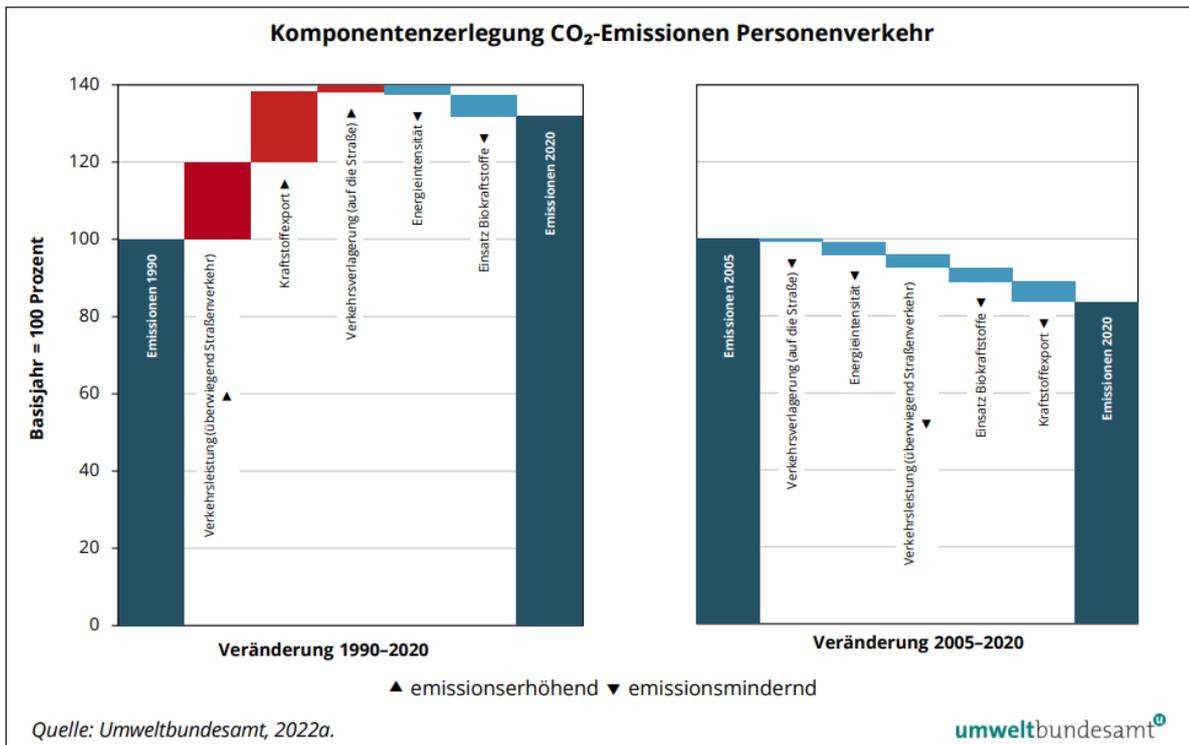


Abbildung 27: Komponentenzerlegung der CO₂-Emissionen aus dem Personenverkehr – Gegenüberstellung 1990–2020 (links) und 2005–2020 (rechts); Quelle: Umweltbundesamt (2022b)

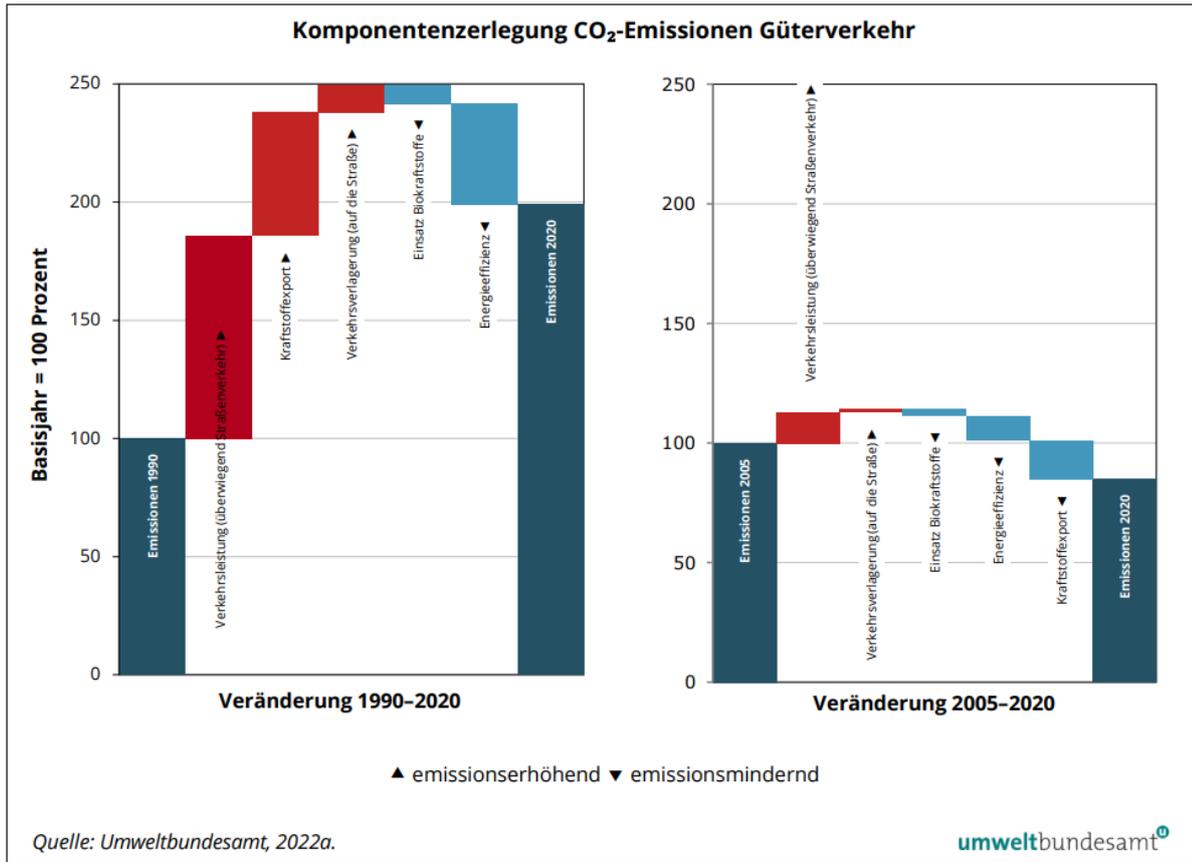


Abbildung 28: Komponentenzerlegung der CO₂-Emissionen aus dem Güterverkehr – Gegenüberstellung 1990–2020 (links) und 2005–2020 (rechts); Quelle: Umweltbundesamt (2022b)

Bei den CO₂-Emissionen des Güterverkehrs zeigt sich für die Zeitspanne 1950 bis 2020 eine Verlagerung von der Schiene auf die Straße.

Während die Eisenbahn vor allem durch sukzessive Elektrifizierung von ehemaligen Diesel- und Dampfstrecken eine überproportionale Senkung ihrer CO₂-Emissionen schaffte, stiegen die Emissionen durch die leichten (LNF) und schweren Nutzfahrzeuge (SNF) an (Abbildung 29).

CO₂-Emissionen Güterverkehr Ö

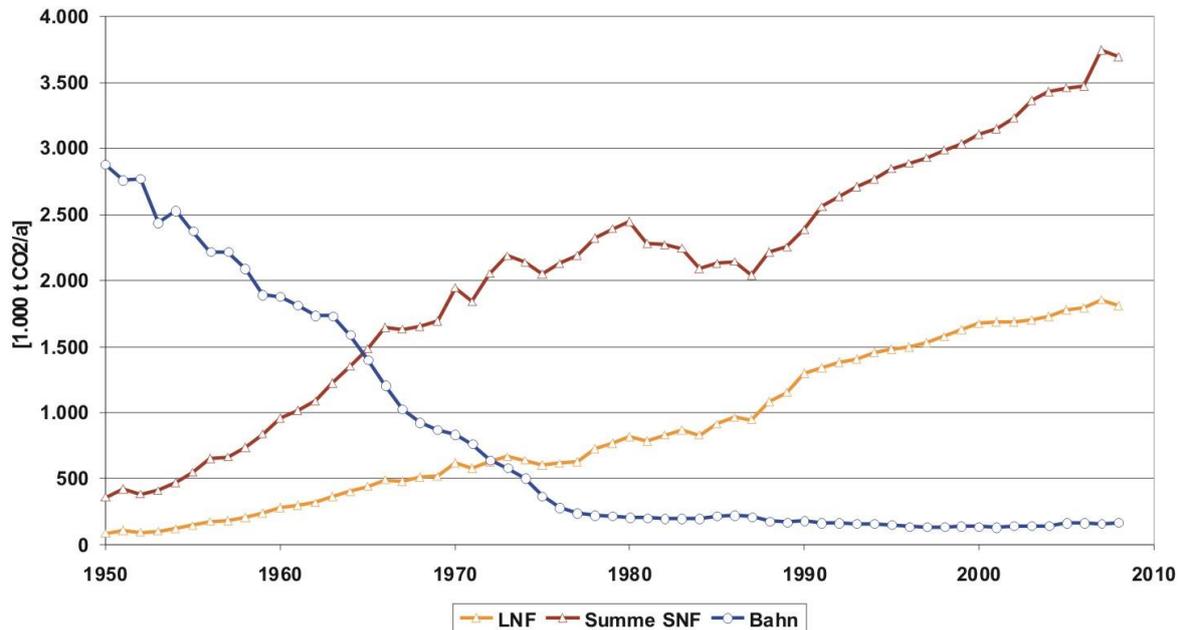


Abbildung 29: Zeitreihe der CO₂-Emissionen aus dem Güterverkehr von Straße und Eisenbahn für Österreich 1950 – 2009; Quelle: Anderl et al. (2008) in Müller et al. (2012).

2.2 Aktuelle Zielsetzungen

Seit dem Jahr 1979, als die erste Weltklimakonferenz in Genf stattfand, gibt es zunehmend nationale und internationale Bestrebungen die steigenden, anthropogenen CO₂-Emissionen korrekt zu bilanzieren, deren Auswirkungen zu erforschen und einzudämmen. Zusätzlich ist man bestrebt die aus der Mitigation und Adaptation entstehenden (finanziellen) Bürden fair unter der Staatengemeinschaft aufzuteilen.

2.2.1 Internationale Klimaziele

Vom Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) werden in Berichten laufend die internationalen Klimaziele, Reduktionsszenarien und erwartbaren Konsequenzen, z.B. in Form von Temperaturanstiegen abgeschätzt und veröffentlicht (IPCC, 2023). In den UN-Weltklimakonferenzen (Vertragsstaaten-Konferenzen, Conference of Parties – COP) werden seit 1995 die möglichen Entwicklungspfade diskutiert und Beschlüsse gefasst, wie z.B. das Kyoto-Protokoll (1997), Fahrplan von Bali (2007), die Kopenhagener Erklärung (2009) oder das Pariser Abkommen (2015).

Der aktuelle Bericht des IPCC (2023) sieht eine umfassende und sofort umzusetzende Reduktion der CO₂-Emissionen vor, um die globale Erwärmung auf maximal +2°C bis in die zweite Hälfte des 21. Jahrhunderts zu beschränken. Der globalen Inaktivität geschuldet musste das ursprüngliche Ziel von maximal 1,5 ° globaler Erwärmung zur Mitte des Jahrhunderts (Abbildung 30) bereist aufgeweicht bzw. gestreckt werden.

Limiting warming to 1.5°C and 2°C involves rapid, deep and in most cases immediate greenhouse gas emission reductions

Net zero CO₂ and net zero GHG emissions can be achieved through strong reductions across all sectors

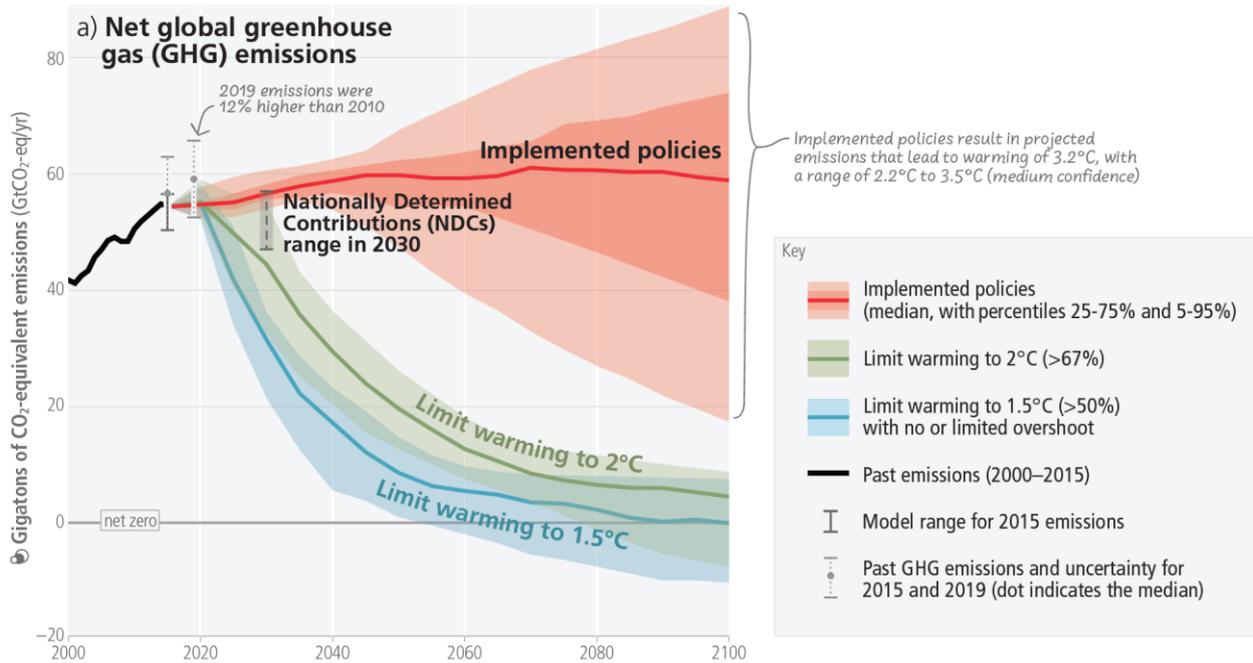


Abbildung 30: Globale Treibhausgas-Emissionspfade unter Einhaltung implementierter Maßnahmen und Anpassungsstrategien; Quelle: IPCC (2023).

Inter- und supranational (EU) gefasste Emissionsreduktionsziele werden mit Effort-Sharing- oder Burden-Sharing-Mechanismen auf nationale Obergrenzen von jährlichen Treibhausgasemissionen heruntergebrochen. Für Emissionsquellen außerhalb des Emissionshandels (z. B. Verkehr) sah das Klima- und Energiepaket der EU eine Verringerung der Treibhausgas-Emissionen basierend auf Werten aus 2005 um rund 10 Prozent bis 2020 vor. Diese Verpflichtung wurde auf die Mitgliedstaaten entsprechend ihres wirtschaftlichen Wohlstands (BIP pro Kopf) im Rahmen der Effort-Sharing-Entscheidung (ESD, Entscheidung 406/2009/EG) aufgeteilt und erstreckte sich von minus 20 Prozent für die reichsten Länder – Dänemark, Irland, Luxemburg – bis zu plus 20 Prozent für das ärmste Land, Bulgarien (Abbildung 31). Österreich fiel eine Emissionsreduktion von minus 16 Prozent des Basisjahres 2020 zu.

Die aktuell gültige Effort-Sharing-Verordnung (ESR, 2018/842/EU) sieht mit Ausnahme von Bulgarien nur mehr reduzierte Emissionsobergrenzen für das Jahr 2030 vor, sie reichen von 0 Prozent bis minus 40 Prozent im Vergleich zum Basisjahr 2005 (Abbildung 32). Die Aufteilung des Europäischen Gesamtziels für 2030 (minus 30 Prozent gegenüber 2005) wurde grundsätzlich mittels BIP pro Kopf in nationale Ziele umgelegt. Für Mitgliedstaaten mit überdurchschnittlichem BIP pro Kopf wurde dieses Ziel durch ein zusätzliches Kosteneffizienzkriterium angepasst.

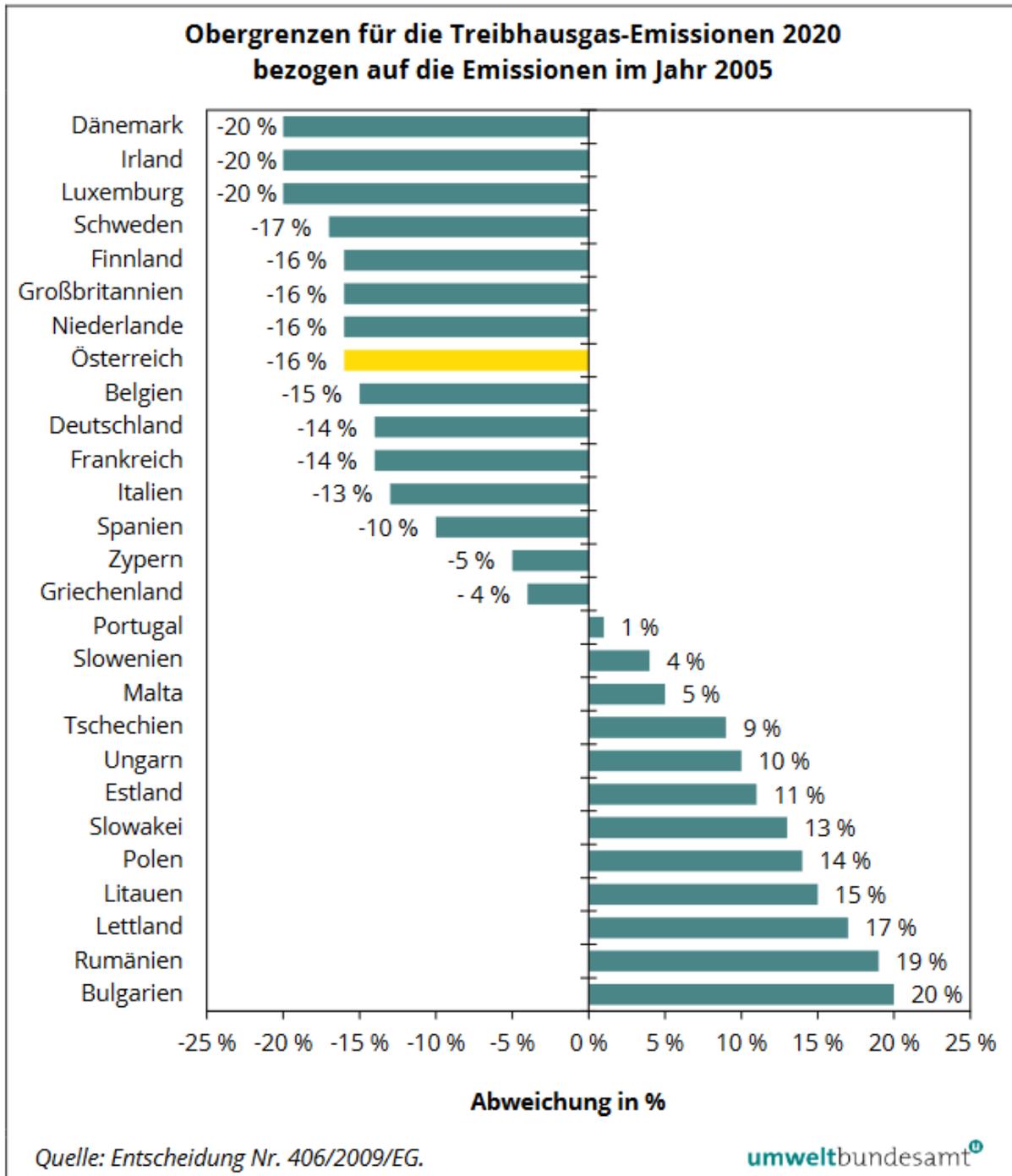


Abbildung 31: Nationale Emissionsobergrenzen 2020 entsprechend der Effort-Sharing-Entscheidung, relativ zu den Emissionen von 2005; Quelle: Umweltbundesamt (2022b).

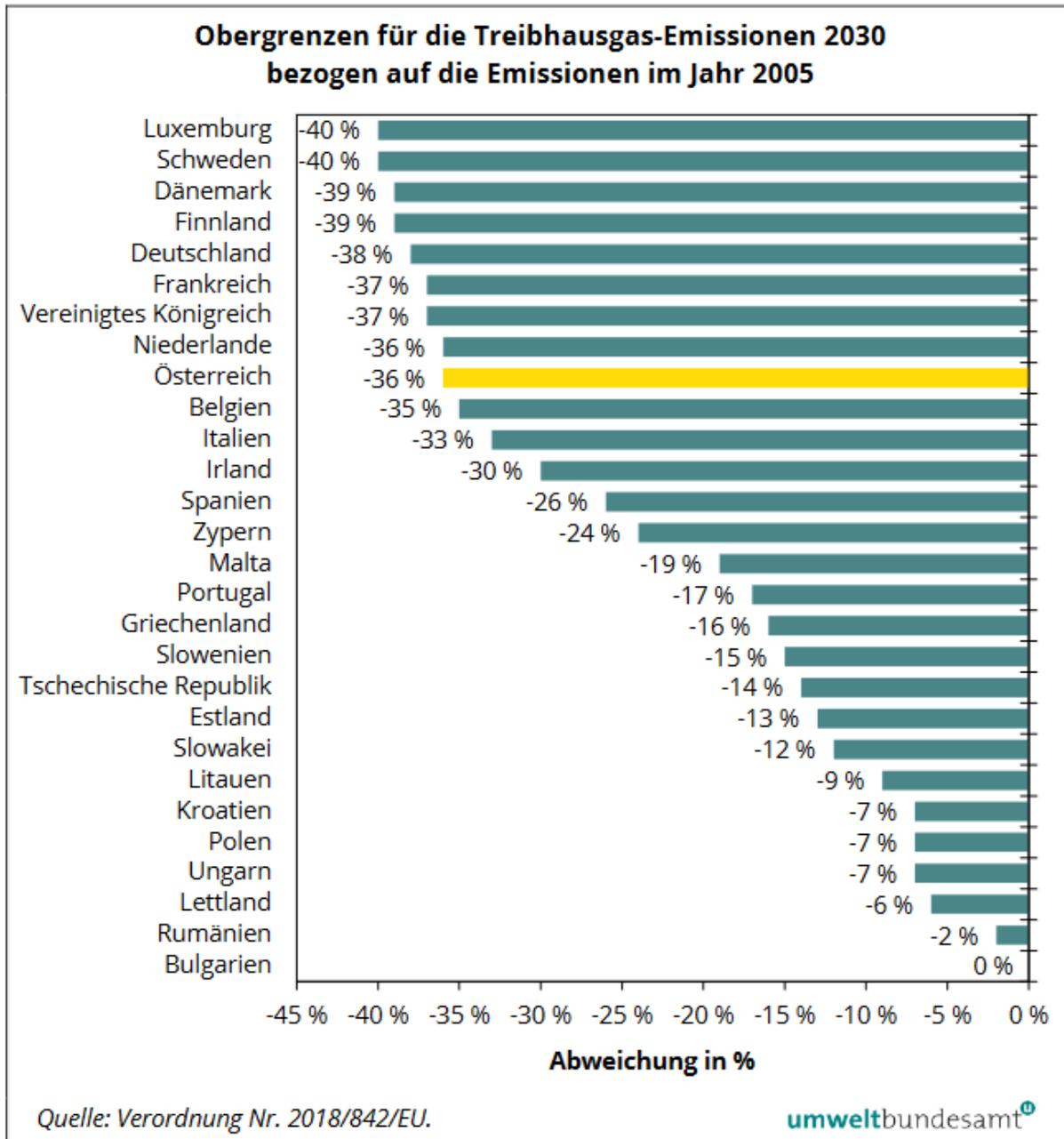


Abbildung 32: Nationale Emissionsobergrenzen 2030 entsprechend der Effort-Sharing-Verordnung, relativ zu den Emissionen von 2005; Quelle: Umweltbundesamt (2022b).

2.2.2 Nationaler Energie- und Klimaplan (BMK)

Für den Verkehrssektor setzt der Integrierte Nationale Energie- und Klimaplan (BMNT, 2019a) das Ziel: Reduktion der Treibhausgase von 7,2 Mio. t CO₂-Äquivalenten (also minus 30,5 Prozent) bis zum Jahr 2030. Zum Vergleich betragen die Verkehrsemissionen 2017 (ohne Luftverkehr) 23,6 Mio. t CO₂-Äquivalente. Die dafür vorgeschlagenen Maßnahmen fokussieren auf die Ausweitung des Anteils erneuerbarer Energie und einer Verbesserung der Energieeffizienz und beinhalten (auszugsweise):

- Erhöhung des Anteils von erneuerbarer Energie im Verkehr im Jahr 2030 auf mindestens 14 Prozent durch den Einsatz von Biokraftstoffen und der Steigerung des E-Mobilitätsanteils
- Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energieträger im Bereich der Kraftstoffe durch Umsetzung entsprechender EU-Vorgaben vom bisherigen Level bei Diesel von 6,3 Prozent und bei Benzin von 3,4 Prozent;
- Normverbrauchsabgabe als Anreiz zum Kauf von Fahrzeugen mit geringen CO₂-Emissionen;



- Sukzessiver Ausbau der überregionalen Schieneninfrastruktur anhand der Beispiele viergleisiger Westbahnausbau (Wien bis Innsbruck), der Südbahnausbau (Wien – Graz – Klagenfurt, mit den Tunnelprojekten Semmering und Koralm), sowie der Brennerbasistunnel;
- Laufende Attraktivierung des ÖPNV in den Ballungsräumen;
- Mobilitätsmanagement für Betriebe, Städte, Gemeinden und Regionen im Rahmen der Klimaschutzinitiative klimaaktiv mobil;
- Erstellung und Umsetzung der Masterpläne Radfahren und Gehen;
- Förderung der Elektromobilität mit Erneuerbarer Energie, Förderungen der Anschaffung von Elektrofahrzeugen sowie Ausbaus der Ladeinfrastruktur;
- Umsetzung der Eurovignetten-Richtlinie im Bereich der schweren Nutzfahrzeuge;
- Möglichkeit des Umsatzsteuer-Vorsteuerabzugs für E-Fahrräder.

Im Bahnbereich werden wesentliche Anliegen zur vertieften Kooperation auf europäischer Ebene genannt:

- Ausbau des nationalen Schienennetzes und Beseitigung europäischer „Flaschenhalse“ entlang der TEN-Achsen;
- Umsetzung europäischer Standards, die einen effizienteren grenzüberschreitenden Betrieb sicherstellen;
- In allen Mitgliedsländern: Rahmenbedingungen für einen Modal Shift auf die Schiene und insbesondere eine dauerhaft tragfähige Finanzierung des Eisenbahnsystems;
- Eine weitere Stärkung der Nachtzugverkehre z.B. durch Ausweitung der steuerlichen Begünstigungen und Befreiungen von internationalen Zugverkehren;
- Darüber hinaus sind attraktive Hochleistungsbahnverbindungen zwischen den Hauptstädten bzw. wesentlichen Zentren der Europäischen Union zu schaffen.

2.2.3 Mobilitätsmasterplan 2030 (BMK)

Im Einklang mit den verpflichtenden Klimazielen des Paris Abkommens hat sich die aktuelle Bundesregierung das Ziel gesetzt, Klimaneutralität in Österreich bis im Jahr 2040 zu erreichen (Bundeskanzleramt, 2020). Der Mobilitätsmasterplan 2030 (BMK, 2021) legt dar, was dieses Ziel für den Verkehrssektor in Österreich bedeutet.

Eine wesentliche Erkenntnis für die Verkehrsplanung ist, dass der bisherige Ansatz, Verkehrsprognosen auf der Basis von Trend-Hochrechnungen verschiedener, für das Verkehrsaufkommen erklärender Größen zu erstellen und dementsprechend Infrastrukturen zur Verfügung zu stellen („predict and provide“), den aktuellen Klimazielen nicht gerecht wird. Im Mobilitätsmasterplan (BMK, 2021) wurde im Gegensatz dazu der Ansatz einer zielorientierten Planung verfolgt und anhand eines Backcasting-Ansatzes der für die Zielerreichung notwendige Reduktionspfad berechnet – dieser soll auch im Klimaschutzgesetz definiert werden. Für die Kalkulation wurden das Ziel der CO₂-Neutralität 2040 sowie das für den Verkehrssektor noch verfügbare CO₂-Budget hinterlegt, sowie die Möglichkeiten der Elektrifizierung mit verfügbaren Kapazitäten erneuerbarer Energien. Die Ergebnisse zeigen, dass zusätzlich zu Maßnahmen der Energieeffizienz und der Umstellung auf alternative Antriebe eine Reduktion der Fahrleistungen im Pkw- und Lkw-Verkehr im Vergleich zu heute erforderlich ist. Vor allem der Verkehrsaufwand für Personenmobilität auf der Straße muss dabei deutlich sinken. Dies schlägt sich im Ziel-Modal-Split nieder, wo bei gleichzeitiger Reduktion des MIV-Anteils von 61 auf 42 Prozent, eine Ausdehnung der Anteile des Umweltverbundes vorgesehen ist: ÖV von 16 auf 23 Prozent, Radfahren von 7 auf 13 Prozent und das Gehen von 16 auf 22 Prozent aller Wege (Abbildung 33). Geändertes Mobilitätsverhalten soll mit einer Reduktion von 3 Mio.t CO₂-Äquivalenten einen wesentlichen Beitrag zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors beitragen (Abbildung 34).

Für das Zwischenziel 2030 würde sich aus einem linearen Reduktionspfad von ca. 24 Mio. tCO₂eq 2019 auf Null im Jahr 2040 ein Wert von 11,4 Mio. tCO₂eq ergeben, was einer Reduktion von ca. 52 Prozent entspräche. Das ist exakt der Wert, der im kolportierten Entwurf des Klimaschutzgesetzes enthalten war (Lauer, 2021) und wäre deutlich mehr als das bisherige Sektorziel von 15,7 Mio. tCO₂eq (minus 35 Prozent) aus der „#mission2030 Klima- und Energiestrategie“ (BMNT und BMVIT, 2018).

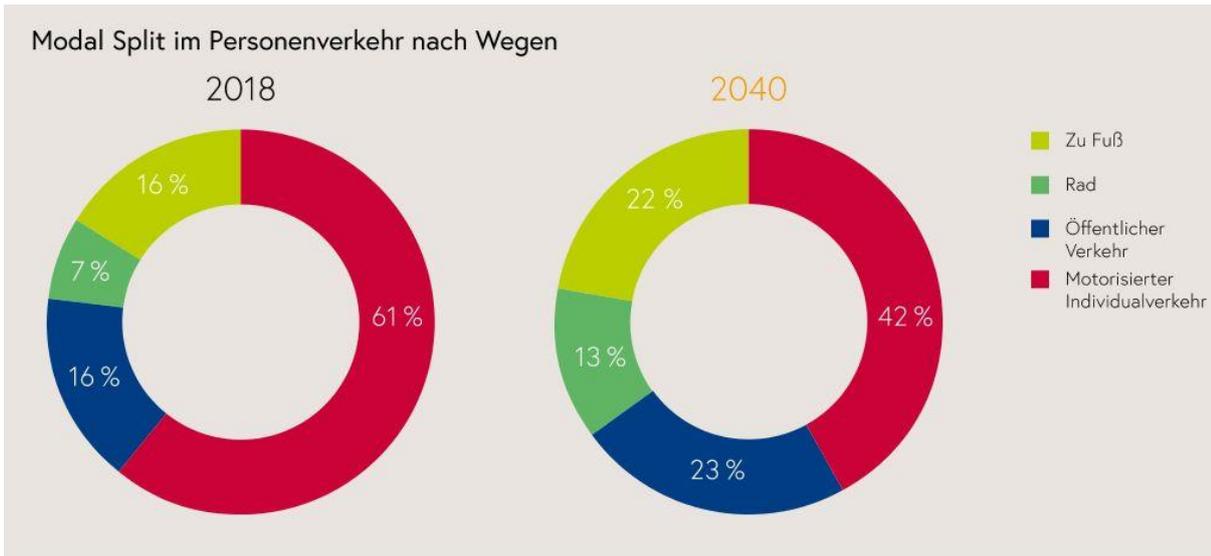


Abbildung 33: Modal Split im Personenverkehr nach Wegen, Istzustand 2018 und Zielzustand 2040 im MMP2030; Quelle: BMK (2021).

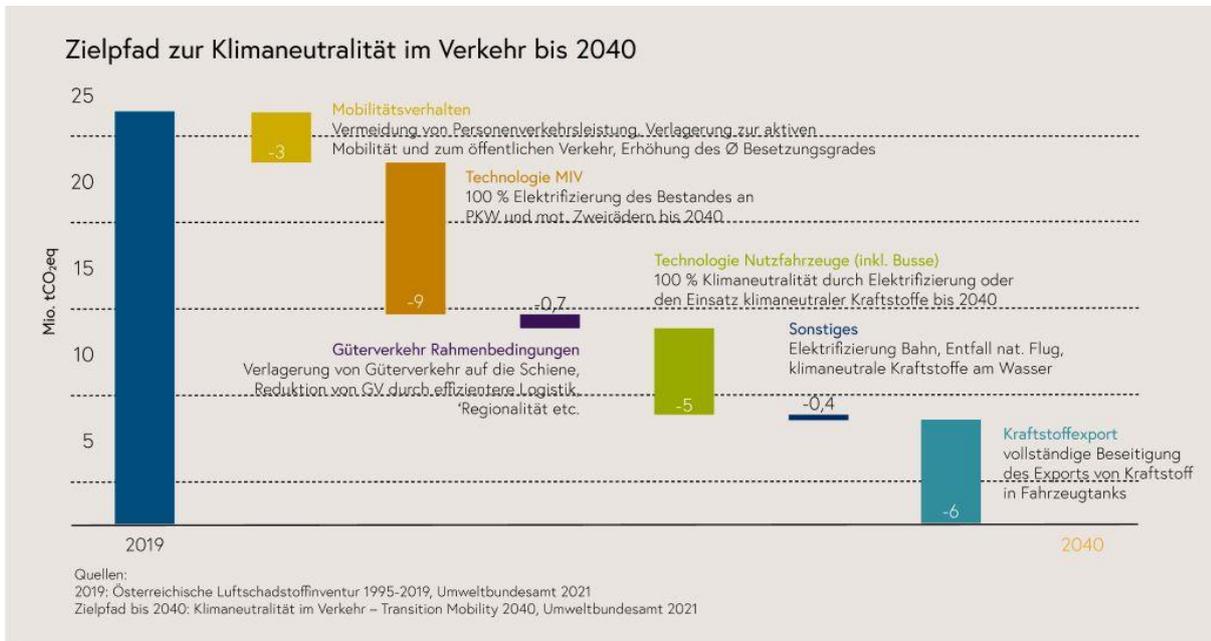


Abbildung 34: Zielfad des MMP2030 zur Klimaneutralität im Verkehr bis 2040; Quelle: BMK (2021).

2.2.4 Bundesländerziele

Die Zieledokumente der Bundesländer unterscheiden sich stark in Qualität, Ambition und Zieljahr. Während die Steiermark (Das Land Steiermark, 2008) und Tirol nur qualitative Ziele aufweisen (Amt der Tiroler Landesregierung, 2021), haben sich das Burgenland (Verracon GmbH und Rosinak & Partner ZT GmbH, 2021) und Niederösterreich (Rosinak & Partner ZT GmbH, 2015) nur dezidierte Ziele für den Radverkehr (jeweils Verdoppelung) und für die Elektromobilität gesetzt. Vor allem das Mobilitätskonzept Niederösterreich 2030+ ist sehr prognoselastig.

Das letzte landesweite Verkehrskonzept aus Oberösterreich stammt – so wie jenes aus der Steiermark – aus dem Jahr 2008. Zumindest für den Zentralraum (Linz und Linz Umland) wurde im Jahr 2018 ein Mobilitätsleitbild entwickelt (Rosinak & Partner ZT GmbH, 2018), das als Zielzeitraum „2030 bis 2040“ vorsieht und im Modal Split Ziel nur den ÖV und MIV berücksichtigt – der MIV-Anteil soll demnach von 57 Prozent im Jahr 2012 auf 47 Prozent im Zeitraum 2030 bis 2040 sinken Abbildung 35.

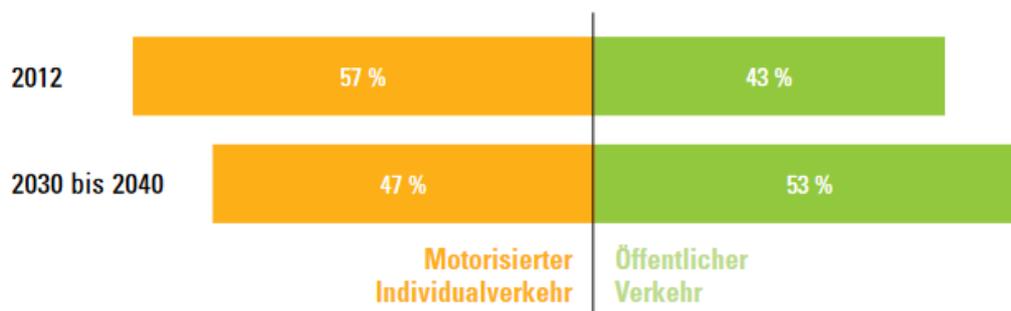
Das Land Salzburg hat sich im Salzburger Landesmobilitätskonzept 2016-2025 (Land Salzburg, 2016) vorgenommen, dass der Modal Split des MIV von 49 Prozent im Jahr 2012 auf 45 Prozent im Jahr 2025 sinkt, während der ÖV und der Radverkehr jeweils um 2 Prozentpunkte zunehmen sollen (Abbildung 36). Im Masterplan Klima + Energie 2030 (Land Salzburg, 2023) sind noch weitere Ziele für die Stadt Salzburg und den Zentralraum enthalten, u.a. was den angestrebten Radverkehrsanteil, das Verlagerungspotenzial von Pendler:innen und Tourist:innen auf den ÖV sowie die Reduktion fossiler Fahrleistung betrifft.

Das Land Vorarlberg hat seine Modal Split Ziele für das Jahr 2015, die nur zum Teil erreicht wurden, im Mobilitätskonzept Vorarlberg 2019 für 2030 weiter verschärft (Rosinak & Partner ZT GmbH und PLANOPTIMO Büro Dr. Köll ZT-GmbH, 2019): der Anteil der Pkw-Lenker:innen soll von 41 Prozent auf 34 Prozent fallen, der ÖV-Anteil dagegen um 2 und der Rad-Anteil um 5 Prozentpunkte zunehmen Abbildung 37.

Das Land Kärnten hat in seinem gut strukturierten Mobilitäts Masterplan Kärnten 2035 (Verracon GmbH et al., 2016) zum Ziel gesetzt, langfristig den ÖV-Anteil auf 20 Prozent und den Rad- und Fußverkehrsanteil auf 40 Prozent zu steigern, während der MIV-Anteil von 77 Prozent auf 40 Prozent abnehmen soll. Bis 2035 solle jedenfalls eine Verdoppelung von Radverkehr und ÖV erreicht werden.

Die Stadt Wien hat sich in ihrer Smart Klima City Strategie (Stadt Wien, 2022) vorgenommen, den Anteil des Umweltverbundes von aktuell 74 Prozent auf 80 Prozent im Jahr 2025 und auf 85 Prozent im Jahr 2030 zu steigern (Abbildung 38). Gemeinsam mit dem Ziel, den Anteil der stadtgrenzenüberschreitenden MIV-Wege zu halbieren entspräche das trotz prognostizierten Bevölkerungswachstums einer Reduktion der Pkw-Fahrten in Wien um 40 bis 45 Prozent in den nächsten sieben Jahren (Emberger et al., 2022). Als einziges Bundesland hat sich Wien ein quantitatives Ziel für die Entwicklung des Privat-Motorisierungsgrades gesetzt, der bis 2030 auf 250 Privat-Pkw / 1.000 Einwohner:innen sinken soll (Abbildung 39).

Langfristige Wirkungsziele zur Mobilitätsentwicklung in Linz und Linz-Umland¹⁾ für den Zeitraum 2030 bis 2040 – Wegeanteile der Einwohnerinnen und Einwohner nach Verkehrsmitteln und pro Werktag



Annahme: konstante Wegezahl/Personen, unveränderte Verkehrsmittelwahl

Quelle: Land Oberösterreich (2012): Oberösterreichische Verkehrserhebung 2012, ÖROK (2015): ÖROK-Bevölkerungsprognose 2014–2030

¹⁾ Linz-Umland umfasst folgende Gemeinden: Asten, Ansfelden, Enns, Leonding, St. Florian, Pasching, Traun, Wilhering, Altenberg, Engerwitzdorf, Gramastetten, Hellmonsödt, Kirchschlag, Lichtenberg, Puchenu, Steyregg

Abbildung 35: Modal Split Ziel für Linz und Linz-Umland für den Zeitraum 2030 bis 2040; Quelle: Rosinak & Partner ZT GmbH (2018).

Verkehrsmittelwahl - Ziele Land Salzburg bis 2025



Das „Zwei plus Zwei Prozent - Ziel“ mit Verlagerung von insgesamt vier Prozentpunkten vom motorisierten Individualverkehr (MIV) hin zu Radverkehr und öffentlichem Verkehr.

Abbildung 36: Modal Split Ziel für das Land Salzburg für das Jahr 2025, Anmerkung: schlechte Grafikqualität im Original; Quelle: Land Salzburg (2016).

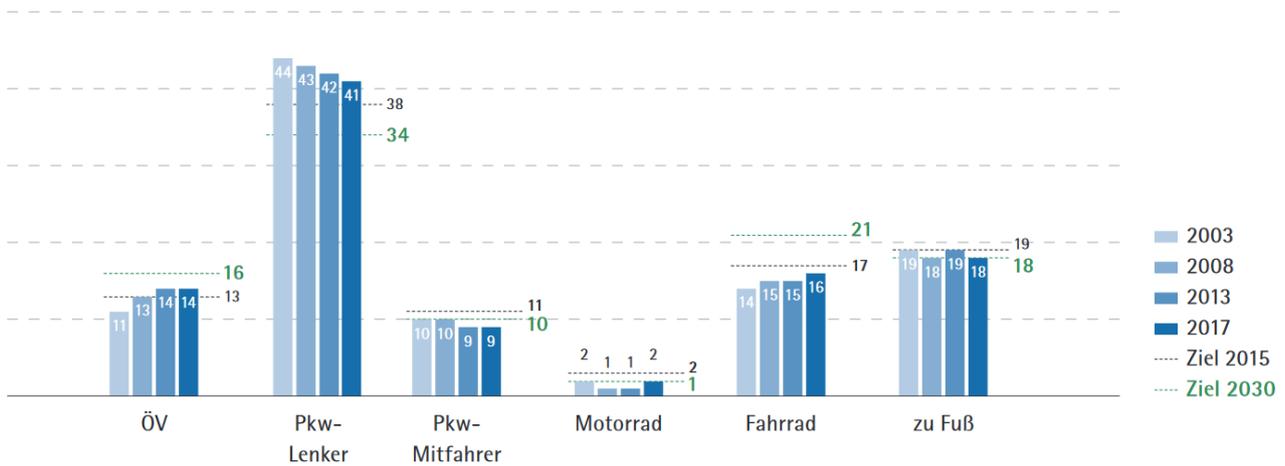


Abbildung 37: Verkehrsmittelwahl der Vorarlberger Bevölkerung 2003 – 2017 in Prozent, Ziel für 2015 aus dem Verkehrskonzept Vorarlberg 2006 sowie Ziel 2030, Quelle: Rosinak & Partner ZT GmbH und PLANOPTIMO Büro Dr. Köll ZT-GmbH (2019).

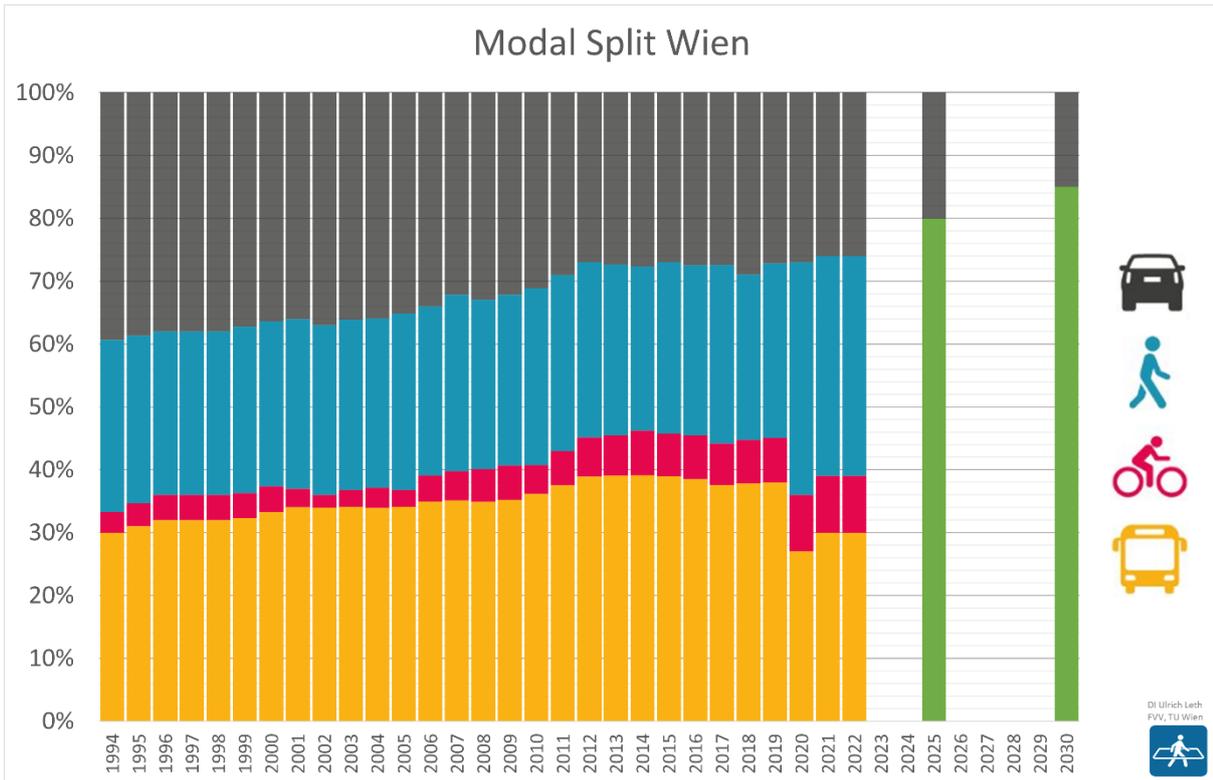


Abbildung 38: Historische Entwicklung und Zielpfad des Modal Split in Wien; Quelle: eigene Abbildung auf Basis Wiener Linien.

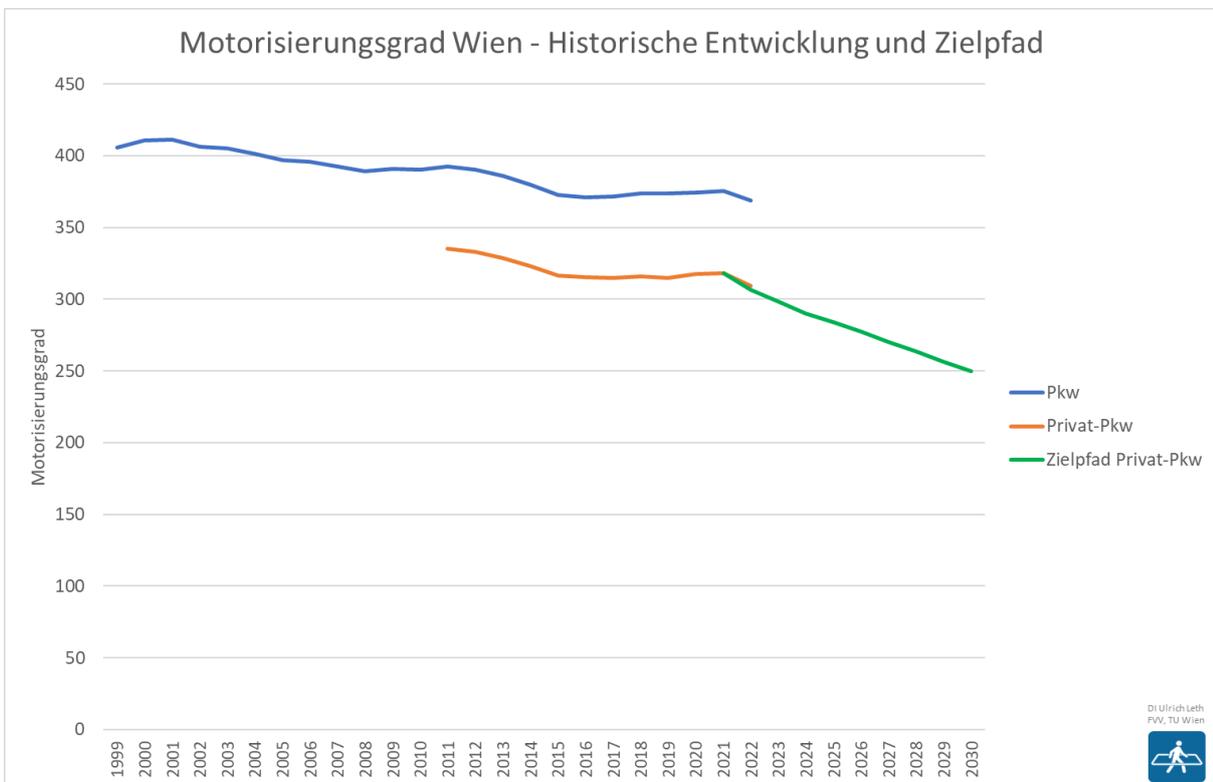


Abbildung 39: Historische Entwicklung und Zielpfad des Motorisierungsgrads in Wien; Quelle: eigene Abbildung auf Basis (Stadt Wien, 2022; Stadt Wien, 2023; Statistik Austria, 2023b; Statistik Austria, 2023d).



2.3 Prognosen und Szenarien zur Entwicklung der Rahmenbedingungen

2.3.1 Entwicklung Bevölkerung

Die Hauptvariante der Bevölkerungsprognose der Statistik Austria erwartet für das Jahr 2080 eine Bevölkerungszunahme von aktuell knapp 9 Mio. Menschen auf 10,26 Mio. (Abbildung 40), wobei die Anzahl der Unter-20-Jährigen um 200.000 zunimmt, jener der 20-bis-unter-65-Jährigen um ca. 130.000 zurückgeht, und jener der 65-und-Älteren um 1,2 Mio. – fast 70 Prozent – zunimmt (Abbildung 41). Das schlägt sich auch in einer stark veränderten Bevölkerungspyramide nieder (Abbildung 42): Aus einer ehemaligen Pyramide mit breiter Basis ist in den 1980er Jahren eine Struktur entstanden, die starke Abweichungen durch geburtenstarke Jahrgänge einerseits und kriegsbedingte Mängel andererseits gekennzeichnet ist. Für das Jahr 2022 ist keine Pyramide mehr zu erkennen, es hat sich eine rautenförmige Verteilung entwickelt mit den stärksten Altersklassen jenseits der Mitte der Lebenserwartung. Für 2080 prognostiziert die Statistik Austria eine Verteilung, die nahe an eine Gleichverteilung über die unterschiedlichsten Altersklassen heranreicht. Daraus resultiert eine relative Zunahme alter Menschen und eine relative Abnahme junger Menschen.

Die große Spannweite der Szenarien der Bevölkerungsentwicklung belegt deren starke Abhängigkeit von den Annahmen, u.a. bezüglich Fertilität, Lebenserwartung und Wanderung (Abbildung 40).

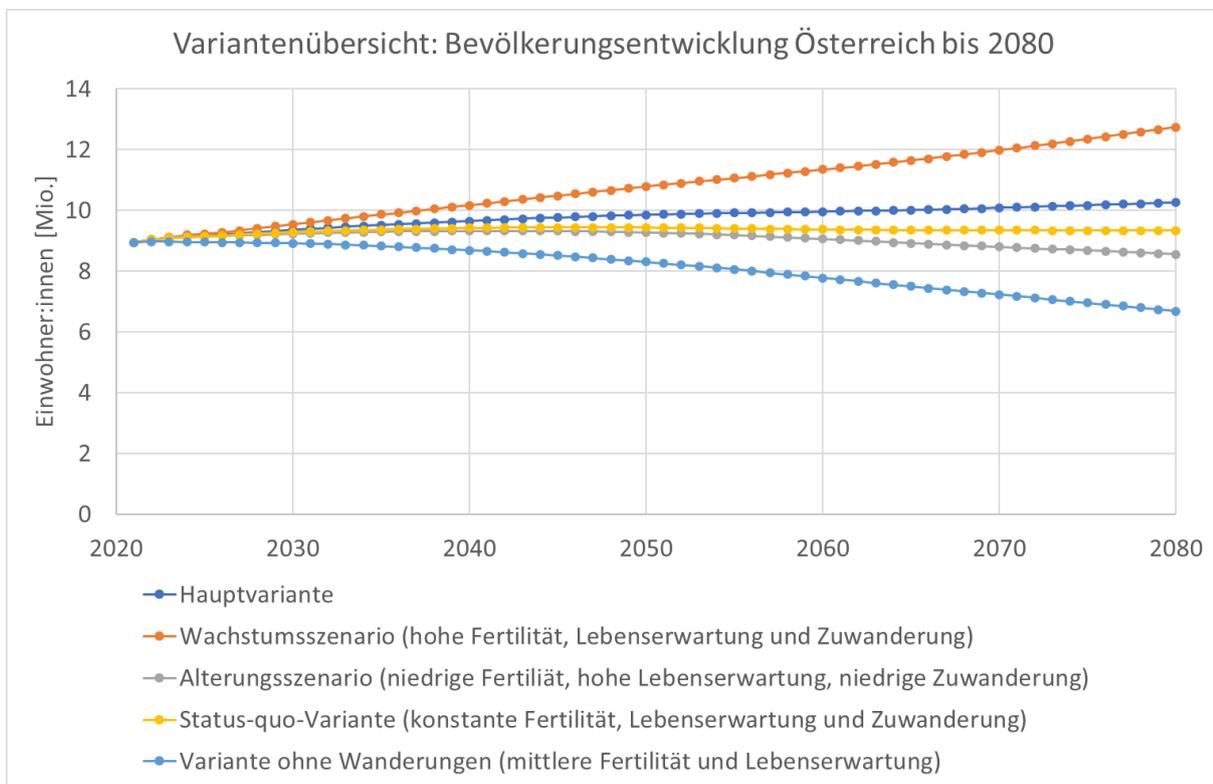


Abbildung 40: Bevölkerungsprognose 2022 – Variantenübersicht: Bevölkerungsentwicklung Österreichs bis 2080 (gerundete Ergebnisse); Quelle: eigene Abbildung auf Basis Statistik Austria (2022a).

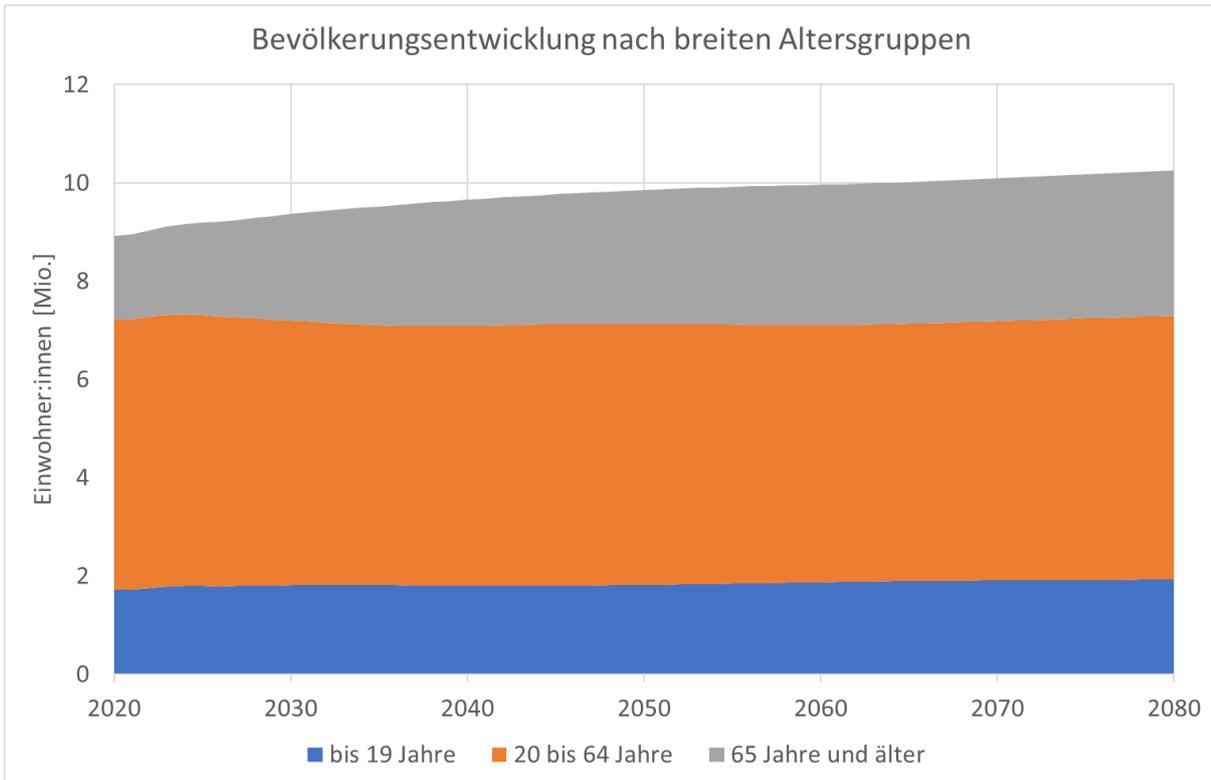


Abbildung 41: Bevölkerungsprognose 2022, Hauptszenario – Bevölkerung nach breiten Altersgruppen bis 2080 (gerundete Ergebnisse), Quelle: Statistik Austria (2022a).

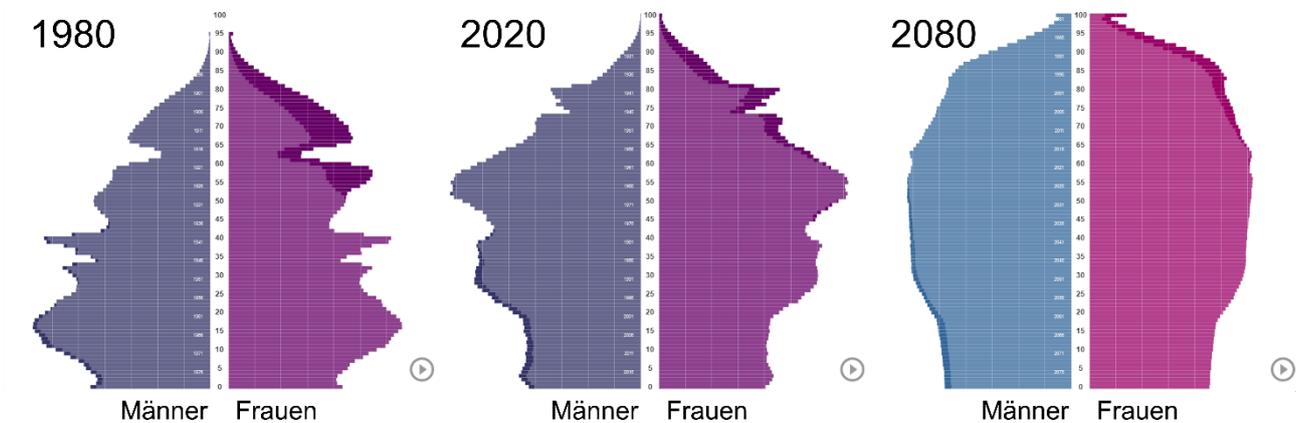


Abbildung 42: Bevölkerungsprognose 2022 – Altersstruktur der österreichischen Bevölkerung 1980 (links), 2022 (Mitte) und Prognose für 2080 (rechts), jeweils Männer (blau) und Frauen (pink), Bevölkerungsüberhang dunkel dargestellt; Quelle: eigene Ergänzungen nach Statistik Austria (2022b).

2.3.2 Entwicklung Motorisierung

Die Verkehrsprognose Österreich 2025+ (TRAFICO et al., 2009) – die Verkehrsprognose Österreich 2040+ ist seit März 2019 in Erstellung (BMK, 2023b) – und die Shell-Studie (Sammer et al., 2004) gingen beide von stark wachsenden Motorisierungsgraden aus. So werden in (TRAFICO et al., 2009) Sättigungswerte des Motorisierungsgrads für Wien mit 650 Pkw / 1.000 EW, für Großstädte (> 100.000 EW= von 750 Pkw / 1.000 EW und für die restlichen Bezirke von 850 Pkw / 1.000 EW festgelegt (Abbildung 43). Der Vergleich mit den tatsächlich eingetretenen Motorisierungsgraden zeigt allerdings auch die Schwierigkeit und Angreifbarkeit von Trendprognosen auf. Während die Shell-Prognose von einer Motorisierung zwischen 595 und 664 Pkw / 1.000 EW im Jahr 2020 in Österreich ausging, lag diese 2021 tatsächlich bei 566 Pkw / 1.000 EW und ist 2022

zum ersten Mal überhaupt gesunken (Statistik Austria, 2023c). Der Motorisierungsgrad in Wien sank im Gegensatz zu den anderslautenden Prognosen seit dem Maximum von 416 Pkw/ 1.000 EW im Jahr 2001 kontinuierlich und betrug im Jahr 2021 375 Pkw / 1.000 EW (vgl. Abbildung 44). Die Abbildung eines sinkenden Motorisierungsgrads war methodenbedingt gar nicht möglich, da die für die Prognose gewählte Gompertz-Funktion stetig steigend ist und sich einem Sättigungswert annähert.

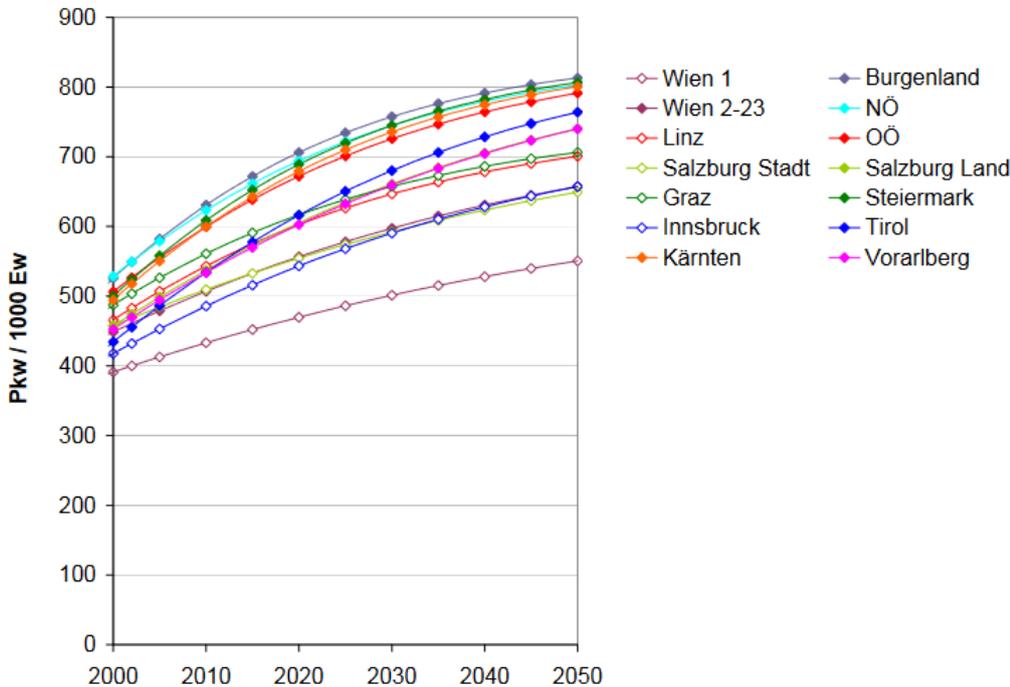


Abbildung 43: Pkw-Bestandsentwicklung 2000 bis 2050, Quelle: TRAFICO et al. (2009).

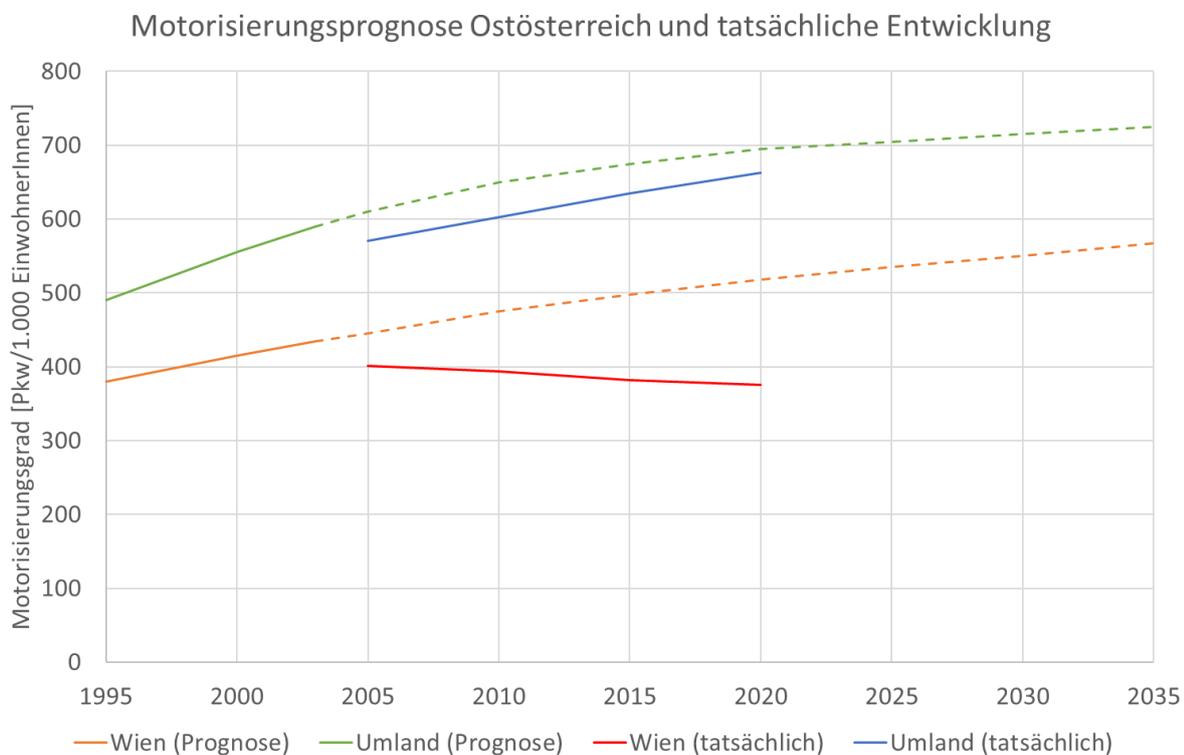


Abbildung 44: Entwicklung des Motorisierungsgrades in Wien bzw. im Umland (in Umland ist ganz Niederösterreich sowie die burgenländischen Bezirke Eisenstadt inkl. Rust, Eisenstadt-Umgebung, Neusiedl am See, Mattersburg und Oberpullendorf); Quelle: eigene Darstellung nach Sammer et al. (2004); (Statistik Austria, 2021; Statistik Austria, 2023a).

2.3.3 Weitere, auf dem Klimawandel beruhende Entwicklungen

In Österreich fällt der klimawandelbedingte Temperaturanstieg doppelt so stark aus wie im weltweiten Durchschnitt. Gegen Ende des Jahrhunderts wird selbst im Klimaschutzszenario RCP4.5 eine Temperaturzunahme von 2,3 °C erwartet, im Business-As-Usual-Szenario (RCP8.5) von 4,0 °C. In beiden Szenarien ist bis 2050 mit einem Temperaturanstieg von 1,3 bis 1,4 °C gegenüber dem Bezugszeitraum 1971-2000 zu rechnen (Abbildung 45). (Umweltbundesamt, 2022b)

Die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen sind enorm: es ist mit häufigeren Starkregenereignissen, Rutschungen, Muren und Steinschlag sowie Waldbränden zu rechnen, fruchtbare Böden werden ausgetrocknet und weggeschwemmt, Schädlinge, allergene Arten sowie subtropische und tropische Krankheitsüberträger treten vermehrt auf. Die ökonomischen Schäden bei einer globalen Klimaerwärmung bis 2050 um bis zu 2 °C werden in Österreich auf jährlich mindestens 6 bis 12 Mrd. Euro geschätzt. (Umweltbundesamt, 2022b)

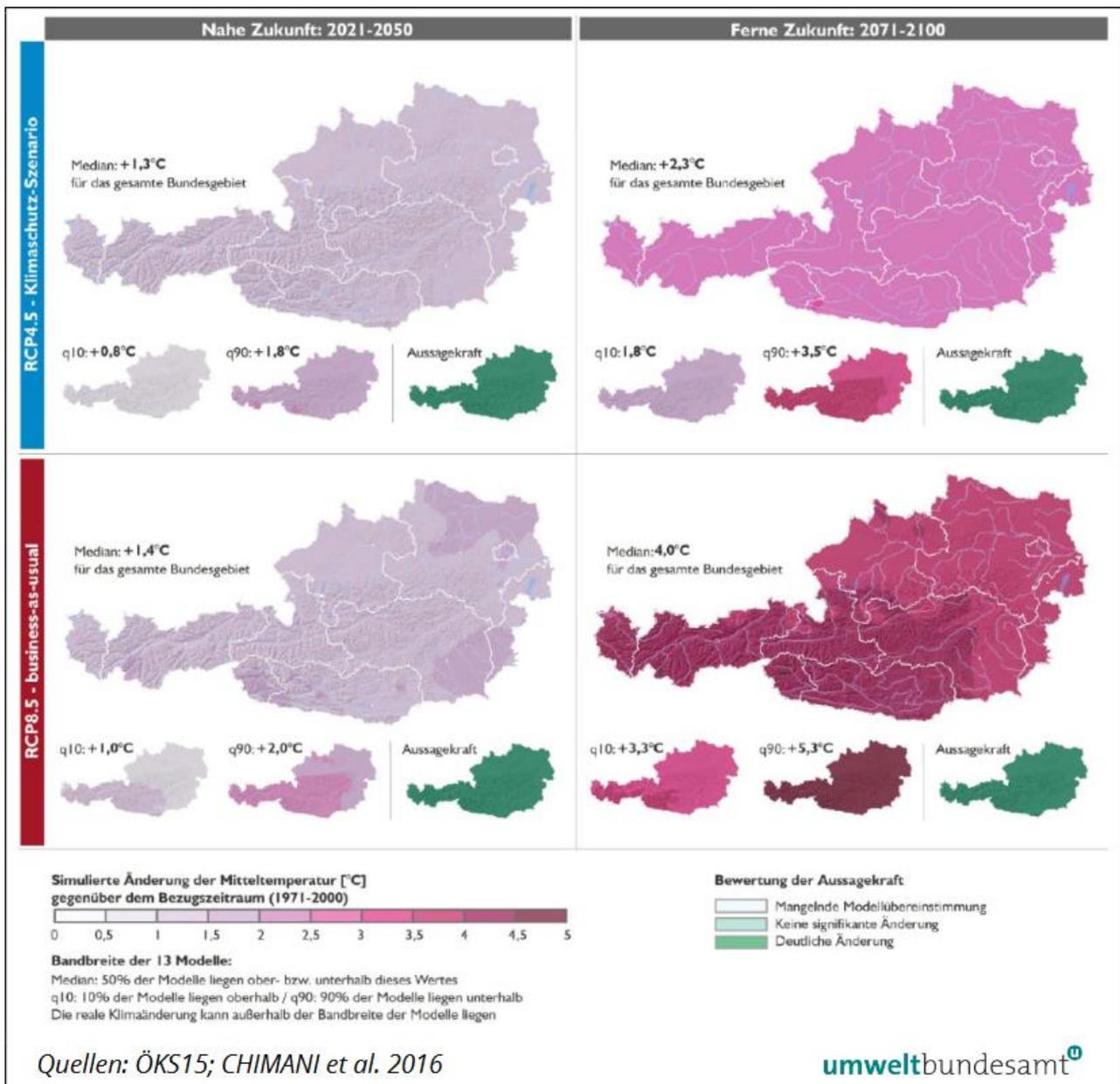


Abbildung 45: Simulierte Änderung der Mitteltemperatur [°C] gegenüber dem Bezugszeitraum (1971–2000); Quelle: Umweltbundesamt (2022b).

3 Studien und Forschungsergebnisse zur Vergangenheit und Zukunft der Mobilität

In Kapitel 3 werden internationale und nationale Studien- und Forschungsergebnisse zur Zukunft der Mobilität zusammengefasst, gefolgt von eisenbahnspezifischen Studien. Ziel ist es, einen Überblick zu erlangen, um darauf aufbauend Schlüsse auf die zukünftigen Entwicklungen auf nationaler Ebene zu ziehen.

3.1 Internationale Studien und Forschungsergebnisse

3.1.1 On Mobility (Marchetti, 1993)

Cesare Marchetti verbindet in seinen Arbeiten das Konzept der Reisezeitkonstanz mit den Kondratiev-Zyklen. Seiner Beobachtung nach durchlaufen Mobilitätstechnologien diverse Stadien und werden regelmäßig von neuen Technologien abgelöst: ca. 50 Jahre dauert das Wachstum einer Technologie, weitere 50 Jahre das Verdrängen der bisherig führenden Technologie. Marchetti führt das anhand der Entwicklung des Kanal-, Schienen- und Straßennetzes in den USA aus (Abbildung 46). Mit Verweis auf die Kondratiev-Zyklen schlussfolgert Marchetti, dass die „klassische“ Bahn während des nächsten Zyklus (1995-2050) verschwinden wird. Als aktuelle vorherrschende Technologie sieht er das Flugzeug, das das Wachstum des Straßenverkehrs begrenzen wird.

Als Nische für den Bahnverkehr identifiziert Marchetti die Verbindung zwischen Städten in einer Entfernung von 30 bis 200 Kilometern, wo schnelles Pendeln Umzüge ersetzen kann.

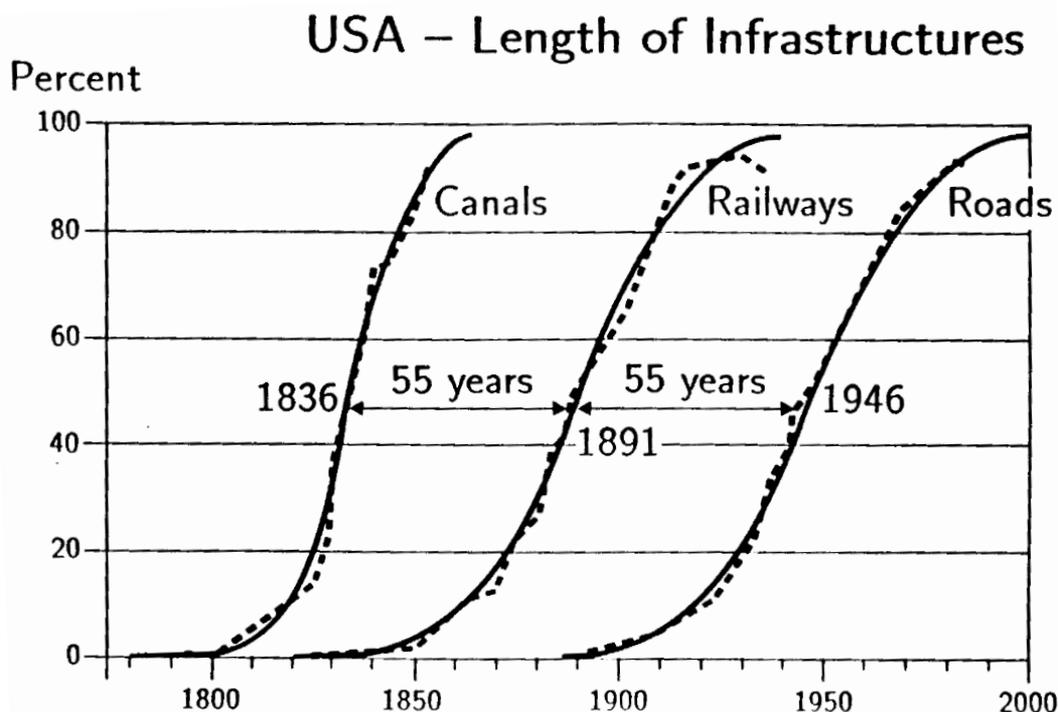


Abbildung 46: Das relative Wachstum der Infrastrukturen bis zu ihrer Maximallänge folgt einer logistischen Kurve, wobei die Bereiche maximalen Wachstums jeweils 55 Jahre auseinander liegen; Quelle: Marchetti (1993).

3.1.2 Toward green mobility: the evolution of transport (Ausubel et al., 1998)

Ausubel et al. (1998) identifizieren als neue Technologie die Magnetschwebbahn, die vermutlich zuerst das Wachstum des Flugverkehrs einbremsen und ihn schließlich stark einschränken wird (Abbildung 47). Der Übergang zu neuen Technologien, die schneller, aber teurer als die etablierten sind, erfolge anfangs zögerlich. Mit zunehmendem Wohlstand der Bevölkerung könnten immer mehr Menschen die schnelleren Verkehrsmittel nutzen, wodurch die alten, langsamen substituiert werden. Im Gegensatz zu Autos, die eine

Zersiedlung fördern, könnten Magnetschwebebahnen zu „bimodalen oder ‚virtuellen‘ Städten“ führen: „Inseln“ von fußläufigen, autofreien Siedlungen mit einer Fläche von 1 km² und 100.000 Einwohner:innen wären untereinander durch Hochgeschwindigkeits-Maglevs verbunden.

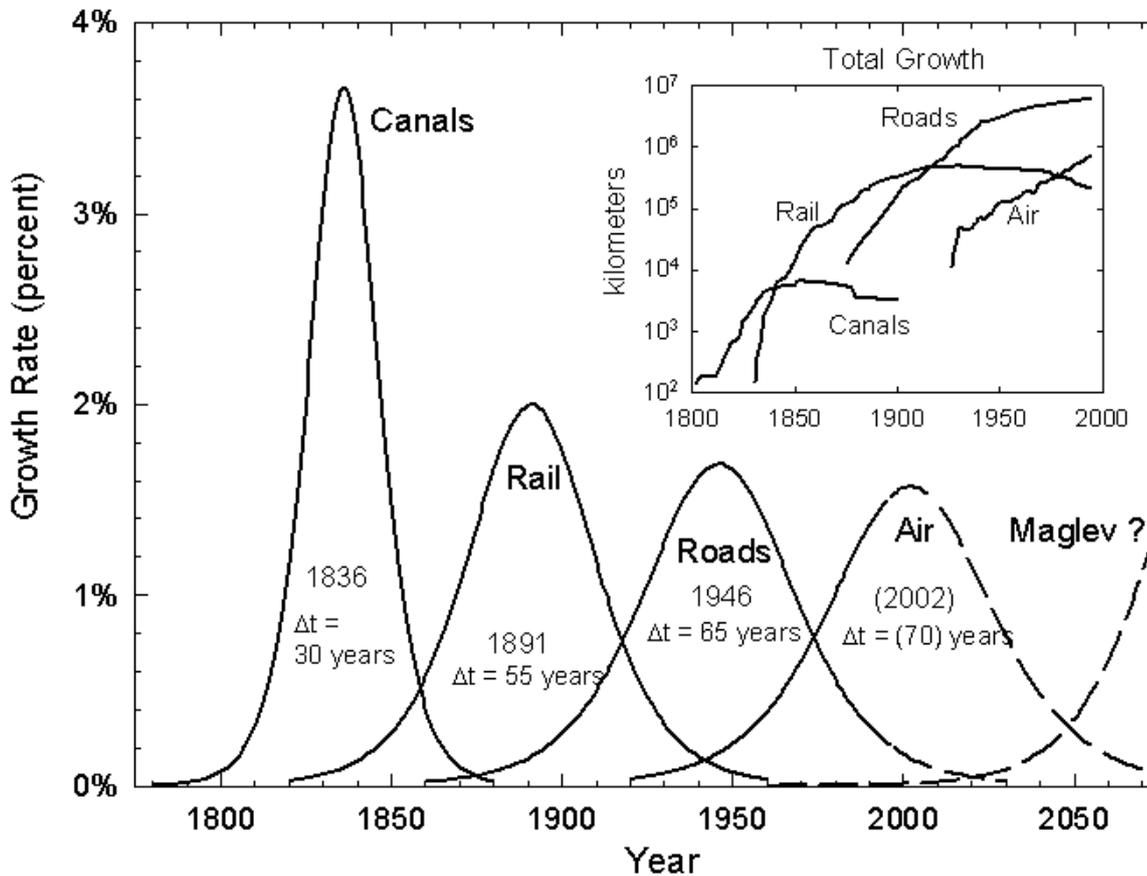


Abbildung 47: Geglättete historische Wachstumsraten (durchgezogene Striche) der Hauptanteile der US-Transportinfrastruktur und Annahmen (strichliert) basierend auf einer konstanten Dynamik. Das Insert rechts oben zeigt die tatsächliche Längenentwicklung. Delta t ist die Zeit, die ein System braucht, um von 10 Prozent Länge auf 90 Prozent zu wachsen; Quelle: Ausubel et al. (1998).

3.1.3 The future mobility of the world population (Schafer und Victor, 2000)

Schafer und Victor (2000) beziehen sich in ihrer Arbeit auf das von Zahavi vorgeschlagene Reisezeitbudget („travel time budget,“ TTB): Menschen verbringen einen konstanten Teil ihres Tageszeitbudgets – ca. 1,1 h pro Person und Tag – mit Mobilität, und zwar unabhängig von Wirtschaftsleistung, Wohnort oder Kulturkreis (Abbildung 48). Die Autoren finden ähnliche Gesetzmäßigkeiten für das Reisegeldbudget („travel money budget“, TMB), das – ebenfalls fast unabhängig von der Wirtschaftsleistung – zwischen 10 und 15 Prozent vom Einkommen beträgt (Abbildung 49). Steigendes Einkommen führt bei konstantem Reisezeitbudget und Reisegeldbudget direkt zu höheren Ausgaben für Mobilität, somit zu schnelleren Verkehrsmitteln und zu größeren Reiseweiten.

Unter 5.000 bis 7.000 pkm pro Person überwiegt der langsame öffentliche Verkehr. Ab ca. 10.000 pkm pro Person dominiert das Auto. Würden theoretisch alle Wege mit der aktuellen Gate-to-Gate-Durchschnittsgeschwindigkeit eines Flugzeugs von 600 km/h durchgeführt, ergibt sich bei einem Reisezeitbudget von 1,1 h/Person/Tag eine jährliche Reiseweite von 240.000 km/Person bei einem entsprechenden Einkommen von 240.000 USD/Person. Unter Berücksichtigung regionaler Unterschiede durch verschiedene Infrastrukturentwicklungen, Bevölkerungsdichte oder Policies ergebe sich ein deterministisches Muster im Verhalten von Transportsystemen.

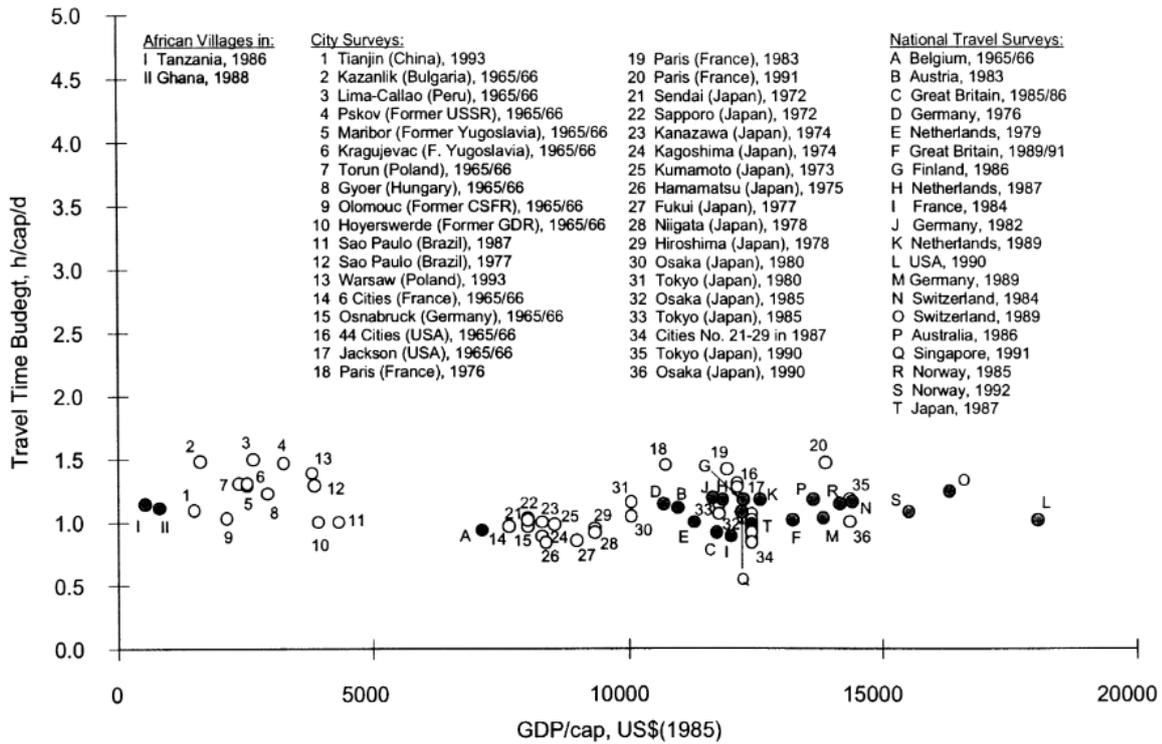


Abbildung 48: Durchschnittliches pro Kopf-Reisezeitbudget (travel time budget TTB) nach Wirtschaftsleistung; Quelle: Schafer und Victor (2000).

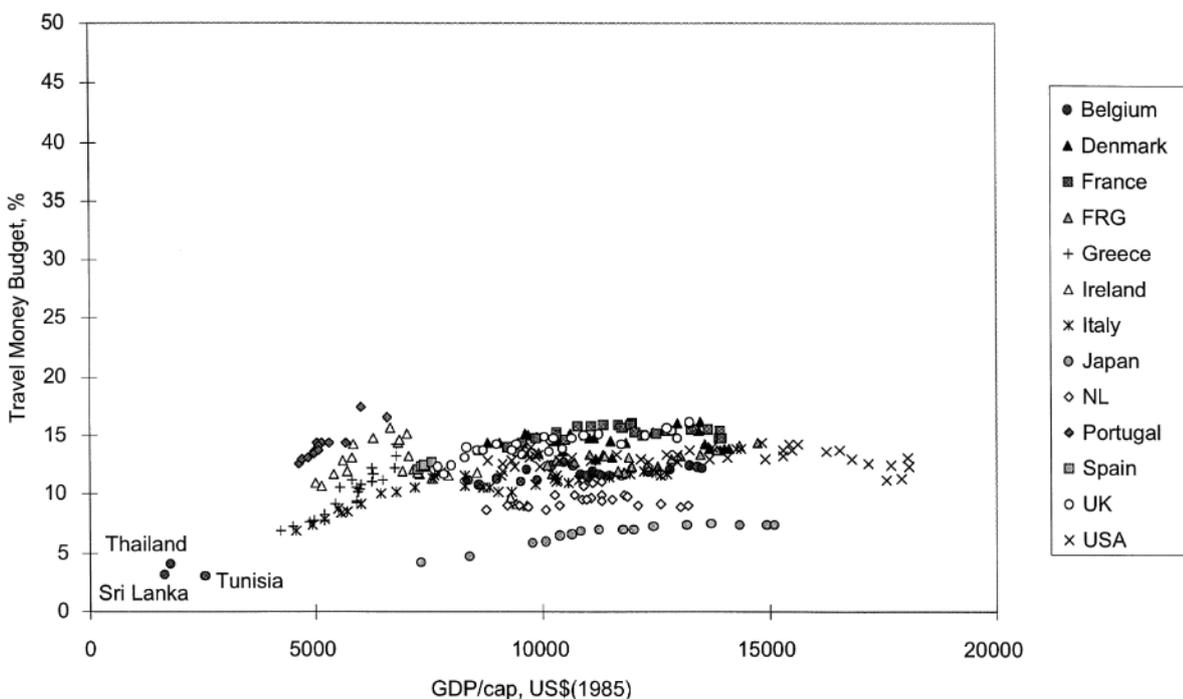


Abbildung 49: Durchschnittliches Reisegeldbudget (travel money budget TMB) nach Wirtschaftsleistung; Quelle: Schafer und Victor (2000).



3.1.4 Insights into future mobility (MIT Energy Initiative, 2019)

Die Studie der MIT Energy Initiative (2019) beschäftigt sich mit der Mobilitätstransformation, die durch drei technologiegetriebene disruptive Trends hervorgerufen werden wird: die Elektrifizierung der Fahrzeuge (EVs) and andere Antriebstechnologien, vernetzte und autonome Fahrzeuge (CAVs, connected and autonomous vehicles) und Mobility-as-a-Service (MaaS).

Die Analysen der Autor:innen legen nahe, dass günstige, unregulierte Tür-zu-Tür-Mobilitätsdienste eine starke Konkurrenz zu anderen Verkehrsmodi darstellen werden und zu höherem Energieverbrauch und mehr Fahrzeugverkehr führen werden. Die durchschnittliche Fahrzeit im Straßennetz würde durch Staus zunehmen. Die Autor:innen sind der Ansicht, dass automatisierte On-Demand-Services den herkömmlichen öffentlichen Massenverkehr gar nicht komplett ersetzen könnten, weil das bestehende Straßennetz an seine Kapazitätsgrenzen stoßen würde.

Ein vielversprechendes Szenario sieht automatisierte On-Demand-Services mit verschiedenen Gefäßgrößen komplementär zum herkömmlichen öffentlichen Verkehr, vor allem als Zu- und Abbringerverkehrsmittel in schlecht ÖV-erschlossenen Gebieten. Damit könnten Stau und Emissionen reduziert werden, jedoch seien dafür signifikante technologische und politische Fortschritte notwendig. Ebenso wichtig seien Änderungen im Konsumverhalten: symbolische und emotionale Faktoren, die den Fahrzeugbesitz – v.a. in Schwellenländern – fördern, können ein großes Hindernis für die breite Einführung nachhaltigerer Technologien und Dienstleistungen darstellen.

Die Autor:innen betonen, dass die Technologie und der Markt allein die angestrebten Änderungen nicht in der notwendigen Geschwindigkeit und Größenordnung erreichen würden. Gezielte Rahmenbedingungen der öffentlichen Hand seien notwendig, um den Zugang zu sicheren, effizienten, gerechten und ökologisch nachhaltigen Mobilitäts Optionen zu fördern. Kurz- und mittelfristig seien die größten Änderungen durch die effektivere und flächendeckende Ausgestaltung bekannter Maßnahmen zu erwarten: Citymauten, strengere Normen für die Kraftstoffeffizienz von Fahrzeugen, Subventionen für Fahrzeuge mit alternativen Antrieben sowie Investitionen in den öffentlichen Verkehr.

3.1.5 Zukunftsszenarien autonomer Fahrzeuge - Chancen und Risiken für Verkehrsunternehmen (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV), 2015)

Der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV) (2015) zeichnet in seinem Positionspapier zwei mögliche Entwicklungsszenarien autonomer Fahrzeuge und deren Auswirkungen auf den öffentlichen Verkehr: „die Innovation des Autonomen Fahrens als Individualverkehr mit einer totalen Ausrichtung auf das eigene Auto und den schleichenden Tod des ÖPNV“, oder „das autonome Fahrzeug als voll integrierten Teil des öffentlichen Verkehrssystems, das die innerstädtischen Wege, die Pendlerbeziehungen und den Fernverkehr vollständig abdeckt und das eigene Auto überflüssig macht.“ Die Autor:innen befürchten, dass die kommunale Politik getrieben von Automobilen-Mobilitätsanbietern Entwicklungen zulassen oder begünstigen könnte, die konkurrenzierend zu den heutigen Angebotskonzepten wirken. Die Automobilhersteller und Internetfirmen, die beide in den AV- bzw. Sharing-Sektor drängen, hätten dabei nicht das Wohl der Stadt oder den ÖPNV im Blick.

Autonomes Fahren führe automatisch zu einer Steigerung der Attraktivität des Pkw und sei deshalb zunächst für den ÖV kontraproduktiv. Vollautonome Fahrzeuge könnten jedoch auch als Teil des ÖPNV eingesetzt werden, diesen so stärken und somit eine Alternativ zum Besitz von Privat-Pkws darstellen. Es bestehe also die Chance, dass autonome Fahrzeuge zu weniger Autos, weniger Autoverkehr und mehr ÖPNV führen.

3.1.6 The limits of transport decarbonization under the current growth paradigm (de Blas et al., 2020)

de Blas et al. (2020) fokussieren in ihrem Paper auf Dekarbonisierungsstrategien im Verkehrsbereich bis 2050. Mithilfe eines Modells werden vier Szenarien modelliert, wobei besonders konventionelle Energieeffizienzverbesserungen und technologische Lösungen untersucht werden. Im „Expected EV trends“-Szenario werden aktuelle und zu erwartende Trends der E-Mobilität fortgeschrieben. Im „EV High“-Szenario wird eine besonders hohe Durchdringung bei Pkw, Bussen und Motorrädern von 100 Prozent und vom Schwerverkehr von 80 Prozent bis 2050 angenommen. Im „E-bike“-Szenario wird der Großteil der Privat-Pkw



durch E-Motorräder, E-Bikes und aktive Mobilitätsarten substituiert; der Schwerverkehr wird zur Hälfte auf die elektrifizierte Bahn verlagert. Keines der drei Szenarien erreicht auch nur annähernd das Treibhausgasziel 2050. Das „EV High“-Szenario führt zu signifikanten Problemen bei der Verfügbarkeit von Schlüsselmineralien wie Lithium, Kupfer und Magnesium, erscheint also unplausibel ohne strenge Recycling-Policies. Das „E-bike“-Szenario verzögert den Engpass an Flüssigtreibstoffen kurzfristig, stimuliert aber ökonomisches Wachstum, weshalb die Emissionsreduktion gering ausfällt.

Als viertes Szenario wurde eine „Degrowth“-Szenario modelliert, das die Ziele der Dekarbonisierung und der Peak-Oil-Anpassung erfüllt. Es beinhaltet dieselben Annahmen bezüglich der Fahrzeuge (Shift zu kleineren, elektrischen Fahrzeugen bzw. zu aktiver Mobilität), jedoch zusätzlich eine Reduktion des land- und wassergebundenen Verkehrs um 60 Prozent und des Flugverkehrs um 85 Prozent.

Die Autor:innen ziehen den Schluss, dass das Ziel der Reduktion der Treibhausgase aus dem Verkehrsbereich um 80 Prozent bis zum Jahr 2050 nur durch sehr starke Policies erreicht werden kann, u.a. durch eine radikale Umstellung auf leichte, elektrische Fahrzeuge, durch die Verlagerung des Straßengüterverkehrs auf die Schiene, durch ambitionierte Recyclingquoten, durch eine drastische Reduktion der Verkehrsnachfrage und durch einen signifikanten Rückgang der Wirtschaftstätigkeit insgesamt.

3.1.7 Is It Time for a Public Transit Renaissance? (Shaheen und Cohen, 2018)

In ihrem US-zentrierten Paper identifizieren Shaheen und Cohen (2018) fünf Trends, die zu fundamentalen Änderungen des öffentlichen Verkehrs führen.

- 1) Das Verhalten der Generationen in Bezug auf Suburbanisierung und Automobilität ändert sich: Millenials nutzen seltener als ihre Vorgängergeneration im selben Alter das Auto, Boomer häufiger. Millenials vermeiden unnötige Fahrten durch Technologie: sie arbeiten häufiger von zu Hause aus, kaufen online ein, treffen sich vermehrt online und nutzen häufiger Sharing-Dienste. Durch spätere Heirat und längere Ausbildungszeiten vor dem Hauskauf, durch spätere Elternschaft oder häufigere Kinderlosigkeit verzögert sich der Fahrzeugbesitz.
- 2) Einstellung gegenüber Informations- und Kommunikationstechnologien: die Nutzung von IKT kann einige physische Reisen Telearbeit oder Online-Shopping ersetzen, aber auch den Zugang zu neuen Mobilitätsoptionen wie Car- oder Bike-Sharing oder Ride-Hailing-Diensten ermöglichen.
- 3) Einstellung zu Sharing und Mobility-on-Demand: während Car-Sharing zu einem Rückgang der ÖV-Wege führen kann, wurde auch eine Zunahme aktiver Wege festgestellt. Bei Bike-Sharing-Diensten wurden – je nach System und örtlichen Gegebenheiten – eine Konkurrenz oder Ergänzung zum öffentlichen Verkehr festgestellt.
- 4) Alternativen zu beruflichen und außerberuflichen Reisen: Neue Technologien haben den Bedarf an stationären Einzelhandelsgeschäften und die Notwendigkeit der physischen Anwesenheit von Arbeitnehmer:innen in einem Büro verringert. Nicht-Arbeitswege werden durch den elektronischen Handel und elektronische Dienstleistungen wie die Lieferung von Lebensmitteln und Waren sowie die Telemedizin beeinflusst. Einkaufswege im ÖV könnten also durch Zustelldienste substituiert werden.
- 5) Das Wachstum flexibler On-Demand Transportalternativen bietet Möglichkeiten und Gefahren für den öffentlichen Verkehr: durch die Vielzahl an Alternativen werden Reisenden in Zukunft nicht mehr den ÖV nutzen „müssen“, sondern das für sich beste „Mobilitätsenerlebnis“ auswählen. IKT bieten die Chance, klassische ÖV-Formen wie den Linienverkehr durch Informationsbereitstellung zu verbessern oder um On-Demand-Dienste räumlich und zeitlich zu erweitern.

Automatisierung könnte der transformativste Trend seit dem Auto für Regionen und den öffentlichen Verkehr sein, da sie Siedlungen, Kosten, Pendelverhalten und Verkehrsmittelwahl beeinflussen wird. So, wie automatisierte Fahrzeuge (AVs) das Potenzial haben, die Reisekosten drastisch zu senken und damit weitere Pendelwege und Zersiedelung zu fördern, können sie auch die Betriebskosten im öffentlichen Verkehr und damit die Fahrtkosten für die Nutzer:innen senken.

Die Digitalisierung des öffentlichen Verkehrs durch Echtzeit-Analysen, Apps, Sensoren und Satellitennavigation wird das Kund:innenerlebnis verbessern und es den Reisenden ermöglichen,



informierter, flexibler und mobiler bei ihrer Verkehrsmittelwahl zu sein. Im Zuge der dramatischen Transformation solle die öffentliche Hand einige Prinzipien berücksichtigen: 1) Öffentliche Einrichtungen sollen die Zusammenarbeit zwischen öffentlicher Hand und Privaten fördern, 2) die Automatisierung von Fahrzeugen wird wahrscheinlich die Art der langjährigen konventionellen, öffentlich-privaten Beziehungen im Verkehrswesen verändern, 3) öffentliche Stellen sollen Daten sammeln und speichern, um die Auswirkungen und Systemwirkungen bewerten zu können, 4) der Verkehr soll für alle zugänglich und gerecht sein.

3.1.8 Shape the Future of Mobility – Für ein zukunftsfähiges Schweizer Mobilitätssystem (PricewaterhouseCoopers AG, 2019)

In ihrer Studie konstatieren PricewaterhouseCoopers AG (2019), dass die immer komplexer werdende Mobilität ein Ökosystem erfordere, in dem u.a. der öffentliche Verkehr, Straßenverkehr, Mikro-Mobilitätsdienstleistungen und Infrastrukturen intelligent vernetzt sind. Der Transformation stünden fünf zentrale Barrieren (Regulierung, etablierte Strukturen, Finanzierung, Geschäftsumfeld und -zweck, Datenaustausch) und fünf weitere Barrieren (Differenzierung, Kundenkontakt, öffentliche Meinung zu Automatisierung, Kommunikation- und IT-Infrastruktur, Cyberkriminalität) entgegen.

Zur Überwindung der Barrieren sollten die zentralen Akteure des Schweizer Mobilitätssektors (d.h. öffentliche Hand, öffentliche Verkehrsunternehmen, „neue“ Mobilitätsdienstleister sowie Kommunikationsnetz- und Infrastrukturbetreiber) gemeinsam in sieben Stoßrichtungen bewegen: 1) Gesamtschweizerische Vision und Governance für Mobilität definieren, 2) Anreize zur Teilnahme an einem Mobilitätsökosystem schaffen, 3) Austausch von Mobilitätsdaten ermöglichen, 4) Bestehende Verkehrsinfrastrukturen auf die vernetzte Mobilität ausrichten, 5) Kooperationen auf mehreren Ebenen eingehen, 6) Digitale Transformation, Business Modelling und Innovationen vorantreiben, 7) Kompetenzinitiative „Mobilität der Zukunft“ aufgleisen.

Die Autor:innen identifizieren acht Megatrends, deren Auswirkungen auf die Mobilität sie als zentral erachten: Digitalisierung, demographischer Wandel, Ökologie, Individualisierung, neue Mobilität, neue Arbeit, Datenschutz und -sicherheit, Urbanisierung. Daraus ergäben sich drei zentrale Veränderungen: 1) Neue Technologien bringen neue Lösungen, aber auch eine neue Konkurrenz, 2) Kundenansprüche und der Bedarf an Mobilitätsdienstleistungen werden steigen, 3) Multimodale Mobilität wird (mittelfristig) zum neuen Standard.

Aus dem Aufeinandertreffen von Megatrends und Kund:innenbedürfnissen entstünden die folgenden Widersprüche: 1) Bezahlung pro Nutzung vs. Eigentum, 2) Erhöhte Mobilität vs. Umwelt, 3) Autonomie und Konnektivität vs. Sicherheitsbedenken, 4) Effizienz vs. Ansprüche an Reiseerlebnis, 5) Komfort vs. Preis, 6) Individualisierung vs. Datenschutz.

3.1.9 mobility4work - Mobilität für die digitalisierte Arbeitswelt (Haselsteiner et al., 2020)

Im Projekt mobility4work beschäftigten sich Haselsteiner et al. (2020) mit den Auswirkungen, die eine digitalisierte Arbeitswelt auf das Mobilitätsverhalten haben wird. Sie stellen eine zunehmende zeitliche und örtliche Flexibilisierung der Arbeitnehmer:innen fest, die sich aus den aktuellen Trends in der Arbeitswelt (zunehmende Teilzeitarbeit, flexiblere Arbeitszeiteinteilung, erhöhte Mobilitätsanforderungen im Zuge von Auslandsreisen, etc.) ergäben. Gleichzeitig komme es zu einer zunehmenden ‚Funktionsdurchmischung‘ im urbanen Raum, welche Erwerbsarbeit, Wohnen und Freizeitgestaltung immer mehr in geringerer Entfernung zueinander ermöglichen und somit zu einer Verkehrsvermeidung führen könnte. Die zunehmende Funktionsdurchmischung verschiedener Lebensbereiche bzw. das Verschwimmen der Grenzen zwischen Freizeit und Erwerbsarbeit führten auch dazu, dass Fahrtzeiten vermehrt als aktive Lebens- und Arbeitszeit genutzt werden, worauf sich die ÖV-Betreiber einstellen müssten.

Bezüglich der Anforderungen an den öffentlichen Verkehr erinnern die Autor:innen an den Zuwachs an Personen mit Migrationshintergrund in Österreich mit möglicherweise anderem kulturell bedingtem Mobilitätsverhalten, sowie auf die speziellen Bedürfnisse von Frauen und von Personen mit Mobilitätseinschränkungen aufgrund kognitiver oder körperlicher Beeinträchtigungen, deren Anteil in Österreich auf rund 25 Prozent bis 38 Prozent geschätzt wird.

Die Digitalisierung ermögliche und fördere neuartige Konzepte der Personenmobilität und könne die Flexibilisierung und Nutzer:innenorientierung von Mobilitätsangeboten unterstützen. Mobilitäts-Apps und Plattformen könnten in den Bereichen öffentlicher Verkehr, Sharing Mobility und On-Demand-Verkehr zu einer verbesserten Routen- und Reiseplanung beitragen.

Die Autor:innen beleuchten qualitativ (Abbildung 50) auch mögliche Rebound- und Backfire-Effekte, die durch Teleworking bzw. Arbeitszeitflexibilisierung auftreten können: durch Teleworking wegfallende tägliche Arbeitswege können durch seltenere, weitere Arbeitswege (z.B. durch Wohnsitzveränderung) oder durch vermehrte Nicht-Arbeitswege aufgewogen werden; Pkw, die durch Homeoffice nicht mehr für den Arbeitsweg benötigt werden, können von anderen Haushaltsmitgliedern genutzt werden; flexiblere Arbeitszeiten können zu einer relativen Attraktivitätssteigerung des Pkw-Verkehrs gegenüber dem öffentlichen Verkehr führen, wenn sich die Wege von den Spitzenzeiten, in denen es im Pkw-Verkehr oft zu Staus kommt während die öffentliche Verkehr im verdichteten Angebot unterwegs ist, in Zwischen- und Randzeiten verlagert, in denen das Straßennetz nicht an der Kapazitätsgrenze ist, aber das Angebot des öffentlichen Verkehrs schon ausgedünnt ist.

Die Autor:innen identifizieren weiteren Forschungsbedarf in den Feldern 1) Berufliche Mobilität als Teil der „Alltagspraxis“, 2) Funktionsdurchmischung Mobilität – Wohnen – Arbeiten, 3) neue Akteurskoalitionen & Strategische Allianzen, 4) Fokus ländlicher Raum, 5) Mobilitätszeit ist „Qualitätszeit“, 6) Digitalisierung / Homeoffice: „Neue Arbeit“ als Triebkraft der Mobilitätswende, 7) Systemperspektive auf die Wechselwirkung von physischer und virtueller Mobilität, 8) Innovative Konzepte (und Geschäftsmodelle) eines unternehmensbezogenen und / oder überbetrieblichen Mobilitätsmanagements, 9) Flexibilisierung, Angebotsvielfalt, Mobility on Demand etc.

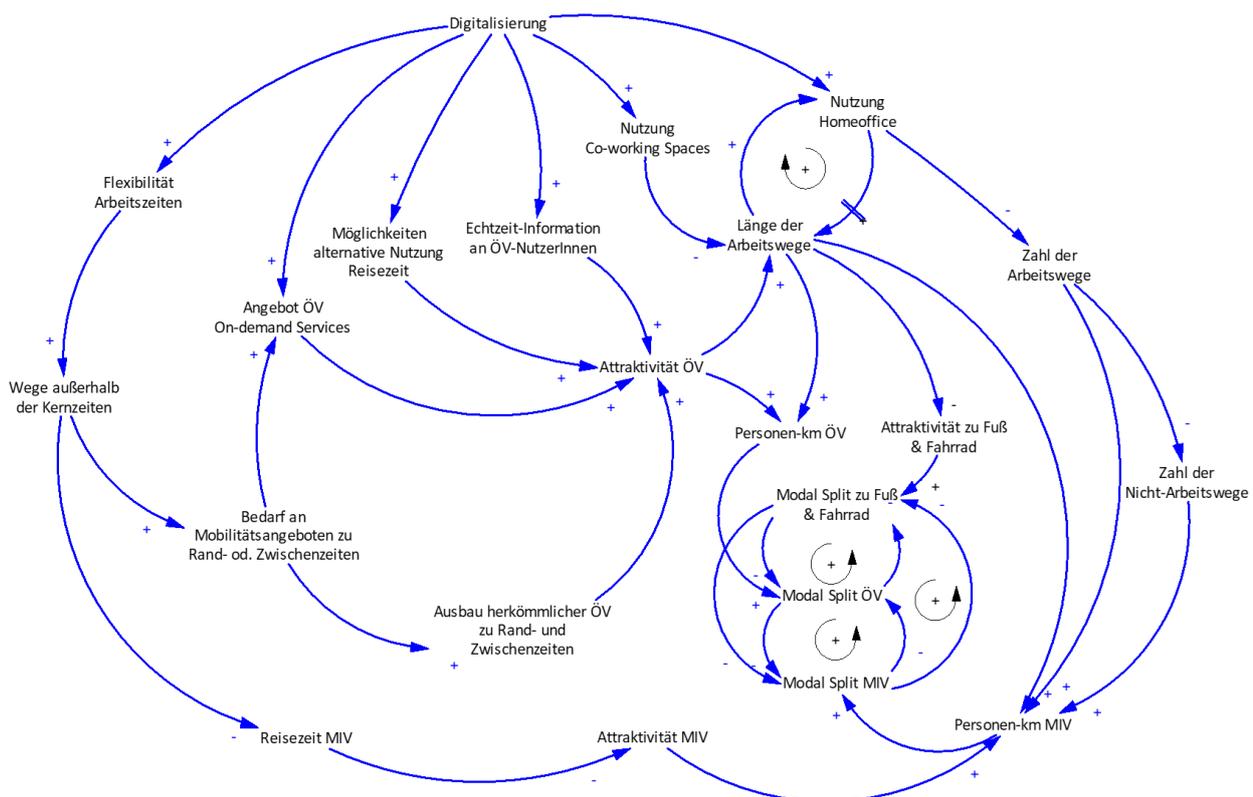


Abbildung 50: Darstellung der möglichen Auswirkungen von Digitalisierung auf die Personenmobilität mittels Causal-loop-Diagramms; Quelle: Haselsteiner et al. (2020).

3.1.10 Drones for parcel and passenger transportation: A literature review (Kellermann et al., 2020)

Kellermann et al. (2020) untersuchen in ihrer Meta-Studie 111 Publikationen aus den Jahren 2013 bis 2019 zum Einsatz ziviler Drohnen zu Transportzwecken. Die Autor:innen analysieren die thematisierten zu



erwartenden Hindernisse, möglichen Probleme, vorgeschlagene Lösungen und erwartete Nutzen in den Kategorien gesellschaftliche Implikationen, Sicherheit und Schutz, Ethische Fragen / Verletzung der Privatsphäre, Umwelt und Nachhaltigkeit, Stadtplanung und Infrastruktur sowie Akzeptanz in der Bevölkerung. Die ausschließlich mobilitätsbezogenen Nutzen betreffen die Entlastung des Straßenverkehrs, Reisezeiteinsparung sowie die Entlastung der Umwelt.

Bezüglich der Entlastung vermissen die Autor:innen genaue Abschätzungen des Substitutionspotenzials verschiedener Anwendungsszenarien von Drohnen sowie der (langfristigen) ökonomischen und Verhaltenseffekte. Bezüglich der Reisezeiteinsparungen sei eine Abwägung gegen die Dichte an notwendiger Supportinfrastruktur, die Geschwindigkeitsniveaus, die Reichweite und die örtlichen Stauelevel notwendig. Auch Rebound-Effekte dürften nicht außer Acht gelassen werden – die Reisezeiteinsparungen durch höhere Geschwindigkeiten könnten in längere Wege investiert werden und somit die Umwelt- und Energiekosten erhöhen. Bezüglich der Umwelteffekte seien Lebenszyklusanalysen und der Vergleich mit alternativen Verkehrsmodi notwendig. In der Hinsicht sind die Autor:innen skeptisch, ob Drohnen in naher Zukunft energieeffizienter als bestehende Transporttechnologie sein werden, weil Antrieb und vertikale Mobilität grundsätzlich energieintensiver als bodengebundene Mobilität seien.

Die aktuelle Entwicklung sei stark von der Erwartung ökonomischer Vorteile getrieben, während soziale und ökologische Verbesserungen eher im Hintergrund stünden. Sie warnen davor, die Probleme und Ungleichheiten rein um des Fortschritts Willens zu reproduzieren – so, wie das schon bei früheren Verkehrsinnovationen geschehen sei.

3.1.11 Ökologische Bewertung von Verkehrsarten (Allekotte et al., 2020)

Im Auftrag des deutschen Umweltbundesamts haben Allekotte et al. (2020) die Umweltwirkungen diverser Verkehrsarten in Deutschland im gesamten Lebenszyklus in Form von Umweltkosten je Personen- bzw. Tonnenkilometer anhand der folgenden Wirkungskategorien untersucht: Treibhausgasemissionen, Luftschadstoffe (Stickoxide, Feinstaub, Kohlenmonoxid, Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe, Schwefeldioxid), Ressourcenverbrauch anhand des kumulierten Energieaufwands, des kumulierten Rohstoffaufwands sowie der Flächenbelegung, Lärmemissionen, Verkehrsunfälle und externe Kosten.

Im Personenfernverkehr (Abbildung 51) schneidet der nationale Flugverkehr am schlechtesten ab, gefolgt vom Pkw-Verkehr und dem internationalen Flugverkehr. Die Umweltkosten im Schienenfernverkehr und Busverkehr liegen deutlich niedriger. Im Personennahverkehr verursacht das Motorrad die höchsten Umweltkosten, dicht gefolgt vom Pkw. Das Fahrrad schneidet am besten ab.

Im Güterverkehr (Abbildung 52) weist der nationale Flugverkehr die höchsten Umweltkosten auf, gefolgt vom internationalen Flugverkehr. Die Umweltkosten im Lkw-Verkehr sinken mit steigendem zulässigem Gesamtgewicht. Die bei weitem niedrigsten Umweltkosten verursacht der Schienengüterverkehr, gefolgt vom Binnenschiff.

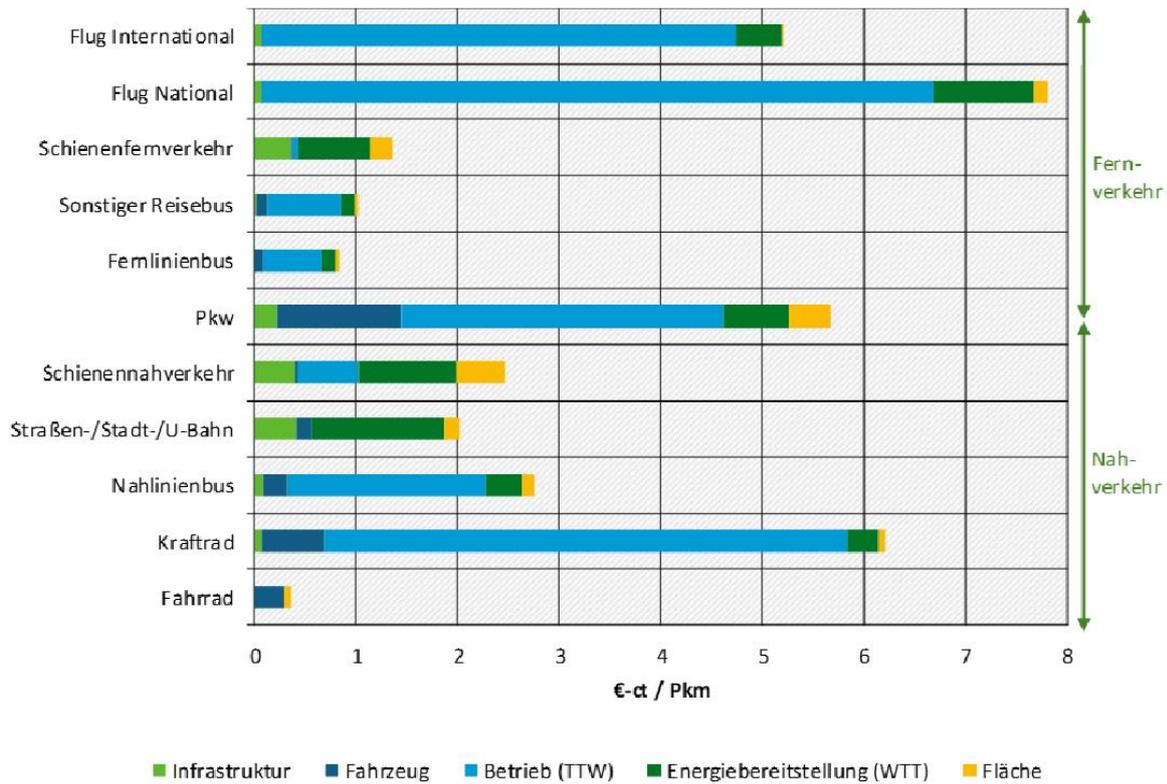


Abbildung 51: Umweltkosten des Personenverkehrs in Deutschland 2017, Quelle: Allekotte et al. (2020).

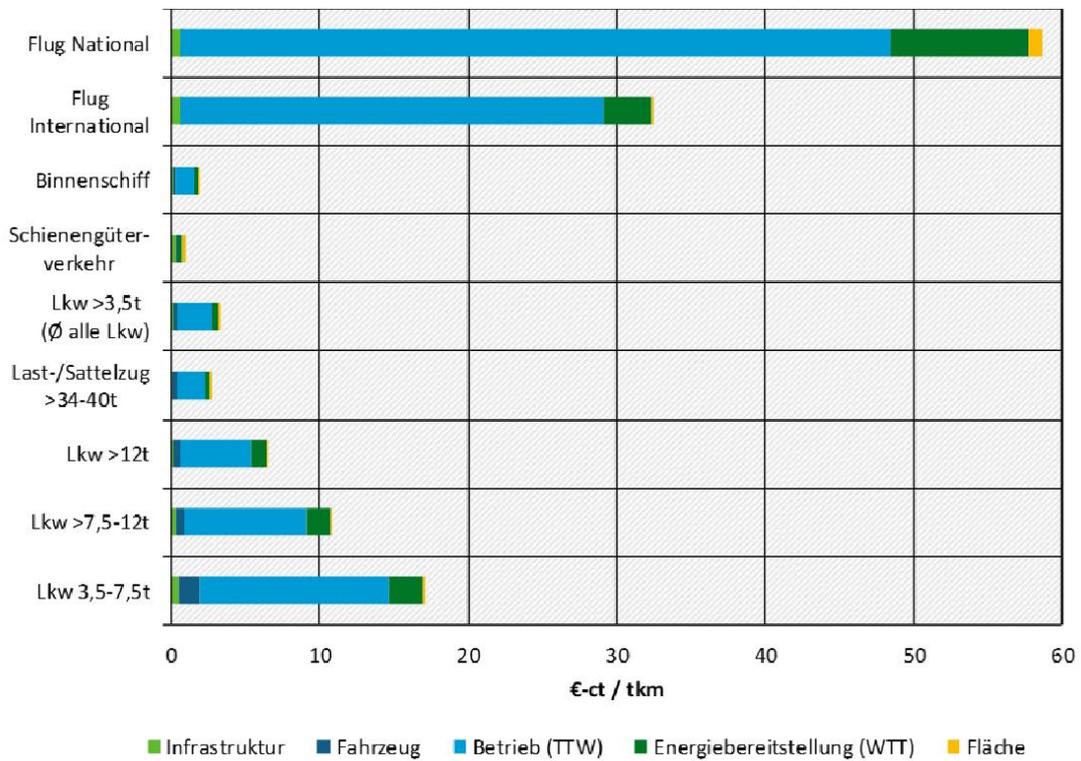


Abbildung 52: Umweltkosten des Güterverkehrs in Deutschland 2017, Quelle: Allekotte et al. (2020).

3.1.12 How (In)accurate Are Demand Forecasts in Public Works Projects?: The Case of Transportation (Flyvbjerg et al., 2005)

Flyvbjerg et al. (2005) untersuchen in ihrer Studie die Treffsicherheit von Vorhersagen im Zuge von Verkehrsinfrastrukturprojekten, wobei der Datensatz 210 Projekte – 27 Bahn- und 183 Straßenprojekte – zwischen 1969 und 1998 in 14 Ländern auf 5 Kontinenten umfasst. Sie vergleichen dabei die Prognosen mit den tatsächlich eingetretenen Passagierzahlen (Schienenverkehrsprojekte) bzw. Verkehrsmengen (Straßenverkehrsprojekte) im Jahr der Fertigstellung.

Die Autor:innen stellen fest, dass die Fahrgastprognosen in über 9 von 10 Schienenverkehrsprojekten zu hoch waren. Im Durchschnitt würden die Fahrgastzahlen um 105,6 Prozent überschätzt. Bei Straßenbauprojekten würden die Fahrzeugmengen – unabhängig davon, ob es sich um Autobahn-, Brücken- oder Tunnelprojekte handle – um 8,7 Prozent überschätzt, wobei in 50 Prozent der Projekte die Prognosen um mehr als 20 Prozent von den tatsächlichen Verkehrsmengen abweichen würden. Die Verkehrsmengen in Straßenbauprojekten würden aber gleich häufig über- wie unterschätzt (Abbildung 53).

Als Ursachen für die Prognoseabweichungen v.a. bei Bahnprojekten identifizieren die Autor:innen – neben Unsicherheiten der Rahmenbedingungen und Mangel an Daten – u.a. den politischen oder ideologischen Wunsch der Verlagerung des Verkehrs von der Straße auf die Schiene sowie die härtere Konkurrenz um (Förder)Gelder bei Schienenverkehrsprojekten.

Zur Verbesserung der Treffsicherheit von Prognosen schlagen die Autor:innen zwei grundlegende Arten der Rechenschaftspflicht vor: jene des öffentlichen Sektors durch Transparenz und öffentliche Kontrolle, und jene des privaten Sektors durch Wettbewerb und Marktkontrolle.

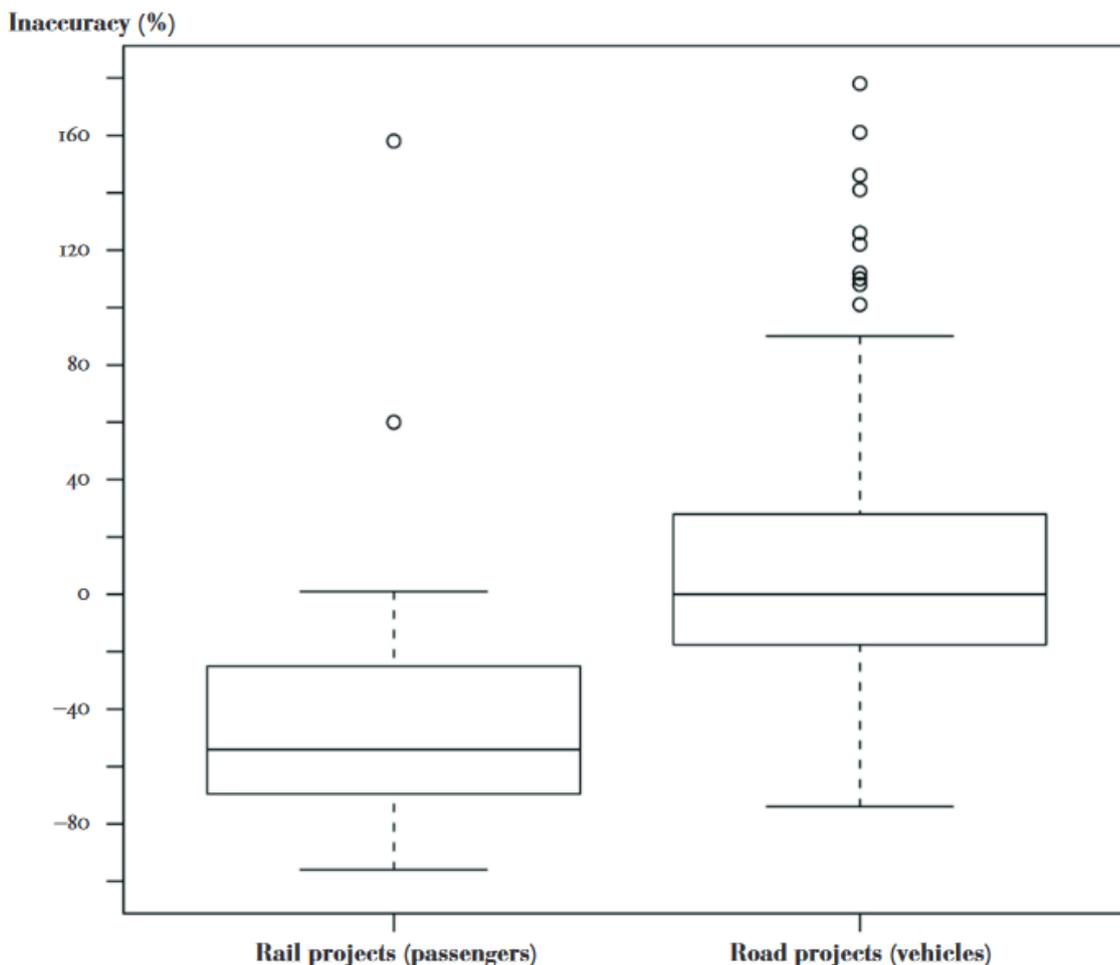


Abbildung 53: Ungenauigkeit der Verkehrsprognosen bei 210 Verkehrsinfrastrukturprojekten, 1969-1998; Quelle: Flyvbjerg et al. (2005).

3.1.13 Guidance for transport planning and policymaking in the face of an uncertain future (Lyons und Davidson, 2016)

Lyons und Davidson (2016) beschäftigen sich in ihrem Paper mit Prozessen der Entscheidungsfindung bei großer Unsicherheit in der Verkehrsplanung und -politik. Geringe Unsicherheiten, die aus Informationsmangel entstehen, könnten mit gängigen Analysetechniken gemanagt werden. Die Unsicherheiten über die Zukunft des Verkehrssystems seien aber größer, sodass sie nicht einfach durch mehr und bessere Informationen gelöst werden könnten.

Die Autoren zeigen zwei gangbare Wege der Politikgestaltung auf (Abbildung 54): Regimekonformität (bei der das Festhalten an uns bekannten Trends die Politik vorantreibt) und Regimeprüfung (bei der Bekanntes in Frage gestellt wird und die Vision die politischen Entscheidungen bestimmt). Lyons und Davidson (2016) argumentieren in Richtung der Regimeprüfung, wo Entscheidungsträger:innen Unsicherheit als Chance wahrnehmen und realisieren, dass sie die Zukunft gestalten und nicht nur auf eine vorhergesagte Zukunft reagieren können.

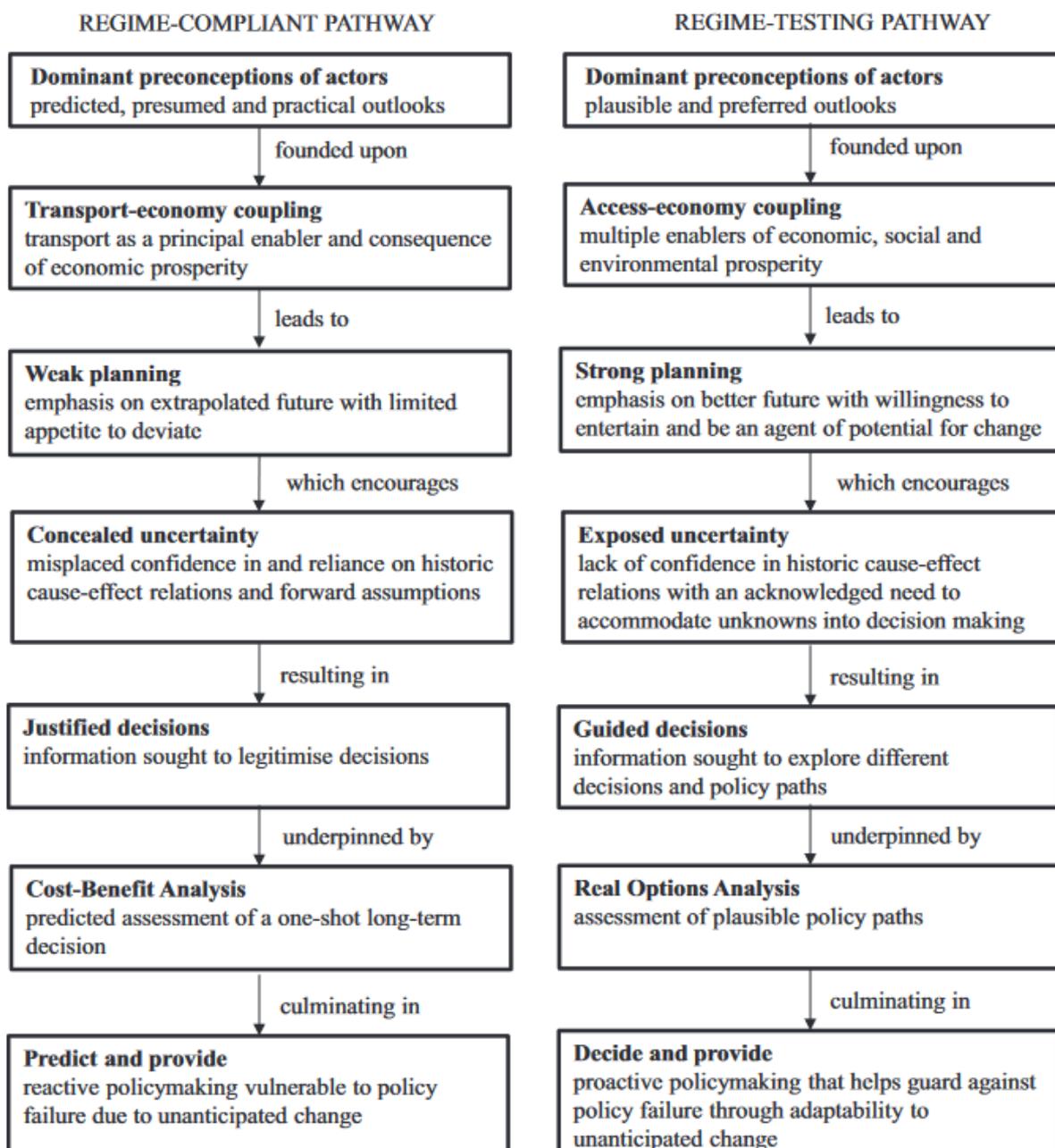


Abbildung 54: Wege der Politikgestaltung; Quelle: Lyons und Davidson (2016).

3.1.14 Transformation by design or by disaster – Why we need more transformative research now (Bogner et al., 2023)

Bogner et al. (2023) plädieren in ihrem Beitrag zugunsten einer verstärkten Transformationsforschung, um die Umsetzungslücke zwischen Theorie und Praxis zu schließen. Um informierte Entscheidungen in komplexen Systemen treffen zu können, sei es notwendig, das Zusammenspiel dreier Dimensionen von Transformationen zu berücksichtigen: Direktionalität (was muss sich ändern bzw. welche Teile des Systems müssen sich ändern?), Legitimität (wer hat das Recht, zu entscheiden, welche Maßnahmen notwendig sind?) und Verantwortlichkeit (wer hat Macht im System, wer profitiert, wer trägt Verantwortung?). Transformative Forschung berücksichtigt diese Faktoren beim Adressieren gesellschaftlicher Probleme, u.a. durch kreative Methoden. Dadurch ergäben sich neue Perspektiven, neues Wissen, eine andere Problemsicht und neue Lösungsmethoden, um verschiedene Dimensionen der Gerechtigkeit zu berücksichtigen: Verfahrensgerechtigkeit, Anerkennung, Verteilung und epistemische Ungerechtigkeit.

3.1.15 Climate Endgame: Exploring catastrophic climate change scenarios (Kemp et al., 2022)

Kemp et al. (2022) fordern in ihrem Paper die verstärkte wissenschaftliche Beschäftigung mit Klimakatastrophenszenarien. Das sei für ein Risikomanagement und Entscheidungsfindung unter Unsicherheit unerlässlich. Die Autor:innen sehen vier Gründe zur Besorgnis betreffend einer potenziellen Klimakatastrophe:

1. Die Erfahrung aus der Vergangenheit zeigt, dass regionaler oder globaler Klimawandel schon beim Untergang vieler Zivilisationen sowie beim fünften Massenaussterben eine wesentliche Rolle gespielt hat. Der aktuelle Kohlenstoffgehalt in der Atmosphäre steigt in einer noch nie dagewesenen Geschwindigkeit und wird gegen Ende des Jahrhunderts Werte überschreiten, die ausschlaggebend für frühere Massenaussterben waren.
2. Der Klimawandel könnte andere Katastrophenrisiken – Bedrohungsmultiplikatoren – wie internationale Konflikte auslösen, oder die Ausbreitung von Infektionskrankheiten beschleunigen.
3. Der Klimawandel könnte mehrere indirekte Belastungen wie wirtschaftliche Schäden, Landverluste oder Wasser- und Ernährungsunsicherheit verursachen, die synchron auftretend zu einer globalen Krise führen.
4. Der Klimawandel könnte die Fähigkeit der Menschheit untergraben, sich von anderen Krisen – wie z.B. einem Atomkrieg – zu erholen.

Fünf Befürchtungen würden in den IPCC-Berichten seit 2001 geäußert: 1) bedrohte Ökosysteme, 2) Häufigkeit und Schwere von Extremwetterereignissen, 3) globale Verteilung der Auswirkungen, 4) wirtschaftliche und ökologische Gesamtauswirkungen, und 5) irreversible, großräumige und abrupte Veränderungen.

Die Autor:innen schlagen vier Forschungsrichtungen vor: 1) Verstehen der Dynamik des extremen Klimawandels und seiner langfristigen Auswirkungen, 2) Erforschung der klimawandelbedingten Pfade zu Massenmorbidity und -sterblichkeit, 3) Untersuchung der sozialen Fragilität: Anfälligkeiten, Risikokaskaden (Abbildung 55) und Risikoreaktionen, und 4) Synthese der Forschungsergebnisse zu einer integrierten Katastrophenbewertung.



eigene Mobilität, Sicherheit und Leichtigkeit der Bewegung sicherstellen könnten – vom Wohnsitz im grünen Vorort, über Privatjets, Helikopter, Hochgeschwindigkeitszüge, Yachten und semi-militarisierten SUVs bis hin zu privaten Inseln – auf Kosten aller anderen, indem sie die Umweltauswirkungen ihres CO₂-intensiven Lebensstils externalisierten.

3.1.17 The political economy of car dependence: A systems of provision approach (Mattioli et al., 2020)

Mattioli et al. (2020) beschreiben die politische Ökonomie der Pkw-Abhängigkeit anhand von fünf Teilsystemen: die Bereitstellung von Pkw-Infrastruktur, die Pkw-Industrie, auto-orientierte Flächennutzungsmuster, die Vernachlässigung des öffentlichen Verkehrs und die Pkw-Kultur. Das Zusammenspiel und die Verknüpfungen der Prozesse industrielle Struktur, politisch-wirtschaftliche Beziehungen, gebaute Umwelt und kulturelle Rückkopplungsschleifen sei entscheidend für die Aufrechterhaltung der Autoabhängigkeit und schaffe ein Carbon-Lock-In.

Die Autor:innen identifizieren mehrere Merkmale autoabhängiger Verkehrssysteme: die Rolle integrierter sozio-technischer Aspekte bei der Bereitstellung von Infrastruktur, die opportunistische Verwendung widersprüchlicher ökonomischer Argumente zum Nutzen der industriellen Agenden, die Schaffung einer unpolitischen Fassade rund um autofreundliche Entscheidungsprozesse, und die Vereinnahmung des Staates durch autoabhängige Verkehrssysteme.

Aus ihrer Analyse des öffentlichen Verkehrs schlussfolgern die Autor:innen, dass die Alternativen zum autoabhängigen Verkehrssystem die Bürger:innen und das öffentliche Wohl im Fokus haben müssten. Sie könnten nicht aus einem technokratischen oder unpolitischen Standpunkt argumentiert werden, sondern sollten als öffentliches Gut begriffen werden. Die versteckten Funktionsweisen des autoabhängigen Verkehrssystems müssten kontinuierlich aufgezeigt werden. Mattioli et al. (2020) beschreiben die politische Ökonomie der Pkw-Abhängigkeit anhand von fünf Teilsystemen: die Bereitstellung von Pkw-Infrastruktur, die Pkw-Industrie, auto-orientierte Flächennutzungsmuster, die Vernachlässigung des öffentlichen Verkehrs und die Pkw-Kultur.

3.2 National

3.2.1 Sachstandsbericht Mobilität (Heinfellner et al., 2019)

Ziel des Sachstandsberichts Mobilität des Umweltbundesamts ist es, mögliche Maßnahmen zur Erreichung der Klimaziele 2030/2050 für eine zunehmende CO₂-neutrale Personen- und Gütermobilität aufzuzeigen. Dazu werden Einzelmaßnahmen und Maßnahmenbündel modelliert und ihr Beitrag zur Erreichung der Klimaziele quantifiziert. In weiterer Folge werden die 50 Maßnahmen nach den folgenden Kriterien beurteilt: Kosten, Mittelaufbringung, Akzeptanz/Umsetzbarkeit, Timing/Zeithorizont, Emissionseinsparungspotenzial, Zuständigkeit, makroökonomische (inkl. soziale) Auswirkungen, Wettbewerbsfähigkeit sowie Synergien oder Abhängigkeiten zu anderen Zielen.

In der Analyse zeigt der Sachstandsbericht auf, dass derzeit bereits verbindlich umzusetzenden Maßnahmen (WEM17-Szenario) das Ziel weit verfehlt. Die nationalen und internationalen Klimaziele seien durch einen alleinigen Technologiewechsel unter Beibehaltung der derzeitigen Mobilitätsmuster im Gesamtverkehrssystem nicht erreichbar. Es brauche also Maßnahmen zur Verlagerung der Verkehrsleistung auf effiziente Verkehrsträger sowie eine Reduktion der Verkehrsleistung insgesamt.

Die effektivsten Maßnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen im Personenverkehr sind 1) die Anpassung der Höchstgeschwindigkeit für Pkw und LNF auf Autobahnen und Autostraßen, ausgenommen emissionsfreie Fahrzeuge (ZEV – Zero Emission Vehicles), 2) eine Citymaut (Cordon Charge) in den Hauptstädten für Pkw, 3) eine Qualitätsoffensive für das Zu-Fuß-Gehen und Radfahren, 4) der Einbezug von Umwelt-, Klima- und Mobilitätspolitik in die Raumplanung, und 5) eine Erhöhung der Investitionen zur Förderung des ÖV.

Im Güterverkehr seien 1) die Einführung eines elektrifizierten Systems auf dem hochrangigen Straßennetz (z.B. Oberleitungen), 2) Verlagerungsmaßnahmen vom Straßen- auf den Schienengüterverkehr, 3) eine flächendeckende Lkw-Maut (Road Pricing), 4) die Förderung von Güterverkehrszentren und kranbaren



Sattelaufiegern samt Anpassung der dafür notwendigen Abmessungen und Gewichte der Kfz, und 5) City-Logistik-Maßnahmen zur Förderung von Betriebslogistikkonzepten zur Transportrationalisierung die effizientesten Maßnahmen.

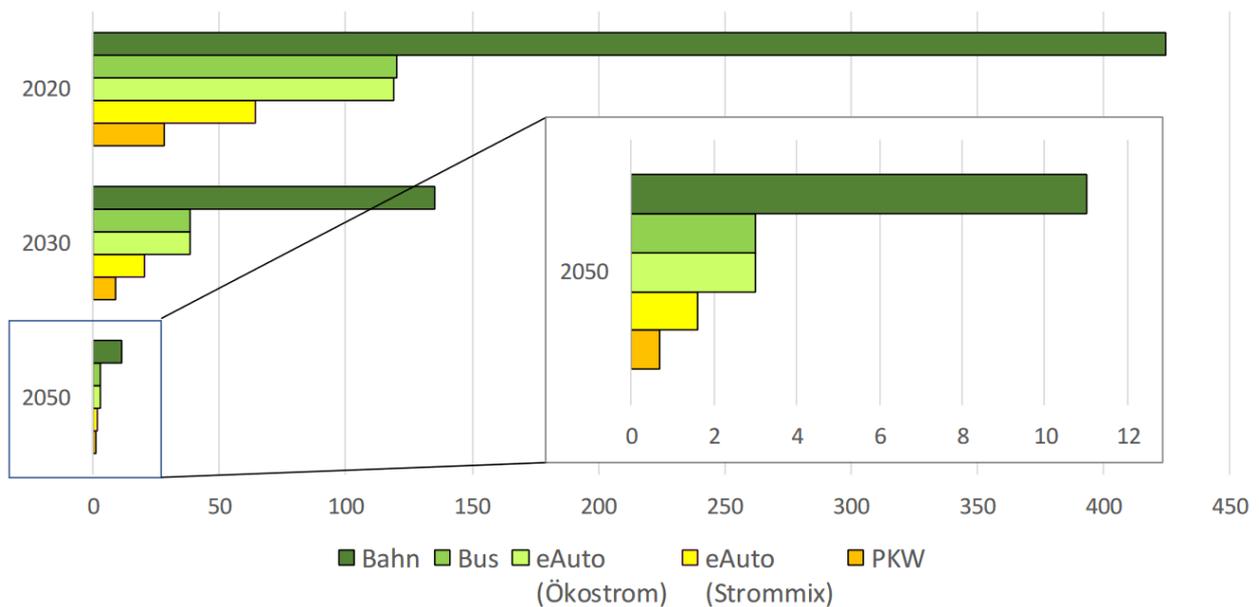
3.2.2 mobalance – Möglichkeiten einer bewussten Gestaltung von Mobilität durch Anwendung des Suffizienzprinzips im österreichischen Kontext (Millonig et al., 2020)

Im Projekt mobalance untersuchten Millonig et al. (2020) die Ausgestaltung und Wirksamkeit eines österreichischen „Mobilitätskontos“. Dabei wurden die CO₂-Reduktionsziele im Verkehr in Österreich auf individuelle Obergrenzen heruntergebrochen: selbst unter Berücksichtigung heute vorhersehbarer technischer und regulatoriver Maßnahmen dürften zur Zielerreichung im Jahr 2030 nur mehr 38 km pro Person und Tag mit einem Ökostrom-Elektroauto zurückgelegt werden (im Gegensatz zu heute 119 km), im Jahr 2050 überhaupt nur mehr 3 km (Abbildung 56).

Die Umsetzung würde über Zertifikate pro Zeiteinheit erfolgen, deren Anzahl an die Klimaziele angepasst wäre und nicht überschritten werden dürfte. Die Zertifikate könnten an einer Börse gehandelt werden. Die Mobilitätskonten müssten regional differenziert umgesetzt werden, da die Ausgangslagen und Änderungsmöglichkeiten im Mobilitätsverhalten stark von den aktuellen Strukturen geprägt seien.

Das Mobilitätskonto sollte laut den Autor:innen die folgenden Zielsetzungen verfolgen: 1) Ausgleich von räumlich-sozialen Disparitäten durch Berücksichtigung des Handlungsrahmens individueller Personen (sozialräumliche Lage, vorhandene Alternativen), 2) Erhöhung der Bereitschaft zur Verhaltensänderung durch informierte Entscheidungen und individuell kurzfristig erreichbare Ziele, und 3) Verbesserung der Möglichkeiten durch gezielte Entlastung von örtlichen Häufungen hohen Zertifikatsbedarfs aufgrund von mangelnden Erreichbarkeiten durch Intensivierung der Nahversorgung bzw. des ÖV-Angebots.

Klimaverträgliche Reichweiten in km pro Tag & Person bei Einhaltung der Reduktionsziele nach Pariser Abkommen



Quelle: mobalance; Berechnungsgrundlage: Sachstandsbericht Mobilität, Emissionskennwerte (Umweltbundesamt), Österreich Unterwegs (BMVIT)

Abbildung 56: Tägliche maximale Reichweiten pro Person und Verkehrsmittel (ohne Kombination von Verkehrsmitteln) bei Einhaltung der nationalen CO₂ Obergrenzen im Verkehrsbereich, Quelle: Millonig et al. (2020).



3.2.3 Transition Mobility 2040 (Angelini et al., 2022)

In Transition Mobility 2040 untersuchten Angelini et al. (2022) mittels eines Backcasting-Ansatzes, welche Maßnahmen in welchen Intensitäten gesetzt werden müssen, um die Ziele 1) Klimaneutralität im Verkehr bis 2040, 2) Erhöhung des bundesweiten Radverkehrswegeanteils auf 13 Prozent bis 2030, und 3) Auslangen mit einer national produzierbaren erneuerbaren Primärenergiemenge von 137 PJ bzw. Endenergiemenge von 109 PJ zu erreichen.

Zur Zielerreichung seien die folgenden Kernmaßnahmen notwendig:

- Anhebung der Mineralölsteuer im Jahr 2024 auf 0,62 Euro je Liter und im Jahr 2028 auf 0,77 Euro je Liter mit einem daran anschließenden linearen Anstieg auf 0,92 Euro im Jahr 2040
- Reduktion der allgemeinen Tempolimits auf flächendeckend 30 km/h im Ortsgebiet, 100 km/h auf Autobahnen und Schnellstraßen und 80 km/h auf allen anderen Straßen ab 2025
- 100 Prozent emissionsfreie Neuzulassungen spätestens 2030 in den Fahrzeugkategorien motorisiertes Zweirad, Pkw, LNF und SNF ≤ 18 t zGg bzw. spätestens 2035 in allen anderen Fahrzeugkategorien
- Einführung einer fahrleistungsabhängigen Maut auch für Pkw ab 2024 mit 0,10 Euro je gefahrenem Kilometer und lineare Anhebung dieser auf 0,5 Euro je gefahrenem Kilometer im Jahr 2040
- Anhebung des durchschnittlichen Besetzungsgrades von derzeit 1,15 auf 1,29 Personen je Pkw bis 2040, realisiert bspw. durch ökonomische Anreize oder die Einrichtung von Fahrgemeinschaftsspuren
- Nachhaltige Raumentwicklung, etwa durch Verdichtung von Ortskernen und einer Durchmischung der Daseinsfunktionen auf Basis veränderter Rechtsgrundlagen unter Berücksichtigung der ÖV-Güteklassen
- Attraktivierung aktiver Mobilität (Radfahren und Zu-Fuß-Gehen) durch vollinhaltliche Umsetzung der jeweiligen nationalen Masterpläne, inkl. restriktiven Maßnahmen im Motorisierten Individualverkehr
- Attraktivierung des öffentlichen Verkehrs durch Reduktion der Fahrtkosten (in Ballungsräumen über das Klimaticket hinaus) sowie Verdichtung der Intervalle und Haltestellen bis 2040
- Dämpfung des steigenden Trends in der Entwicklung des Motorisierungsgrades hinsichtlich Beibehaltung des heutigen Niveaus von 570 Fahrzeugen je 1 000 Einwohner:innen im Jahr 2040 als Auswirkung der oben aufgelisteten Maßnahmen.

Die Autor:innen betonen, dass neben den nationalen auch internationale Rahmenbedingungen notwendig seien.

3.2.4 Mobilität 2050 – Roadmap zum Umbau des Verkehrssystems (Slupetzky, 2021)

Slupetzky (2021) hat im Rahmen des ÖVG-Arbeitskreises „e-mobility“ Perspektiven und Möglichkeiten zukünftiger Mobilität mit klaren Zielbildern und nachvollziehbaren Szenarien entworfen und daraus eine konkrete Roadmap zum Umbau des Personenverkehrssystems erarbeitet. Er betont, dass „Vorhersagen nicht nur kaum möglich, sondern auch nicht sinnvoll sind“, weil Zukunft nicht durch Prognosen entstehe, sondern gestaltet werden könne. Dafür brauche es klare Zukunftsbilder, „um die anstehenden gesellschaftlichen Herausforderungen zu meistern und die Digitalisierung im Sinne der ökologischen Wende zu nützen“.

Der Autor identifiziert drei Innovationsachsen, entlang derer sich das Verkehrssystem entwickelt – „Dekarbonisierung“, „Automatisierung“ und „Integration“ – wobei unterschiedliche Zeitläufe erkennbar seien. Folgende Ziele bis 2050 werden festgelegt: 100 Prozent weniger CO₂-Ausstoß, 100 Prozent weniger NO_x-Abgase, 50 Prozent weniger Energieverbrauch, 80 Prozent weniger Pkw, 90 Prozent weniger Parkplatzraum, 50 Prozent weniger Fahrbahnlflächen, 100 Prozent geschlossenen Recyclingkreisläufen (Reststoffe 100 Prozent biologisch abbaubar).

Drei Szenarien werden definiert (Good Old Industry reloaded - Grüne Materialschlacht, Silicon Valley - Alles Auto, Save the World - Gemeinsam zum Ziel), von denen nur das letzte den Ressourceneinsatz ausreichend reduziert und die soziale Teilhabe sicherstellt. Der Pfad zur Erreichung des definierten Zielbildes wird auf drei Etappen heruntergebrochen:



- 1) Jahrzehnt der Dekarbonisierung und Integration (2020-2030) – die Dekarbonisierung müsse gelingen, ebenso die Reduktion von Mikroplastik; die Integration aller öffentlich zugänglichen Mobilitätsangebote müsse gelingen, bevor der Straßenverkehr vollautomatisiert ist, da sonst die Autobestände und -Fahrten noch mehr zunehmen.
- 2) Jahrzehnt der Automatisierung und Entkopplung (2030-2040) – ein Eigentum an Mobilität löst das Eigentum an Mobilitätsgeräten ab und ermöglicht eine Reduktion des Pkw-Bestandes; die öffentliche Hand solle die Vollautomatisierung unterstützen und lenken; die Grenzen zwischen Taxi, Mietwagen, Carsharing und Privatauto begännen sich aufzulösen
- 3) Jahrzehnt der Redimensionierung und Einfügung (2040-2050) – eine vollständige Kreislaufwirtschaft sei umgesetzt, Verkehrsflächen werden entsiegelt, die gesamte motorisierte Mobilität sei in einen integrierten öffentlich zugänglichen Verkehr zusammengeführt

Zur Erreichung der Ziele bestünden sechs maßgebliche Ansatzpunkte: 1) Platz für aktive Mobilität schaffen, 2) Umgestaltung des Öffentlichen Verkehrs als integriertes Tür-zu-Tür-Service zu jeder Zeit an jedem Ort, 3) Neuorganisation des Autoverkehrs als individualisiertes Mobilitätsservice, 4) Neue Chancen für einen klimafreundlichen Flugverkehr, 5) Integration des gesamten motorisierten Verkehrs als öffentlich zugänglichen Verkehr, 6) Redimensionierung der Straßen-Infrastruktur.

3.2.5 SAFiP – Systemszenarien Automatisiertes Fahren in der Personenmobilität (Soteropoulos et al., 2019)

Soteropoulos et al. (2019) definieren im Forschungsprojekt SAFiP drei Szenarien – in sich schlüssige und plausible Zukunftsbilder – in Hinblick auf automatisiertes Fahren für das Jahr 2050. Die künftige Entwicklung automatisierten Fahrens werde sich im Spannungsfeld zwischen übergeordneten (Mega-)Trends und Treibern sowie den in Österreich beobachteten Tendenzen im Verkehrs- und Mobilitätsbereich abspielen (Abbildung 57).

Eine der Kernaussagen des Forschungsprojektes ist, dass automatisierte Mobilität aufgrund ihrer möglichen hohen Qualität und Attraktivität für Nutzende ohne geeignete verkehrspolitische Maßnahmen wie Mobility Pricing, Parkplatzmanagement etc. zu einer deutlichen Zunahme des Verkehrsaufwandes im Individualverkehr sowie der CO₂-Emissionen führen werde. Mit der Konkurrenz zum Umweltverbundes, der Unterstützung der Gentrification und des ‚urban sprawl‘ bestünden drei große Risiken, die im Widerspruch zu den aktuellen Zielen der Verkehrs- und Siedlungsentwicklungspolitik stehen. Andererseits existierten auch positive Effekte von AVs: eine verbesserte Verkehrssicherheit, ein geringerer Verbrauch an Energie und damit weniger Umweltbelastungen durch eine „intelligente“ Verkehrssteuerung, erweiterte Mobilitätsoptionen für spezifische Bevölkerungsgruppen (z.B. Mobilitätseingeschränkte, Menschen im ländlichen Raum), eine höhere Kapazitätsausnutzung der vorhandenen Verkehrsinfrastruktur oder eine verbesserte Wirtschaftlichkeit des ÖV, falls die Personalkosten verringert werden können. Um diese positiven Effekte zu stärken und die negativen hintanzuhalten seien eine klare verkehrspolitische Priorisierung der Modi und eine planerische Steuerung notwendig.

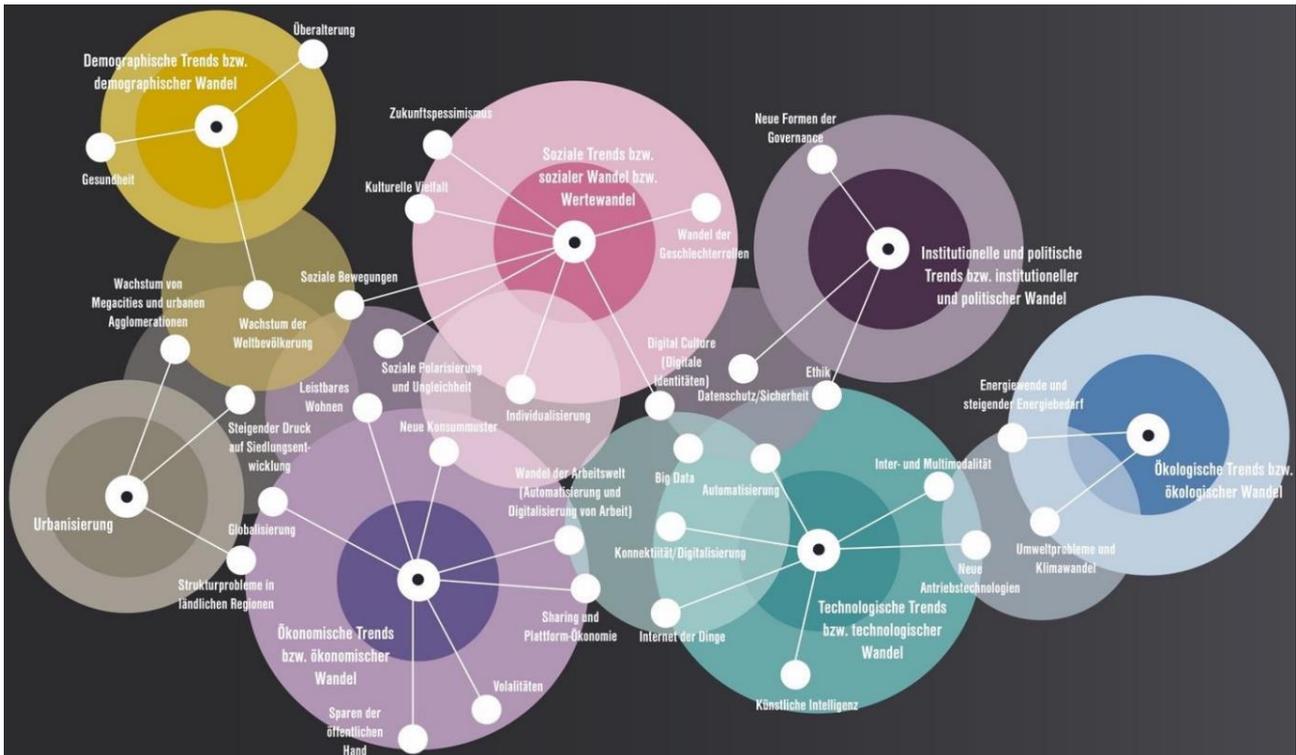


Abbildung 57: Überblick über die Beziehungen zwischen den (Mega-)Trends und Einflussfaktoren (Soteropoulos et al., 2019)

3.2.6 EISERN - Energy Investment Strategies And Long Term Emission Reduction Needs (Strategien für Energie-Technologie-Investitionen und langfristige Anforderung zur Emissionsreduktion) (Müller et al., 2012)

Die Umsetzung von (infra-)strukturellen Maßnahmen, die auf breiter Basis wirken sollen, bedarf ihrer Zeit. Ca. 8 bis 10 Jahre allein braucht es, bis eine EU-Verordnung abgeschlossen ist und bis diese dann in nationales Recht umgesetzt ist¹. Bei der Umsetzung von verkehrswirksamen Maßnahmen unterscheiden die Autoren zwei Ebenen:

- juristisch-fiskal
- physisch

Die Willensbildungs- und Umsetzungszeit ist gerade bei physischen Maßnahmen wegen der Flächigkeit und der großen Anzahl an involvierten Personen (und auch Institutionen) als groß zu veranschlagen. Eine notwendige Kooperation von Gebietskörperschaften beinhaltet zusätzliches Umsetzungs- als auch Verzögerungspotential. Bund und Länder sind beide z.B. an der ÖV-Finanzierung und -regulierung beteiligt und müssen über die Verfassung hinausgehende Regelungen über einen gemeinschaftlichen Vertrag gemäß Art. 15a B-VG regeln. Müller et al. (2012) geben folgende zwei exemplarischen Beispiele aus Österreich für den Zeitbedarf der Vorbereitung und Umsetzung von Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen: (1) Einführung der Pkw- und Lkw-Maut sowie (2) den viergleisigen Ausbau eines Westbahnabschnittes.

Beispiel: Mauten in Österreich

Eine Illustration des zeitlichen Vorlaufes von verkehrlichen Maßnahmen sind die Mauten für Lkw und Pkw auf dem hochrangigen österreichischen Straßennetz. Von den ersten Studien über die Einführung der Pkw-Vignette bis zur elektronischen Maut für Lkw vergingen 15 Jahre (Abbildung 58).

¹ Information Claus Seibt, AIT, e-Mail vom 25.01.2012

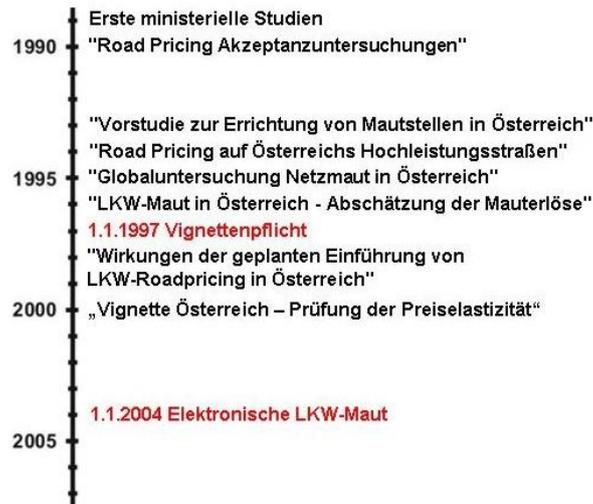


Abbildung 58: Zeitleiste der Einführung von Pkw-Vignette und Lkw-Maut in Österreich; Quelle: Müller et al. (2012) nach Estermann et al. (2008).

Beispiel: viergleisiger Westbahnausbau Asten – Linz Kleinmünchen

Ein weiteres Beispiel des Infrastrukturbaus stellt der viergleisige Ausbau der Westbahn im Abschnitt Asten – Linz Kleinmünchen dar. Auch hier ist eine große Zeitdauer zwischen Beginn der Planungen (liegt zeitlich deutlich nach dem Diskussionsbeginn und der Beschlussfassung) im Ausmaß von 14 Jahren gegeben (Abbildung 59). Dabei ist dieser Abschnitt nur 7,8 km lang.



Abbildung 59: Zeitleiste des viergleisigen Ausbaus der Westbahn im Abschnitt Asten – Linz Kleinmünchen; Quelle: Müller et al. (2012) nach ÖBB-Infrastruktur AG (2011).

3.2.7 FLADEMO - Flächendeckende Mobilitäts-Servicegarantie (Shibayama et al., 2022)

Im Projekt FLADEMO führen Shibayama et al. (2022) eine makroskopische Analyse der räumlichen Verteilung der ÖV-Versorgung von Einwohner:innen und Beschäftigten an den Betriebstagen Werktag mit Schule und Werktag Ferien anhand der ÖV-Güteklassen durch.

14,1 Prozent der Bevölkerung leben demnach (an Werktagen mit Schule) in der bestversorgten Güteklasse A, während 15,7 Prozent komplett außerhalb jeglicher Güteklassen wohnen (Abbildung 60). Es zeigt sich, dass besonders stark periphere und inneralpin gelegene Gemeinden einen hohen Anteil an Einwohner:innen außerhalb der ÖV-Versorgung haben (Abbildung 61). An Werktagen ohne Schule verschiebt sich die Verteilung in Richtung der schlechteren Güteklassen, sodass insgesamt ein Fünftel der Bevölkerung außerhalb der Güteklassen liegt.

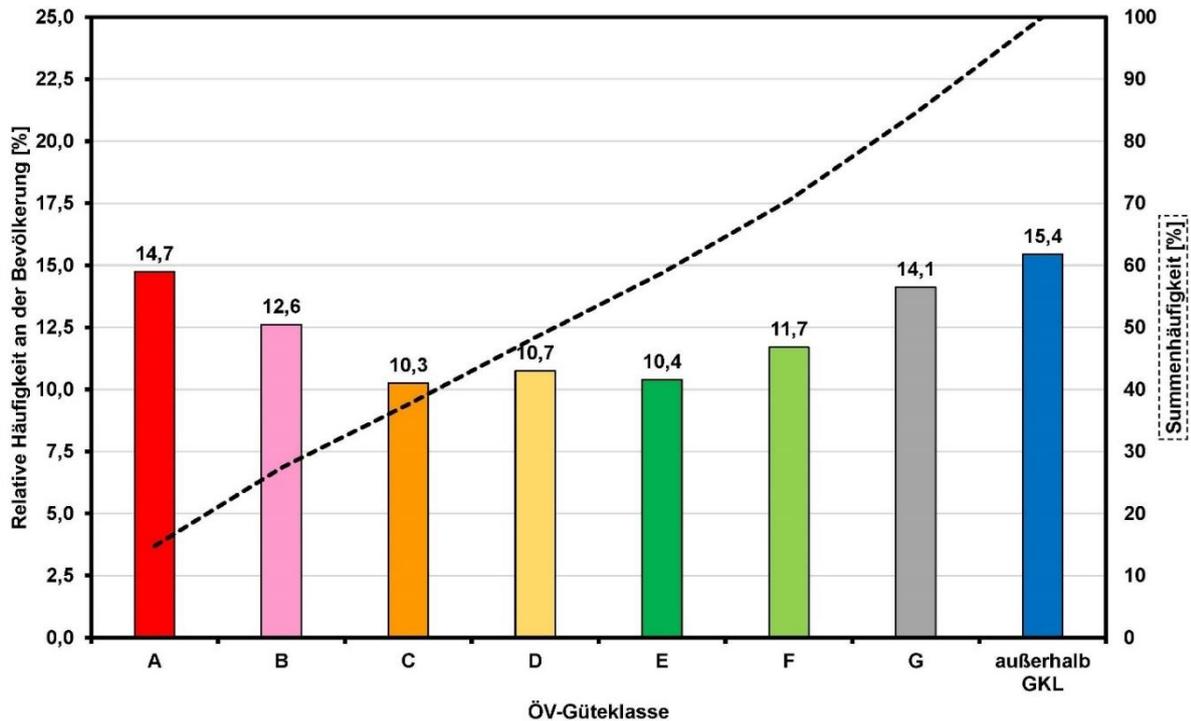


Abbildung 60: Aufteilung der Einwohner:innen Österreichs nach ihrer Lage in den ÖV-Güteklassen (innerhalb A-G und außerhalb) an Werktagen mit Schule als Säulendiagramm mit Summenkurve; Quelle: Shibayama et al. (2022).

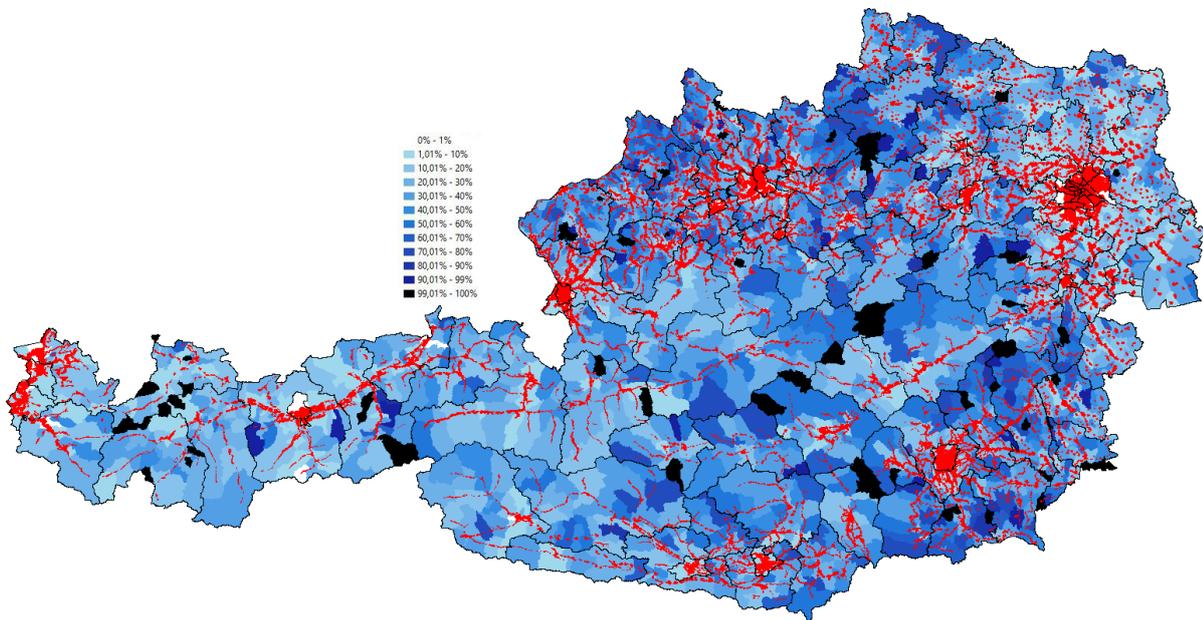


Abbildung 61: Landkarte des Anteils der Einwohner:innen außerhalb Güteklassen an Werktagen mit Schule (WTS) an den Einwohner:innen total in der Gemeinde. Farbskala in 10 Prozent-Schritten, eigene Klasse für unterstes und oberstes Prozent: 1er Perzentil weiß und 99er Perzentil schwarz. In Rot sind die Güteklassen-Flächen überlagert; Quelle: Shibayama et al. (2022).

Bei den Beschäftigten zeigt sich ein deutlich besseres Bild: an Werktagen mit Schule liegen über 22 Prozent der Beschäftigten in der besten ÖV-Güteklasse (Abbildung 62), an Werktagen ohne Schule knapp darunter. Somit sind sowohl an Tagen geringer als auch an Tagen starker Versorgung mehr als ein Fünftel der Beschäftigten mit hervorragenden ÖV-Bedingungen versorgt. Außerhalb der Güteklassen liegen an Werktagen mit Schule 10,4 Prozent der Beschäftigten, an Werktagen ohne Schule 13,5 Prozent.

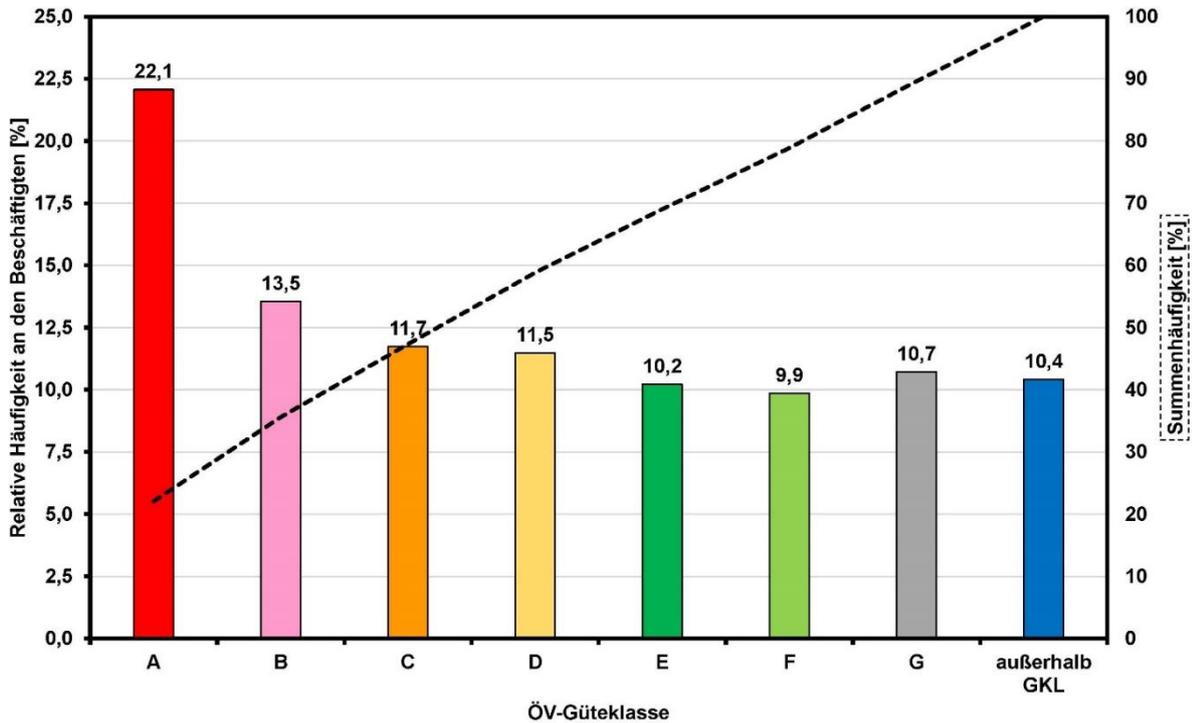


Abbildung 62: Aufteilung der Beschäftigten Österreichs nach ihrer Lage in den ÖV-Güteklassen (innerhalb A-G und außerhalb) an Werktagen mit Schule als Säulendiagramm mit Summenkurve; Quelle: Shibayama et al. (2022).

3.2.8 Berücksichtigung der Effective Carbon Rate bei der CO₂-Bepreisung (Plank et al., 2023)

Plank et al. (2023) konstatieren in ihrem Policy Brief, dass der Anteil der expliziten CO₂-Bepreisung in Form vom ETS-Zertifikatspreisen und CO₂-Steuern in Österreich sehr gering sei, bei der *Net Effective Carbon Rate* – dem Gesamtpreis auf CO₂-Emissionen, also explizite CO₂-Bepreisung und Steuern auf den Verbrauch von Brennstoff zusätzliche abzüglich der Förderungen auf fossile Brennstoffe – liege Österreich im oberen Mittelfeld. Die Autor:innen listen insgesamt 14 als klimaschädlich identifizierte Subventionen, 8 im Verkehrsbereich (Abbildung 63), und empfehlen deren international koordinierten Abbau in Kombination mit sozialen Begleitmaßnahmen, z.B. dem Ausbau des öffentlichen Verkehrs im ländlichen Raum. Die Summe der klimakontraproduktiven Förderung im Verkehrsbereich liege bei 1,4 Mrd. Euro, in anderen Studien noch deutlich höher.

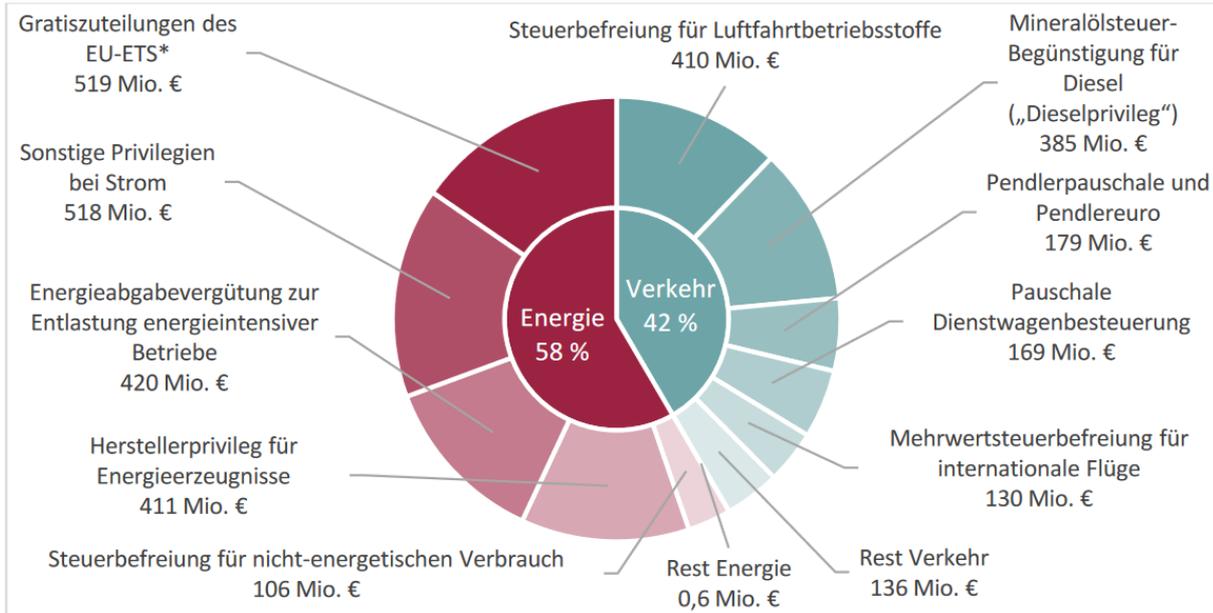


Abbildung 63: Übersicht klimaschädlicher Subventionen in Österreich, 2018; Quelle: Plank et al. (2023) nach Schnabl et al. (2021).

3.3 Bahnspezifisch

3.3.1 Network Rail Third Adaptation Report (Network Rail Limited, 2021)

Network Rail, der Betreiber eines Großteils der britischen Schieneninfrastruktur, beschäftigt sich im Third Adaptation Report mit den Effekten, die der Klimawandel auf die Schieneninfrastruktur in Großbritannien haben wird, und mit den notwendigen Gegen- bzw. Anpassungsmaßnahmen.

Zwischen 2006/07 und 2020/21 hätten wetterbedingte Vorfälle über 322.000-mal für Verspätungen gesorgt und 26 Millionen Verspätungsminuten verursacht, für die Kompensationszahlungen in der Höhe von mehr als 1 Milliarde Pfund geleistet wurden.

Die Autor:innen identifizieren vier Schlüssel-Klimavariablengruppen (Abbildung 64): 1) Niederschlag, 2) steigender Meeresspiegel, Küstenerosion und Küstenüberflutung, 3) Temperatur, sowie 4) Sturm und Gewitter.



Precipitation

Precipitation is any liquid or frozen water that forms in the atmosphere and falls to the earth in the form of rain, freezing rain, sleet, snow, and hail. **Fluvial flooding** occurs when the water level in a river, lake or stream rises and overflows onto the surrounding banks, shores, and neighbouring land. This can be as a result of excessive rain or snow melt. Precipitation, river levels and soil conditions can be used to determine the likelihood of river flooding.

Pluvial flooding occurs when surface water accumulates as result of intense rainfall that cannot be removed quickly enough by the drainage system or infiltrated by the ground. This type of flooding is associated with surface water floods and flash floods.

Climate variables assessed: • Snow Ice/Hail • Snow/ice • Heavy snow • Long wet winter/spring • Heavy rain/cloudburst • Light rain/drizzle • Intense rainfall • Low average rainfall • High soil moisture • Low soil moisture • Fluvial (river) flooding • Pluvial (surface water) flooding



Sea level rise and coastal erosion and flooding

Coastal erosion and flooding are hazards that, when combined with vulnerable coasts and assets, represent sources of coastal risk.

Changes in the coast (such as erosion) modify the flood hazard: future flood risk depends on changing shoreline position, and the simultaneous occurrence of erosion-flooding events.

Common causes of coastal flooding are intense wind storm events occurring at the same time as high tide (**storm surge**).

Climate variables assessed: • Sea level rise • Coastal erosion • Coastal flooding (storm surge)



Temperature

Extreme cold is temperatures that are lower than normal, with near freezing temperatures that are often associated with ice and frost.

Extreme heat is defined as temperatures that are much hotter and/or more humid than average.

A **heatwave** is an extended period of hot weather relative to the expected conditions of the area at that time of year, which may be accompanied by high humidity. A UK heatwave threshold is met when a location records a period of at least three consecutive days with daily maximum temperatures meeting or exceeding the heatwave temperature threshold. This threshold varies by UK county ranging from 25 to 28°C. Heat can exacerbate **drought** and **hot dry** conditions which can in turn result in wildfires and urban heat islands, posing a threat to people, ecosystems and the economy.

Diurnal temperature range is defined by the difference between the maximum and minimum temperatures within one day, this is modified by the season and geographical location.

Sun glare occurs throughout the year, during winter months it can be particularly noticeable because the sun is low in the sky, meaning the chances of being dazzled by direct sunlight is more likely.

Climate variables assessed: • Extreme cold temperatures • Extreme hot days • Heat wave • Higher average temperature • Large diurnal temperature range • Long hot dry summer • Sun glare



Storm and wind events

Although **high winds** and **storms** can relate to coastal risks, these variables can also take place in areas not situated along the coastline.

Thunderstorms form when warm moist air rises into colder air, creating an unstable atmosphere.

All thunderstorms produce **lightning** – which is a giant spark of electricity in the atmosphere between clouds, the air, or the ground.

Wind storms that are strong enough to cause damage to trees, buildings and infrastructure are not necessarily accompanied by precipitation. They can last anywhere between a few minutes to hours or days when they result from large scale weather systems.

Climate variables assessed: • Lightning • High winds • Storms • Storms/high winds

Abbildung 64: Schlüssel-Klimavariablengruppen gemäß Klimarisiko-Assessment (Network Rail Limited, 2021)

Beim Niederschlag bestünden die Schlüsselrisiken Wassereintrüben in Tunnel und Stationen, Grundbrüchen zufolge einer Sättigung des Bodens mit Wasser, der Unterbrechung der Stromzufuhr sowie der Destabilisierung bzw. des Bruchs von Schienen.

Im Bereich Meeresspiegel, Küstenerosion und Küstenüberflutung bestehe Gefahr durch Überspülen von Dämmen, durch Unterspülen von Gleisen bzw. durch Hangrutschungen.

Durch extreme Temperaturen bzw. Temperaturschwankungen könne die Gleislage beeinträchtigt werden, Gleise könnten sich bei Hitze verwerfen oder bei Kälte brechen, die Signalsteuerung könnte überhitzen, gesteigertes Pflanzenwachstum führe zu mehr Erhaltungsaufwand und könne im Falle längerer Trockenperioden Feuer fangen.

Sturm und Gewitter könnten zum Entgleisen von Waggons führen, könnten die Funktion von Schranken beeinträchtigen, Laub könnte die Signalisierung stören, und die Stromversorgung könnte durch Blitzschlag oder umstürzende Bäume unterbrochen werden.

Auf die Infrastrukturbetreiber komme durch die Instandhaltungs- und Reparaturarbeiten eine hohe finanzielle Belastung zu: die Entwässerung müsse erneuert oder saniert werden, um die Überschwemmungsgefahr zu verringern, Hänge müssten stabilisiert werden, um die Gefahr von Hangrutschungen zu minimieren, bei Brücken müsse die Auskolkung der Fundamente verhindert werden, Oberleitungen und Gleisanlagen müssten gegen Hitze geschützt werden und Vegetationsmanagementpläne würden zur Abschwächung der Auswirkungen von Wind erstellt.

3.3.2 Increased risk of extreme heat to European roads and railways with global warming (Mulholland und Feyen, 2021)

Mulholland und Feyen (2021) untersuchen in ihrem Paper die Auswirkungen steigender Temperaturen auf die Betriebs- und Erhaltungskosten für die Schienen- und Straßeninfrastruktur in der EU und Großbritannien. Die globale Erwärmung statt auf 4 °C auf 1,5 °C zu reduzieren würde jährlich 3,9 Milliarden an Betriebs- und Erhaltungskosten einsparen (Abbildung 65). Der Bahnbereich würde von einer Einhaltung des 1,5 °C-Limits relativ am meisten profitieren, da die Kosten bei 4 °C Erwärmung um mehr als das 11-fach steigen würden. Absolut wäre aber die Straße mit einer Zunahme der Betriebs- und Erhaltungskosten von 2,5 Milliarden Euro am stärksten betroffen.

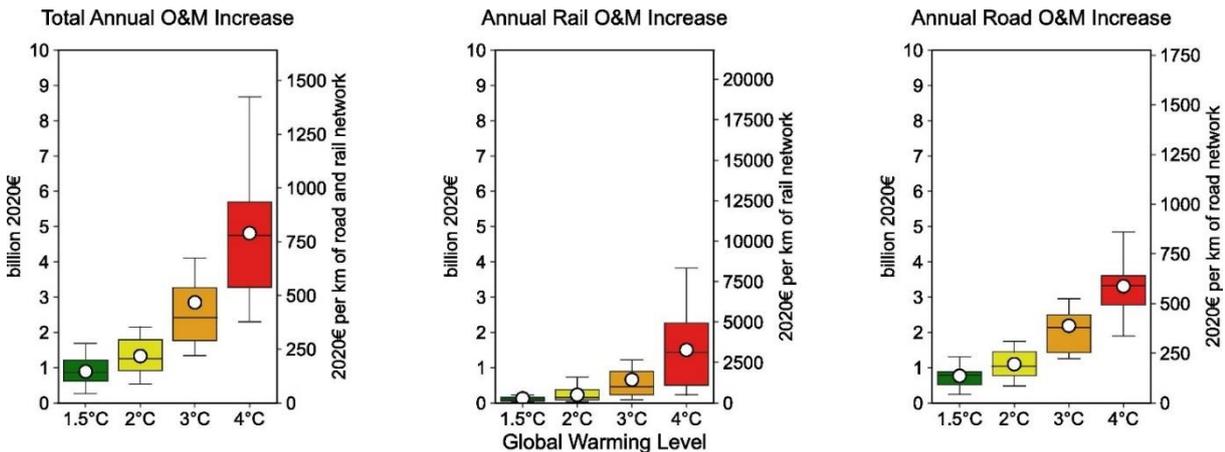


Abbildung 65: Änderung der jährlichen Betriebs- und Erhaltungskosten in der EU und Großbritannien für Eisenbahnen und Straßen (links), Eisenbahnen (mittig) und Straßen (rechts) infolge extremer Hitze bei GWLs (Global Warming Level) von 1,5 °C, 2 °C, 3 °C, and 4 °C über alle Klimamodelle. Weiße Punkte markieren die Mittelwerte. (Mulholland und Feyen, 2021)

Die Autoren evaluieren auch die regionalen Unterschiede in der Betroffenheit von Kostensteigerungen (Abbildung 66). Im Bahnbereich wäre Deutschland am stärksten betroffen: 50 Prozent der erhöhten Betriebs- und Erhaltungskosten würden dort auftreten, obwohl der Anteil am europäischen Schienennetz nur 19 Prozent beträgt, was an der niedrigeren spannungsfreien Temperatur (stress free temperatur, SFT) liegt. Auch Südspanien wäre besonders stark betroffen, da dort die Temperatursteigerungen besonders hoch ausfielen. Im Straßenbereich sind die zu erwartenden Kostensteigerungen gleichmäßiger verteilt, wären jedoch in Osteuropa höher, weil dort die Wartungsintervalle zu größer sind, die Wartungskosten aber noch höher ausfallen.

Laut den Autoren könnten die Risiken durch niedrigere Geschwindigkeiten im Bahnverkehr, aber v.a. durch eine höhere SFT reduziert werden. Im Straßenbereich könne die Asphaltmischung an höhere Temperaturen angepasst werden.

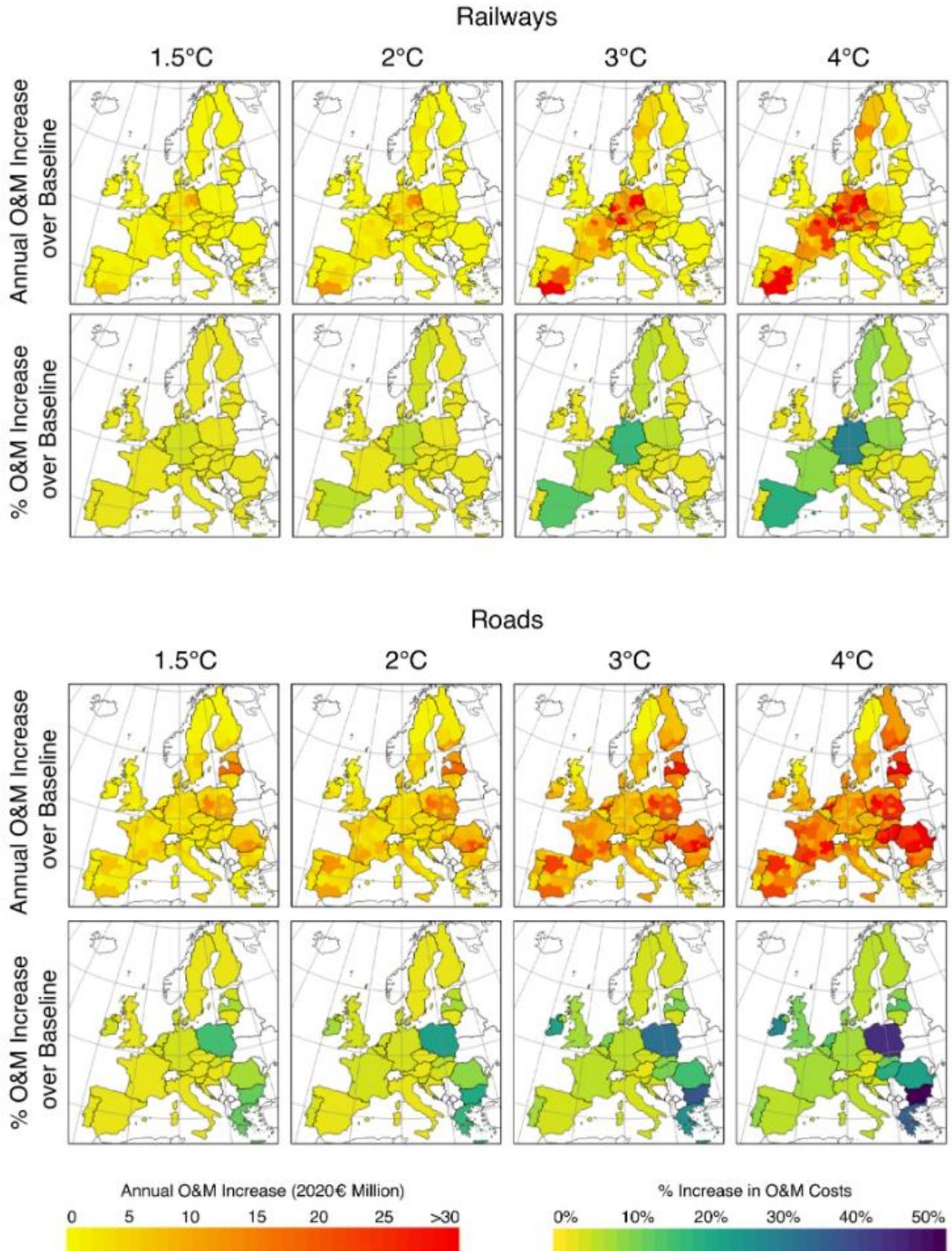


Abbildung 66: Absolute Zunahme der Betriebs- und Erhaltungskosten für Eisenbahnen (oben) und Straßen (unten) für die EU und Großbritannien infolge extremer Hitze bei GWLs (Global Warming Level) von 1,5 °C, 2 °C, 3 °C und 4 °C bzw. relative Zunahme im Vergleich zur Ausgangssituation über alle Klimamodelle (Mulholland und Feyen, 2021)



3.3.3 Impacts of climate change on operation of the US rail network (Chinowsky et al., 2019)

Chinowsky et al. (2019) beschreiben in ihrem Paper die möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf das Schienenverkehrssystem in den Vereinigten Staaten hinsichtlich der möglichen Zunahmen von Gleisverwerfungen und der damit zusammenhängenden Zunahme von hitzebedingten Verspätungen. Die Verspätungen resultieren daraus, dass bei zu erwartenden Gleisverwerfungen die zulässigen Fahrgeschwindigkeiten aus Sicherheitsüberlegungen gedrosselt werden.

Ja nach Klimaszenario (RCP4.5 bzw. RCP8.5) betragen die kumulativen Kosten zufolge hitzebedingter Verspätungen bis 2016 bis 2099 zwischen 103 und 138 Milliarden Dollar, was eine Zunahme gegenüber der Baseline von 35 bis 80 Prozent bedeuten würde. Diese Kostensteigerungen zufolge Klimawandel werden bereits im Laufe der nächsten Dekade wirksam und würden bis 2100 sukzessive zunehmen.

Die Autor:innen empfehlen den vermehrten Einsatz von Sensoren für die Abwägung von Geschwindigkeitsreduktionen, wodurch die jährlichen Kosten durch Verzögerungen um eine Größenordnung reduziert werden könnten.

3.3.4 Climate change has both positive and negative implications on rail transport (Finnish Environment Institute)

Das finnische Umweltinstitut, angesiedelt im finnischen Umweltministerium, hat auf seiner Website mögliche positive und negative Auswirkungen des Klimawandels auf den Bahnverkehr in Finnland zusammengestellt. Der Schienenverkehr sei besonders vulnabel, da es nur wenige Ausweichrouten gebe. Eine Störung betreffe somit meistens viele Züge und sei oft langwierig zu beheben.

Als negative Effekte werden u.a. Erosion und Bodenaufweichung durch häufigere und stärkere Regenfälle und Überflutungen genannt, Baumwurf durch Starkwind und Schäden an Oberleitungen oder auf Gleisen könne bei auftauenden Böden häufiger vorkommen, häufiger Frost-Tau-Wechsel könne häufigere Enteisungsmaßnahmen notwendig machen. Häufigere und intensivere Schneeschauer und Schneestürme könnten zu Blockaden und Ausfällen durch gefrorene Weichen führen, hohe Temperaturen im Sommer zu Verwerfungen der Gleise, zum Durchhängen von Oberleitungen oder zur Überhitzung von Sicherheitseinrichtungen.

Als positive Effekte werden geringere Frostschäden und weniger Enteisungsmaßnahmen durch mildere Winter erwartet.

3.3.5 Die Zukunft der Eisenbahn in Deutschland – Szenarien für das Jahr 2040 (Hofmann und von Olnhäusen, 2019)

Hofmann und von Olnhäusen (2019) entwickeln in ihrer Masterarbeit drei Szenarien für den Schienenpersonenverkehr in Deutschland im Jahr 2040 (Abbildung 67), jeweils ein Zukunftsbild und eine Erzählung, wie sich dieses Zukunftsbild aus dem Ist-Zustand entwickelt hat.

Dabei gehen sie von Grundannahmen aus, die über alle Szenarien hinweg gleich sind: 1) Stabiles wirtschaftliches Wachstum, 2) Keine extremen Bevölkerungszunahmen oder -abnahmen, 3) keine aktiven und signifikanten von der Raum- und Siedlungsstruktur ausgehenden Veränderungen, 4) keine signifikanten Abweichungen von den allgemein bekannten Annahmen bezüglich der Verkehrsnachfrage, die sich parallel zur Bevölkerungszunahme entwickelt, und 5) Störereignisse oder Diskontinuitäten wie z. B. Konflikte oder Umweltkatastrophen werden im Rahmen der Störereignisanalyse betrachtet.

Im Szenario „New-Rail-Deal“ profitiert die Bahn von einer starken Governance, die die Bahn gegenüber anderen Verkehrsmitteln priorisiert. Durch starke Standardisierung und Regulierung können Kosten gesenkt werden. Gleichzeitig setzt sich autonomes Fahren aufgrund rechtlicher Haftungsfragen und mangelnder Akzeptanz nicht durch.

Im Szenario „Big Mix“ stellt die Politik Chancengleichheit zwischen den einzelnen Verkehrsträgern her, wodurch am meisten der öffentliche Verkehr profitiert. Gleichzeitig schreitet aber auch die Vernetzung und Automatisierung aller Fahrzeuge voran. Universaldienstleister vermitteln intermodale Wegeketten, Verkehrsunternehmen konzentrieren sich auf das Erbringen von Verkehrsleistungen.

Im Szenario „AUTonomie“ steht die Individualisierung im Vordergrund. Autonome Fahrzeuge sind weit verbreitet, ÖV und IV sind stark vermischt. Die klassische Bahn verkehrt nur noch auf einem reduzierten Netz mit automatisierten Nah- und Fernverkehrszügen. Die große Vielfalt an Mobilitätsdienstleistern führt teilweise zu unübersichtlichen Situationen und lokalen Insellösungen.

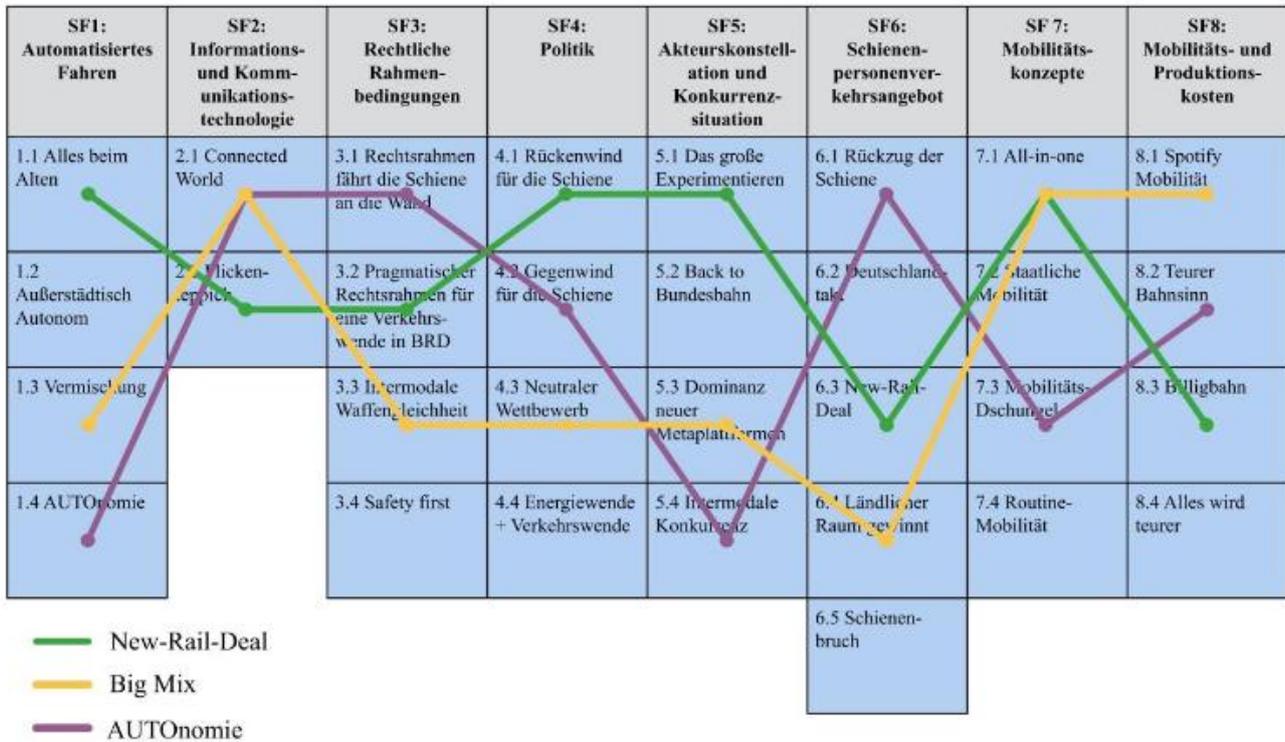


Abbildung 67: Ausprägungen der Schlüsselfaktoren und die drei Rohszenarien; Quelle: Hofmann und von Olnhausen (2019).



4 Prognose „Mobilität in Österreich in 100 Jahren“

Im vorliegenden Kapitel werden zuerst die Erkenntnisse der Literaturanalyse und der Analyse über die Entwicklung der Rahmenbedingungen in Österreich zusammengefasst. Aufbauend auf einer systematischen Betrachtung der Verkehrsträger werden Anforderungen an die Mobilität in Österreich in 100 Jahren abgeleitet.

4.1 Zusammenfassung der Literatur

Die Berichte des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2023) sind unmissverständlich: eine umfassende und sofortig umzusetzende Reduktion der CO₂-Emissionen ist notwendig, um die maximale, globale Erwärmung auf + 2 °C zu beschränken und damit massive negative Folgewirkungen für die Menschheit einzudämmen (u.a. auf Versorgungssicherheit, Autarkie und Lieferketten (Haslmayr et al., 2018; Rohrer et al., 2018)). Laut der analysierten Literatur seien die notwendigen Einsparungen nicht allein durch technologische Maßnahmen zu erreichen, sondern würden „Degrowth“ (de Blas et al., 2020) bzw. Suffizienz (BMK, 2021; Millonig et al., 2020; Soteropoulos et al., 2019; Umweltbundesamt, 2019), jedenfalls eine drastische Verhaltensänderung voraussetzen - z.B. müssten die Reiseweiten v.a. im motorisierten Individualverkehr deutlich sinken (Millonig et al., 2020).

Eine nicht-zielkonforme Entwicklung und ein Überschreiten der Kippunkte berge massive Gefahren, u.a. internationale Konflikte, die Ausbreitung von Infektionskrankheiten, Landverluste, Wasser- und Ernährungsunsicherheit, Massenmorbidity und -sterblichkeit sowie den Untergang der Zivilisation (Kemp et al., 2022). Um statt einer transformation-by-disaster noch eine transformation-by-design herbeizuführen, seien eine verstärkte Einbeziehung der Bevölkerung und eine Berücksichtigung unterschiedlicher Dimensionen von Gerechtigkeit notwendig. In Hinblick auf die Mobilitätsgerechtigkeit bestehe die Gefahr – die teilweise schon Realität ist – einer Zweiklassengesellschaft, in der sich Eliten die angenehmsten und grünsten Wohnorte und die neuesten und schnellsten (und CO₂-intensivsten) Verkehrsmittel sicherten, während der Rest der Bevölkerung mit den negativen Auswirkungen dieses Lebensstils in den schlecht erreichbaren Gebieten leben müsste (Sheller, 2018).

Die Digitalisierung und autonome Fahrzeuge werden weitläufig als „Game-Changer“ gesehen. Für den öffentlichen Verkehr (ÖV) stellen sie eine Gefahr – wenn dadurch der motorisierte Individualverkehr gefördert wird – als auch eine Chance dar – wenn der ÖV bzw. das Gesamtsystem die Potenziale von Sharing-Konzepten und MaaS voll ausschöpfen können. In Zusammenhang mit der Digitalisierung wird die Rolle von Teleworking bzw. von Arbeitszeitflexibilisierung ambivalent gesehen: auch hier bieten sich Chancen, jedoch bestehe die Gefahr von Rebound-Effekten, die die Einsparungen zunichtemachen könnten (Haselsteiner et al., 2020; Hofmann und von Olnhausen, 2019; MIT Energy Initiative, 2019; PricewaterhouseCoopers AG, 2019; Soteropoulos et al., 2019; Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV), 2015).

In der österreichischen Bevölkerung ist schon eine Änderung des Mobilitätsverhaltens spürbar. Diese ist jedoch zu langsam, und stark von den Rahmenbedingungen, wie z.B. Mobilitätsalternativen abhängig. Die Studienautor:innen betonen übereinstimmend die Rolle der Politik und die Notwendigkeit starker Policies, um die Mobilitätswende zu schaffen. Darüber hinaus sei eine Kooperation der öffentlichen Hand mit Privaten essenziell, um Synergien zu nutzen und die Entwicklung zielgerecht zu steuern und nicht „dem Markt“ zu überlassen (de Blas et al., 2020; Lyons und Davidson, 2016; Millonig et al., 2020; MIT Energy Initiative, 2019; Müller et al., 2012; PricewaterhouseCoopers AG, 2019; Slupetzky, 2021).

Unabhängig von der notwendigen Mobilitätswende müssten sowohl Straßen- als auch Schieneninfrastrukturen an die Klimakrise angepasst werden – beginnend bei der Entsiegelung und Begrünung der Straßenräume, damit der Aufenthalt oder die aktive Fortbewegung auch trotz Temperaturanstiegs möglich bleiben, über die Auslegung der Asphaltmischung des Straßenbelags auf höhere Temperaturen (Mulholland und Feyen, 2021) bis zum Schutz der Gleise, Oberleitungen und Sicherungsbauwerke vor stärkeren Niederschlägen, Überflutungen, Starkwinden und Gewittern (Chinowsky et al., 2019; Finnish Environment Institute; Mulholland und Feyen, 2021; Network Rail Limited, 2021).

Auf der formalen Ebene werden in der Literatur vorwiegend kurzfristig Prognosen (bis maximal 10 Jahre) und mittelfristig Szenarien (10 bis maximal 50 Jahre) eingesetzt (Abbildung 68). Entwicklungen darüber hinaus seien nicht seriös vorherzusagen (Hofmann und von Olnhausen, 2019). Mehrere Autor:innen betonen aber, dass für die mittel- und langfristige Entwicklung positive Zielvorstellungen und Zukunftsbilder essenziell seien, aus denen die öffentliche Hand aktiv Maßnahmen abzuleiten habe. Ein Reagieren auf Marktströmungen oder eine prognostizierte Zukunft sei nicht ausreichend (European Commission, 2023; Hofmann und von Olnhausen, 2019; Lyons und Davidson, 2016; MIT Energy Initiative, 2019; PricewaterhouseCoopers AG, 2019; Slupetzky, 2021; Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV), 2015).

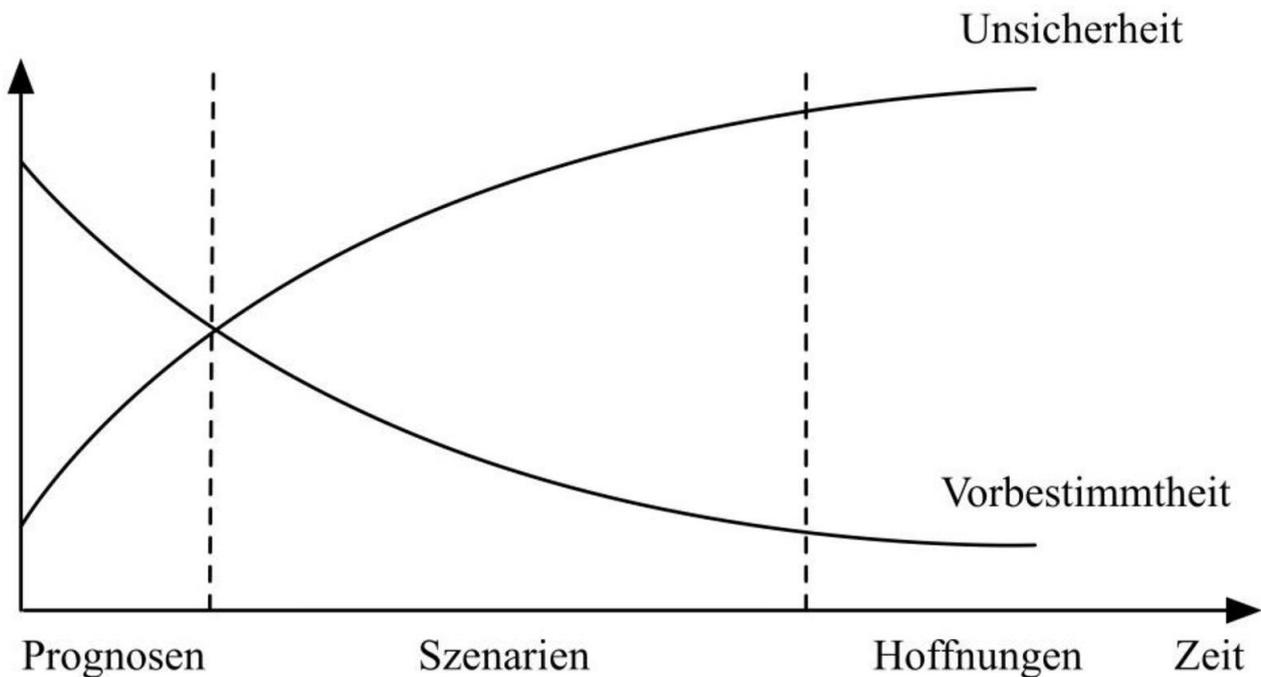


Abbildung 68: Einordnung der Zeithorizonte von Prognose und Szenarien; Quelle: Hofmann und von Olnhausen (2019) nach van der Heijden (2006).

4.2 Über die Entwicklung der Rahmenbedingungen in Österreich

In den letzten 100 Jahren hat Österreichs Bevölkerung um ca. 40 Prozent zugenommen und sie ist durch den Rückgang der Geburtenraten und die steigende Lebenserwartung deutlich älter geworden. Die Statistik Austria geht in Ihrer Prognose für die kommenden 60 Jahre von einem ähnlichen Trend aus, der sich in einer nahezu über alle Altersklassen gleichförmigen Verteilung der Bevölkerung widerspiegeln wird.

Verkehrsgeschehen und das Infrastrukturangebot nahmen dabei häufig eine gleichförmige Entwicklung. So wurde das Netz an Autobahnen und Schnellstraßen seit dem Jahr 1960 massiv ausgebaut, mit ihm ging die Massenmotorisierung mit Pkw und Kombi einher. Der Motorisierungsgrad in den Bundesländern steigt weiterhin an (wenn auch weniger stark als prognostiziert), nur Wien hat – entgegen anderslautenden Prognosen – seit über 20 Jahren einen erst deutlich abnehmenden und nun stagnierenden Trend.

Die Massenmotorisierung schlug sich auch in rapide ansteigenden Personenkilometern nieder. Eine "Nebenerscheinung" der anfänglichen Massenmotorisierung war die hohe Anzahl an menschlichen Opfern, die Anfang der 1970er ihren unrühmlichen Höhepunkt erreichte. Von da an wurden über Jahrzehnte konsequent Verkehrssicherheitsmaßnahmen umgesetzt, die bis in die Gegenwart nicht nur die absolute Anzahl an Unfällen, Verletzten und Getöteten sinken ließ, sondern auch das Risiko bei der geringeren Anzahl an Unfällen verletzt oder getötet zu werden.

Zwar nahmen auch seit dem 2. Weltkrieg die Personenkilometer im Eisenbahnpersonenverkehr zu, jedoch nicht mit so starken Wachstumsraten wie bei den Pkw. Das Bahnnetz ist in der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts



durch mehrere Schließungs- und Abtretungswellen in großem Ausmaß geschrumpft. Vor allem bei den Regionalbahnen gab es einen Rückzug aus der Fläche. Das restliche Netz jedoch nahm eine bemerkenswert positive Entwicklung bei der Elektrifizierung, sodass die mit Diesel oder alternativen Antrieben zu betreibenden Streckenlängen nunmehr einen geringeren Teil des Netzes ausmachen.

Trotz steigender Geschwindigkeiten sind weder Mobilitätswachstum (in Form von mehr Wegen pro Tag) oder Reisezeiteinsparungen (in Form von kürzeren Reisezeiten) im System erkennbar.

Mit dem wirtschaftlichen Aufschwung stieg auch die Menge der transportierten Güter. Konnte die Eisenbahn die transportierten Gütermengen seit dem Jahr 1950 kontinuierlich steigern, so wurde sie doch vom rasant zunehmenden Straßengüterverkehr bereits Mitte der 1960er-Jahre überholt. Nach einer langen Phase der Stagnation des Schienengüterverkehrs ab den 1990er-Jahren bei ca. 30 Prozent der Transportleistung liegt der Anteil aktuell bei ca. 27,5 Prozent.

Die Massenmotorisierung führte zu einer, für den öffentlichen Verkehr (ÖV) schwer zu erschließenden Siedlungsstruktur. Anhand des ÖV-Güteklassen-Maßstabes ist zu erkennen, dass ein Fünftel der Bevölkerung abseits akzeptabler ÖV-Versorgung lebt, während dies bei den Beschäftigten 13 Prozent sind. Arbeitsplätze haben eine vorteilhaftere, weil räumlich konzentriertere Verteilung, die vom ÖV besser bedient werden kann.

Die Ausdehnung der Straßentransporte, sowohl im Personen- als auch im Güterverkehr, führte durch das fossile Antriebsregime zu einem großen Beitrag des Verkehrssektors an den nationalen CO₂-Emissionen. Diese Pfadabhängigkeit in Wirtschaftsteilung und Siedlungsstruktur führt dazu, dass in Sachen Treibhausgasemissionen der Verkehrssektor häufig als "Problemkind" gesehen wird. Er hinkt weit hinter den notwendigen Reduktionszielen her.

Zwar setzen staatliche Stellen große Erwartungen in eine technologisch getriebene Reduktion der Treibhausgasemissionen – z.B. durch die Dekarbonisierung des Antriebes – allerdings werden auch Verhaltensänderungen durch weniger Pkw-Fahrten beträchtliche Reduktionspotentiale zugesprochen. Die tatsächlichen Verhaltensänderungen der letzten Jahrzehnte und die sie stimulierenden bzw. verursachenden Infrastrukturen lassen jedoch Zweifel an der Realisierung dieses Potentials wachsen.

Die internationalen und die davon abgeleiteten nationalen Pläne zur Reduktion der Treibhausgasemissionen setzen ein klares Ziel. Mit der Dekarbonisierung des gesellschaftlichen Metabolismus bis zur Jahrhundertwende soll das Ausmaß der Temperaturerhöhung bei 1,5 bis 2,0 Grad und der damit einhergehenden klimatischen Änderungen der Lebensraumgrundlagen im (vermuteten) Zaum gehalten werden.

4.3 Systematische / systemische Betrachtungsweise von Verkehrsträgern

Um Verkehrsträger zu systematisieren, unterteilt man sie je nach Transportmedium in Wasser, Land und Luftverkehre. Während Wasser- und Luftverkehre für Personen und Güter eher für längere Distanzen ihre Hauptanwendung finden, sind Landverkehre (hierunter ist fällt auch der Binnenschiffverkehrsverkehr) eher für kürzere Distanzen und für die flächenhafte Erschließung von Regionen prädestiniert. Einen Überblick über die verfügbaren Antriebstechnologien im Personen- und Güterverkehr sowie deren Effizienzgrade liefern Abbildung 69 und Abbildung 70.

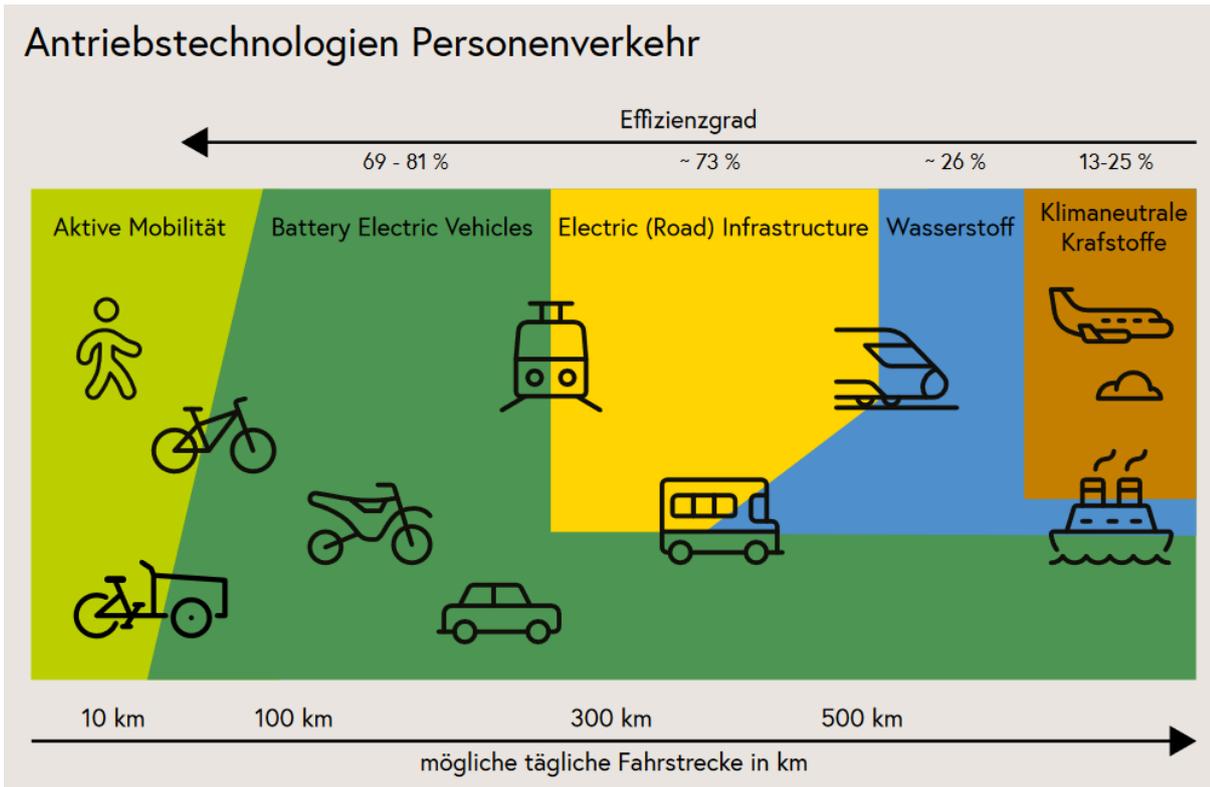


Abbildung 69: Rolle der unterschiedlichen Antriebstechnologien und deren Effizienz im Personenverkehr; Quelle: BMK (2021) nach Angelini et al. (2020).

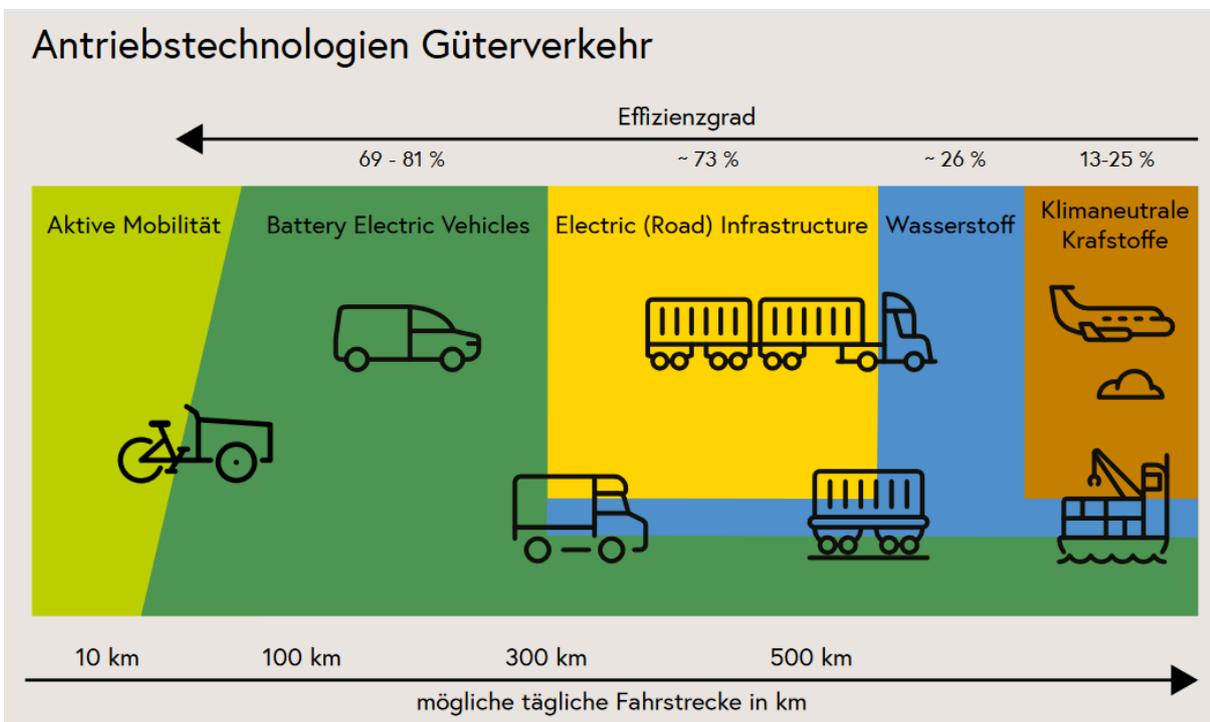


Abbildung 70: Rolle der unterschiedlichen Antriebstechnologien und deren Effizienz im Güterverkehr; Quelle: BMK (2021).



Die Zukunftstauglichkeit von Verkehrsträgern kann anhand verschiedener Kriterien und Indikatoren bewertet werden. Im Allgemeinen bezieht sich die Zukunftsfähigkeit bzw. Nachhaltigkeit auf die Fähigkeit eines Verkehrsträgers, ökologische, soziale und (volks-)wirtschaftliche Aspekte im Einklang miteinander zu berücksichtigen (vgl. (PLANCO Consulting GmbH Essen und Bundesanstalt für Gewässerkunde, 2007; Umweltbundesamt Deutschland, 2020)). Wichtige Faktoren, die zur Definition der Nachhaltigkeit von Verkehrsträgern beitragen, sind:

Umweltauswirkungen: Ein nachhaltiger Verkehrsträger minimiert negative Umweltauswirkungen, wie Treibhausgasemissionen, Luftverschmutzung, Lärm, Ressourcenverbrauch und Flächeninanspruchnahme. Der Einsatz sauberer Technologien, erneuerbarer Energien und effizienter Ressourcennutzung sind hierzu geeignete Indikatoren, vgl. (Allekotte et al., 2020; Europäische Kommission, 2021).

Energieeffizienz: Zukunftsfähige Verkehrsträger zeichnen sich durch eine effiziente Nutzung von Energie aus – je geringer der Energieverbrauch pro Personenkilometer oder Tonnenkilometer, desto besser.

Soziale Aspekte: Zukunftsfähige Verkehrsträger berücksichtigen soziale Aspekte wie Zugänglichkeit, Sicherheit, Komfort und Barrierefreiheit für alle Nutzer. Weiters ist die Verfügbarkeit der Verkehrsmittel für die verschiedenen Bevölkerungsgruppen und die Minimierung sozialer Ungleichheiten ebenfalls relevant.

(Volks-)Wirtschaftliche Aspekte: Verkehrsträger müssen langfristig ihre externen Kosten tragen, auch über ihren kompletten Lebenszyklus.

Integration und Vernetzung: Zukunftsfähige Verkehrssysteme müssen die Mobilitätsbedürfnisse der Menschen inklusive der Versorgung mit Gütern unter Berücksichtigung der weiter oben genannten Aspekte ermöglichen.

Um die Zukunftsfähigkeit von Systemen beurteilen zu können ist ein Blick in die Vergangenheit notwendig. Basierend auf der Evolutionären Erkenntnistheorie (Riedl, 1981; Riedl, 1985; Riedl, 2000) entwickelt in den 1980 Jahren kann die Überlebensfähigkeit von Systemen über die Dauer der Existenz des Systems abgeschätzt werden. Ein paar einfach verständliche Beispiele (siehe dazu Tabelle 1) sollen dies verdeutlichen: Gehen – in der Evolution entwickelte sich vor rund 10 Millionen Jahren das menschliche Großhirn. Diese Entwicklung ermöglichte nach einer Lerndauer von 4 Millionen Jahren den menschlichen aufrechten Gang, also das Zuluftgehen. Der aufrechte Gang ermöglichte wiederum den Gebrauch von Werkzeugen mit den Händen und so die Entwicklung zuerst zum Jäger und Sammler und dann hin zur Sesshaftigkeit und der Entwicklung der ersten Städte (vor rund 10.000 Jahren). Insgesamt kann man sagen, dass die Menschheit ca. 200.000 menschliche Generationen benötigte, um sich vom aufrechten Gang hin zu den ersten Kulturen entwickeln zu können. Seit 10.000 Jahren gibt es Städte (entspricht ~400 Menschengenerationen, seit ungefähr 3.000 Jahren nutzen die Menschen Tiere zur Unterstützung in der Landwirtschaft (entspricht rund 120 Generationen). Vor 200 Jahren (8 Generationen) wurde das Fahrrad erfunden, vor 150 Jahren die Eisenbahn (6 Generationen), und das Automobil existiert seit 120 Jahren (also seit 5 Generationen). Festzuhalten ist, dass die Erfindung der Dampfmaschine weitreichende Auswirkungen auf die gesellschaftliche Entwicklung hatte, Stichworte hier sind unter anderem *industrielle Revolution, Massenfertigung, Entstehung der Arbeiterschichte, Gewerkschaften, sozialer Wohnbau, Pendeln, Öffentlicher Verkehr*, etc. Durch die Marktdurchdringung des Automobils seit den 1940/1960 Jahren können die Stichworte *Globalisierung, Wirtschaftswachstum, BIP als Indikator, Umweltverschmutzung, Zersiedelung*, bis hin zum *Klimawandel* ergänzt werden. Es kann abgeleitet werden, dass die zur Verfügung stehenden Verkehrsträger signifikante Auswirkungen auf die gesellschaftliche Entwicklung haben und daher der Wirkungen der jeweiligen Verkehrsträger erst zeit- und räumlich versetzt beurteilt werden können.

Alle weiteren Erfindungen und Technologien (Genmanipulation, Kunststoffe, Pestizide, Digitalisierung, Internet, KI, Maglev, Drohnen, MaaS, AV, etc.) sind noch kürzer verfügbar, sodass eine seriöse Beurteilung der mittel- und langfristigen, regionalen und globalen, gesellschaftlichen und ökologischen Wirkungen wissenschaftlich nicht möglich ist.



Tabelle 1: Zeitliche Dimensionen einiger menschlicher Entwicklungsstufen (Quelle: Eigene Zusammenstellung)

| | Entwicklungszeitraum | | |
|---|----------------------|-----------------|--|
| | In Jahren | In Generationen | Als Anteil der Zeit seit dem aufrechten Gang [%] |
| Universum | ca.15.000.000.000 | | |
| Erde | ca. 4.000.000.000 | | |
| Großhirn als Organ | 10.000.000 | | |
| Aufrechter Gang | 6.000.000 | 200.000 | 100% |
| Städte | 10.000 | 400 | 0,17% |
| Reitpferde | 3.000 | 120 | 0,05% |
| Fahrrad | 200 | 8 | 0,0033% |
| Eisenbahn | 150 | 6 | 0,0028% |
| Auto | 120 | 5 | 0,0023% |
| Chemie/Plastik/Pestizide | 50 | 2 | 0,0008% |
| Internet | 30 | 1,2 | 0,0005% |
| Genmanipulation | 25 | 1 | 0,0004% |
| E-Commerce, E-Mobilität, Sharing, Digitalisierung | 5-10 | 0,3 | 0,0001% |
| Multilokalität, Künstliche Intelligenz | 3-5 | 0,16 | 0,00007% |

Im Laufe der Geschichte haben sich also zuerst tierkraftgetriebene Fuhrwerke bzw. windkraft-getriebene Segelschiffe entwickelt, später – durch die Erfindung der Dampfmaschine – fossil angetriebene Verkehrsträger wie Bahn, Dampfschiff und das Automobil. Nach einigen Jahren in Konkurrenz mit dem Elektroantrieb und dem Verbrennungsmotor setzte sich letzterer schließlich – vorläufig – für alle Verkehrsmittel bis hin zum Flugzeug durch. Das liegt jedoch nicht primär an der Überlegenheit der Technologie, sondern an der Verfügbarkeit günstiger fossiler Treibstoffe und der politisch unterstützten Abwälzung der externen Kosten auf die Allgemeinheit.

All diese Verkehrsträger sind gegenwärtig in ihren verschiedenen Entwicklungsstadien global im Einsatz. Unter Entwicklungsstadien verstehen wir hier am Beispiel Bahn, den Einsatz von Dampflokomotiven bzw. Diesellokomotiven in Entwicklungsländern, von Hochgeschwindigkeitszügen wie z.B. dem TGV (Frankreich), dem Shinkansen (Japan) bis hin zu Maglev- (Magnetschwebbahn) und Hyperloop-Systemen in den Industrieländern.

Um eine systematische Beurteilung über die Zukunftstauglichkeit von Verkehrsträgern durchführen zu können, werden analog zu den oben vorgestellten Aspekten folgende Indikatoren zur Beurteilung der Zukunftsfähigkeit der Verkehrsträger vorgeschlagen:

- Systemalter: Indikator dafür, wie erprobt und dauerhaft die einzelnen Verkehrsträger sind
- Energieverbrauch in kWh/p-km bzw. kWh/t-km: Indikator für den spezifischen Energieverbrauch



- Vielfalt der Antriebsmöglichkeiten: Indikator für die Resilienz einzelner Verkehrsträger gegenüber Änderungen in der Verfügbarkeit von Treibstoffen
- Flächenverbrauch direkt: Indikator für den Flächenverbrauch der Infrastruktur der einzelnen Verkehrsträger
- Flächenverbrauch indirekt: Indikator für den Flächenverbrauch durch nachgelagerte Effekte wie Zersiedelung oder notwendige Zubringersysteme
- Gefährdungspotential: Indikator für die Verkehrssicherheit der Verkehrsträger in Wechselwirkung mit ihrer Umgebung (z.B. die Gefahr, die von Kfz ausgeht)
- Lebenszykluskosten: Indikator für die – auch externen (z.B. Umweltkosten durch CO₂-Emissionen) – Kosten der Zurverfügungstellung der Infrastrukturen, wie Errichtungs-, Wartungs-, Entsorgungs-/Recycling- und Betriebskosten
- Eignung für Alltagswege: Indikator für die erreichbare Netzdichte, Feinmaschigkeit bzw. Erschließbarkeit
- Inklusivität: Indikator für die soziale (z.B. Alter, Bewegungseinschränkung), finanzielle, etc. Zugänglichkeit der Verkehrsträger
- Leistungsfähigkeit in Personen/Stunde im Querschnitt: Indikator für die Eignung als Massenverkehrsmittel

Das Bewertungsschema gilt gleichermaßen für den Personen- wie auch den Güterverkehr, da die Bewertung der Zukunftsfähigkeit auf die menschliche (Mobilitäts-)Bedürfnisbefriedigung abgestellt ist.

Die Bewertung der Kriterien für die einzelnen Verkehrsträger in Tabelle 2 erfolgt qualitativ auf Basis einer Expertenschätzung durch die Studienautoren von grün (sehr zukunftsfähig) bis rot (wenig zukunftsfähig). Horizontal sind die Verkehrsträger angeordnet, die nach dem Systemalter (in Klammer die Anzahl der menschlichen Generationen) absteigend sortiert sind, vertikal die Kriterien.

Es wird festgehalten, dass individuelle „praktische“ Indikatoren wie Komfort, Bequemlichkeit und individuelle Verfügbarkeit nicht in die systemische Bewertung mitaufgenommen wurden, da diese Indikatoren auf sozioökonomische Wertsysteme aufbauen und daher im Kontext einer systemischen Betrachtung wenig Gewicht haben.

4.3.1 Fußverkehr/Radfahrer

Wendet man das oben vorgestellte Bewertungsschema an, so sieht man, dass die Verkehrsträger/Verkehrsmodi, die mit menschlicher Kraft angetrieben (Zufußgehen und Radfahren) sind, auf die längste Erfahrung aufbauen und am ressourcenschonendsten sind. Für die Menschen ist das Zufußgehen evolutionär prägend, durch die langen Erfahrungswerte haben sich Gesellschaften und Kulturen weltweit ausdifferenziert und Siedlungen am menschlichen Maßstab und der Fußgängergeschwindigkeit ausgerichtet. Es ist davon auszugehen, dass durch die geringe Technologieabhängigkeit, die geringen Anforderungen an Infrastruktur und den geringen Ressourcenverbrauch das Zufußgehen und Radfahren auch in Zukunft die wichtigste Fortbewegungsarten sein werden.

4.3.2 Binnenschifffahrt/Kanäle

Die Fortbewegung am Wasser war lange Zeit die einzige Möglichkeit, schwere Güter zwischen verschiedenen Orten ohne umfangreiche lineare Infrastrukturen zu transportieren.

Da nicht alle Siedlungen der Menschen an Wasserläufen und Seen liegen und das Graben von neuen Kanälen kosten-, ressourcen- und zeitaufwändig ist und die flächenhafte und ganzjährige Verfügbarkeit der Transporte nicht garantiert ist, ist die Praxistauglichkeit dieses Verkehrsträgers auf geeignete Gebiete beschränkt. Trotz niedrigen Energieverbrauchs und relativ niedrigen Flächenverbrauchs ist davon auszugehen, dass auch in Zukunft Binnenschifffahrt eine beschränkte Rolle in der menschlichen Entwicklung spielen wird.



Tabelle 2: Qualitative Bewertung der Zukunftsfähigkeit einzelner Verkehrsträger durch die Studienautoren

| | Fuß (200.000) | Binnenschifffahrt/Kanäle (~240) | Hochseeschifffahrt (~120) | Fahrrad (~9) | ÖPNV (6) | Konventionelle Bahn (6) | Automobil (4) | Flugzeug (3) | Maglev (1) | Mikromobilität (e-Scooter) (0,25) | Drohnen (0,1) | Hyperloop (0) |
|--|---------------|---------------------------------|---------------------------|--------------|----------|-------------------------|---------------|--------------|------------|-----------------------------------|---------------|---------------|
| Systemalter | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Yellow | Yellow | Orange | Orange | Red | Red |
| Energieverbrauch in kWh/pkm bzw. kWh/tkm | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Red | Orange | Orange | Green | Red | Red |
| Vielfalt der Antriebsmöglichkeiten | Green | Green | Yellow | Green | Green | Green | Yellow | Red | Red | Red | Red | Red |
| Flächenverbrauch direkt | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Red | Green | Yellow | Green | Green | Yellow |
| Flächenverbrauch indirekt | Green | Yellow | Orange | Green | Green | Green | Red | Orange | Yellow | Green | Green | Yellow |
| Gefährdungspotenzial | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Orange | Green | Green | Green | White | White |
| Lebenszykluskosten | Green | Orange | Orange | Green | Yellow | Orange | Red | Orange | Orange | Green | Yellow | Red |
| Eignung für Alltagswege | Green | Orange | Red | Green | Green | Yellow | Green | Orange | Orange | Green | Green | Orange |
| Inklusivität | Green | Yellow | Yellow | Green | Green | Green | Orange | Red | Red | Orange | Red | Red |
| Leistungsfähigkeit | Yellow | White | White | Yellow | Green | Green | Red | Orange | Green | Orange | White | Red |

4.3.3 Eisenbahn/spurgebundene Verkehrsträger

Die Eisenbahn ist in verschiedenen Ausprägungen seit 200-150 Jahren in Anwendung. Durch die Erfindung der Dampfmaschine, der damit einhergehenden Industriellen Revolution, den damit verbundenen gesellschaftlichen Entwicklungen wurde die Bahn im 19. Jahrhundert zum wichtigsten mechanisierten Landverkehrsmittel weltweit.

Die Eisenbahn (bzw. Dampfmaschine) ist strukturbildend in mehreren Dimensionen. Im Bereich Soziales/Gesellschaft ermöglichte sie die Bildung einer neuen Gesellschaftsklasse, nämlich der Arbeiter mit all den sozialen Entwicklungen wie Gewerkschaften, Streikrechte, etc.

Weiters wurde der landgebundene Güterverkehr in Punkto Geschwindigkeit und transportierbare Masse revolutioniert (im Vergleich zu Pferdefuhrwerken bzw. Binnenschifffahrt). Im Personenverkehr wurde der sogenannte öffentliche Verkehr in breitem Maße und über größere Distanzen möglich und ermöglichte somit eine linienhafte räumliche Ausdehnung der Siedlungsentwicklung.

Die Vorteile der Bahn im Vergleich zu Wasserstraßen und Kanälen liegen in den verhältnismässig geringeren Bau-, Erhaltungs- und Betriebskosten begründet. Ein weiterer Vorteil der Eisenbahn im Vergleich zu Wasserstraßen ist, dass Eisenbahnen viel näher zu den Dauersiedlungsräumen der Menschen hin gebaut



werden können, und dass sich topographische Hindernisse wie Hügel oder Talübergänge leichter und kostengünstiger überwinden lassen. Außerdem ist man bei der Eisenbahn nicht von der Verfügbarkeit von Wasser abhängig. Die Wasserspiegel in Europa variieren stark über die Jahreszeiten, und Kanäle und Flüsse sind im Winter teilweise aufgrund des geringen Wasserstandes oder wegen Eises unbefahrbar. Auch im Sommer wird die Schiffbarkeit der Wasserstraßen aufgrund der Klimakrise zunehmend problematisch. Daraus leitet sich ein klarer Systemvorteil der Bahn im Vergleich zur Binnenschifffahrt ab.

4.3.4 Automobil

Das Automobil wurde einige Jahrzehnte nach der Bahn erfunden. Der Hauptsystemvorteil des Automobils im Vergleich zur Bahn ist die gesamthafte flächige Erschließung des Raumes. Dieser Vorteil der flächenhaften Erschließung gepaart mit der hohen Verfügbarkeit des Automobils für immer größere Bevölkerungsgruppen hat dazu geführt, dass allgemein angenommen wurde, dass Automobilität die Wünsche und Bedürfnisse aller Menschen hinsichtlich Mobilität befriedigen können wird. Obwohl in Europa schon in den 1960er- und 1970er-Jahren (in den USA noch früher) erkannt wurde, dass die ungebremste Nachfrage nach Automobilität eine Reihe von Grenzen erreichen wird (Stau, Umwelt, Unfälle), wurde das System Auto weiterhin als Lösung (und als wichtiger Wirtschaftswachstumsbereich) definiert und alle auftretenden Grenzen aus dem Weg geräumt. Hier sind die direkten, von der Automobilität verursachten Umweltauswirkungen zu nennen, wie zum Beispiel die Luftschadstoff-, Treibhausgas-, Feinstaub-, und Lärmemissionen. Weiters sind die Sicherheit (~400 Tote in Österreich, 1.35 Millionen Tote weltweit) und der Ressourcenverbrauch für Bau und Erhaltung der Infrastruktur wie auch für das Automobil selbst als problembehaftet anzuführen.

Die letzten fünf bis sieben Jahrzehnte waren von einer strukturellen Bevorteilung des Automobilverkehrs zu Lasten der anderen Verkehrsträger (Zufußgehen, Radfahren, Öffentlicher Verkehr) geprägt.

Viele der oben genannten Grenzen konnten durch technische, soziale und logistische Innovationen² und Strukturanpassungen nach hinten verschoben werden. Mit der sich abzeichnenden Klimakrise ist das Verschieben dieser Grenzen nicht mehr möglich.

Automatisiertes Fahren, ein Wechsel des Antriebstranges oder Sharing Systeme können die negativen globalen Folgen des Automobilverkehrs nicht in dem Maße reduzieren, wie es angesichts der Klimakrise von Nöten wäre. Trotzdem versuchen die Industrieländer das Paradigma der unbegrenzten Mobilität für alle – alle Reichen – aufrechtzuerhalten und das Bedürfnis der unbegrenzten Mobilität in alle Bevölkerungsschichten und alle Länder weltweit zu exportieren; dies mit dem Wissen, dass eine 100-prozentige Umstellung auf das System Automobil weder aus Sicht der Ressourcenverfügbarkeit noch aus der Sicht der Klimakrise möglich sein wird.

Aus systemischer Sicht wird das Automobil (als Pkw oder Lkw) in Zukunft eine weniger dominante Rolle zur Mobilitätsbedürfnisbefriedigung spielen (müssen). Gewisse Dienstleistungen wie zum Beispiel Müllabfuhr, Kranken-, Medikamenten-, Warenliefertransporte etc. werden weiterhin mit Pkws und Kleintransportern durchgeführt werden müssen. Auch im Güternahverkehr (z.B. Baustellenverkehre, Lebensmittelversorgung etc.) wird der Lkw auf Kurzstrecken seinen sinnvollen Einsatz finden. Die langen Distanzen im Güterfernverkehr sollten, wie in den Strategiepapieren auf EU und nationaler Ebene (BMK, 2021; European Commission, 2023) propagiert, auf der Schiene bzw. wo möglich, auf Wasserstraßen abgeführt werden, nur die erste und letzte Meile sollte noch via (ZEV-)Lkw/E-Lastenfahrrad durchgeführt werden (Emberger, 2005).

4.3.5 Flugverkehr

Ähnlich wie mit dem Autoverkehr verhält es sich mit dem Flugverkehr. Schon auf Grund der Zusammensetzung der menschlichen Bedürfnisse kann der Flugverkehr nur einen sehr kleinen Bruchteil der Mobilitätsbedürfnisse der Menschen abdecken. Umso wichtiger ist es daher zu trachten, dass der Flugverkehr zumindest seine ökologischen Kosten vollständig übernimmt. Die Kostenwahrheit ist ein

² Technisch – z.B. Einführung Katalysator, Sicherheitsgurtpflicht, Kopfstütze, Airbag etc.; sozial – Verkehrssicherheitserziehung für Kinder, Verbannung der Menschen auf Gehsteige etc., Gratisparken im öffentlichen Raum; logistisch - StVO-Adaptionen, Tempolimits, Straßenbreiten, Benützungseinschränkungen für FG, RF etc.



wichtiger Schritt, den Flugverkehr auf jene Bereiche einzuschränken, wo er global gesehen gesellschaftlichen und sozialen Nutzen stiften kann, anstatt ein „Massenphänomen“ für Billigtourismus ohne soziale und ökologische Kontrolle zu bleiben.

4.3.6 Hyperloop, Drohnen, etc.

Neue Verkehrssysteme, die schon lange als Mobilität der Zukunft angekündigt werden (vgl. fliegende Autos), sind unter Berücksichtigung der systemischen Kriterien nur bedingt zukunftsfähig. So gut Drohnen beim Flächenverbrauch und bei der Flächenerschließung abschneiden, so hoch ist der spezifische Energieverbrauch durch Überwindung der dritten Dimension, und so eingeschränkt sind die Antriebsmöglichkeiten. Zum Gefährdungspotenzial (v.a. im innerstädtischen Betrieb) und zur Leistungsfähigkeit liegen noch keine Erfahrungswerte vor. Ähnlich eingeschränkt stellen sich die Anwendungsbereiche des Hyperloop dar, nur dass dieser auch bei der Leistungsfähigkeit, der Zugänglichkeit für Alltagswege und den Errichtungs-, Wartungs- und Betriebskosten weniger zukunftsfähig abschneidet (Hansen, 2020).

4.4 Fazit

Es ist weder möglich noch sinnvoll, die Mobilität in 100 Jahren zu prognostizieren – zu lange ist der Zeithorizont, zu groß aber auch der Gestaltungsspielraum durch Entscheidungsträger:innen. Während Trendprognosen – also Fortschreibungen der Entwicklungen der Vergangenheit – schon mittelfristig nicht mehr seriös sind, hat auch die Szenariotechnik ihre Einsatzgrenzen, die bei 10 bis 50 Jahren liegen. Aber die Zukunft ist – gerade über langfristige Zeiträume – gestaltbar. Und es liegt in der Verantwortung der Politik, sie vorausschauend und gemeinsam mit der Bevölkerung zu gestalten, positive Zukunftsbilder zu entwickeln und entsprechende Maßnahmen zu ergreifen.

Die größte Herausforderung unserer Zeit ist die Klimakrise, die unsere Lebensgrundlagen, unseren Wohlstand, unsere sozialen und politischen Systeme – das Fortbestehen unserer Zivilisation massiv bedroht. Wie die Mobilität in einer Klimaapokalypse aussieht, wurde aber nicht im Rahmen dieser Studie betrachtet. Hingegen wurde beleuchtet, welche Verkehrsmittel im Sinne der Einhaltung der internationalen und nationalen Klimaziele zukunftsfähig und demnach förderungswürdig sind, und welche nicht.

Aus diversen Studien geht eindeutig hervor, dass das Mobilitätssystem der Zukunft CO₂-neutral auszugestaltet ist. Neben der Ausnutzung aller existierenden und zukünftigen technologischen Möglichkeiten ist eine radikale Verhaltensänderung hin zu aktiver und nachhaltiger Mobilität notwendig – also eine massive Verschiebung im Modal Split hin zum Umweltverbund. Hierzu bedarf es Änderungen und Anpassungen der verkehrspolitischen Rahmenbedingungen, wie sie z.B. im Mobilitätsmasterplan (BMK, 2021) und den zugehörigen Masterplänen Fußverkehr (BMK, 2022a), Radverkehr (BMLFUW, 2015) und Güterverkehr (BMK, 2023a) festgelegt sind, aber auch in den Raumordnungsgesetzen und Bauordnungen, die zum Teil Zersiedelung und autoabhängige Strukturen nach wie vor fördern oder zumindest nicht verhindern, eine Abschaffung der kontraproduktiven Förderungen für nicht-nachhaltiges Mobilitätsverhalten (BMNT, 2019b; WIFO, 2016), eine effektive CO₂-Bepreisung (Plank et al., 2023) sowie ein wirksames Klimaschutzgesetz.

Auf Verkehrsträgerebene wird bzw. muss sich das Mobilitätssystem der Zukunft zum Großteil aus einer Kombination von schienengebundenem Verkehr für die Massenmobilität über mittlere und lange Distanzen und Fuß- und Radverkehr auf kurzen Distanzen bestehen. Nur mit diesen Verkehrsträgern ist das Mobilitätsbedürfnis der Menschen skalierbar (weltweit), klima-, ressourcen- und sozial gerecht zu befriedigen. Der derzeitige Erfolg des Kfz- und Flugverkehrs liegt vor allem darin begründet, dass diese jahrzehntelang politisch gefördert wurden, indem deren externe Kosten der Allgemeinheit aufgebürdet wurden. Dieses umweltschädliche und sozial ungerechte System ist in Zeiten der drohenden Klimakatastrophe nicht mehr aufrecht zu erhalten.

Die Lösung der Verkehrs- und Umweltprobleme unseres heutigen (westlichen) Mobilitätsverhaltens ausschließlich durch Technologie ist allerdings unwahrscheinlich: zu oft schon haben sich vermeintliche „Lösungen“ verstärkend auf das Problem ausgewirkt (vgl. induzierter Verkehr durch Straßenneu-



und -ausbau) bzw. wurden die Einsparungen durch Rebound-Effekte (vgl. vermehrte Nutzung von E-Autos aufgrund ihrer „Unbedenklichkeit“) wettgemacht.

Die Vorteile des System Bahn sind unter anderem die ausgereifte Grundlagentechnik, welche auf manuell mechanisch Grundlagen aufbaut und sich bis hin zu automatisch fahrenden Hochgeschwindigkeitszügen schon in der Praxis bewährt hat. Ein weiterer Vorteil ist der hohe Ausbaugrad des Schienennetzes gepaart mit einem geringen Ressourcenaufwand für Ausbau und Erhaltung zusätzlicher, notwendig werdender Infrastruktur (besonders im Geschwindigkeitsbereich bis max. 160 km/h), sowie die Effizienz für die Erbringung der Transportleistungen an sich. In Kombination mit ÖPNV, Fuß- und Radverkehr kann somit der Großteil der gesellschaftlichen Personen- und Gütermobilität befriedigt werden.

Technologische Fortschritte wie zum Beispiel in der Automatisierung und Digitalisierung werden die Effizienz des Eisenbahnverkehrs in der Zukunft erhöhen. Diese Erhöhungen der Kapazität durch Digitalisierung sind vor allem in den Industrieländern wichtig, da hier die Infrastruktur auf Grund von räumlichen Gegebenheiten nur mehr eingeschränkt ausgebaut werden kann.

Der Vorteil der Eisenbahn, dass sie mit relativ wenig Technologie große Massen an Personen und Gütern befördern kann, ist auch in weniger entwickelten Ländern ein wichtiger Beitrag zur Güterversorgung und zum Passagiertransport.

Dieser Vorteil der räumlichen Anwendbarkeit in vielen Regionen der Erde, die relativ geringen Bau-, Erhaltungs- und Betriebskosten und der geringe ökologische Rucksack prädestinieren die Eisenbahn, auch in Zukunft eine wichtige, wenn nicht die wichtigste Rolle im mechanisierten Landverkehr und im Bereich Personen- und Güterverkehr zu spielen – in Europa, in Asien, Afrika und der ganzen Welt.

Aus systemischer Sicht wird das Automobil (als Pkw oder Lkw) in Zukunft eine untergeordnete Rolle zur Befriedigung der Mobilitätsbedürfnisse spielen (müssen). Gewisse Dienstleistungen, wie zum Beispiel Müllabfuhr, Kranken-, Medikamenten-, Warenliefertransporte etc. werden weiterhin mit Pkws und Kleintransportern durchgeführt werden. Auch im Güternahverkehr (z.B. Baustellenverkehre, Lebensmittelversorgung etc.) wird der (ZEV-)Lkw bzw. das Lastenrad für die First- und Last-Mile seinen sinnvollen Einsatz finden.

Im Zusammenspiel aktiver Mobilitätsformen (Zufußgehen & Radfahren) kann die Bahn in Kombination mit dem ÖPNV die Alltagsmobilitätsbedürfnisse der Menschen ökologisch verträglich, sozial gerecht und (volks-)wirtschaftlich leistbar befriedigen.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung des gesamten Bevölkerungsbestandes in Österreich (eigene Darstellung auf Basis Statistik Austria (2022c))..... 9

Abbildung 2: Lebenserwartung bei Geburt (eigene Darstellung auf Basis Wirtschaftskammer Österreich (2022b)). 10

Abbildung 3: Entwicklung des Urbanisierungsgrades in Österreich; Quelle: eigene Darstellung auf Basis United Nations Department of Economic and Social Affairs (2019). 10

Abbildung 4: Erwerbstätige nach Wirtschaftsbereich; Quelle: eigene Darstellung auf Basis Statistik Austria (2022d)..... 11

Abbildung 5: Entwicklung Straßennetz; Quelle: eigene Darstellung auf Basis BMK (2022b, S. 11). 12

Abbildung 6: Entwicklung der Betriebslänge im Schienennetz, Quelle: eigene Darstellung auf Basis ÖBB-Holding AG (2023). 12

Abbildung 7: Netzplan Österreich 1920, Quelle: "Bahnwalter" (2020). 13

Abbildung 8: Netzplan Österreich 1970, Quelle: "Bahnwalter" (2020). 13

Abbildung 9: Netzplan Österreich 2020, Quelle: "Bahnwalter" (2020). 14

Abbildung 10: Entwicklung Kfz-Bestand, Zeitreihenbruch 2001/2002 aufgrund geänderter Erfassungsmethodik; Quelle: eigene Darstellung auf Basis BMK (2022b). 15

Abbildung 11: Entwicklung Motorisierungsgrad Österreich, Zeitreihenbruch 2001/2002 aufgrund geänderter Erfassungsmethodik; Quelle: eigene Berechnung auf Basis Wirtschaftskammer Österreich (2022a) und Statistik Austria (2022c). 15

Abbildung 12: Entwicklung Motorisierungsgrad nach Bundesländern, Zeitreihenbruch 2001/2002 aufgrund geänderter Erfassungsmethodik; Quelle: eigene Berechnung auf Basis Wirtschaftskammer Österreich (2022a) und Statistik Austria (2022c). 16

Abbildung 13: Entwicklung der Verkehrsleistung im Personenverkehr; eigene Darstellung auf Basis (European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport, 2022; ÖBB-Holding AG, 2023). 16

Abbildung 14: Entwicklung des ÖBB-Personenverkehrs; Anmerkung: Einbruch durch COVID-19 im Jahr 2020, Zeitreihenbruch 1997 – 2008 durch Fortschreibung mit Wachstumsrate Fahrgäste korrigiert; Quelle: eigene Abbildung auf Basis ÖBB-Holding AG (2023). 17

Abbildung 15: Modal Split nach Verkehrsleistung (Personenkilometer) für die Jahre 1990-2008; Quelle: BMVIT (2012) 18

Abbildung 16: Modal Split nach Verkehrsleistung (Personenkilometer) für die Jahre 2005-2018; Quelle: Balas et al. (2021) 18

Abbildung 17: Modal Split Verkehrsleistung im Personenverkehr (P-km) Inland (exklusive Kraftstoffexport und internationaler Flugverkehr), 1990 und 2019; Quelle: Umweltbundesamt (2021). 19

Abbildung 18: Modal Split seit 1950, inkl. Ausblick bis 2030 nach Wegen; Quelle: Balas et al. (2021). 19

Abbildung 19: Modal Split des Radverkehrs an den Gesamtwegen (Pkw, Moped, Rad, ÖV) in neun Westeuropäischen Städten, 1920-1995; Quelle: Albert de la Bruheze (2000). 20

Abbildung 20: Entwicklung Verkehrssicherheit; Quelle: eigene Darstellung auf Basis Statistik Austria (2022e). 21

Abbildung 21: Mobilitätsverhalten der Österreicher:innen 1983, 1995 und 2013/2014; Quelle: Angelini et al. (2022) nach (BMVIT, 2016; Herry et al., 2007; Hiess, 2007). 21



| | |
|--|----|
| Abbildung 22: Entwicklung der Transportleistung im Schienengüterverkehr in Österreich; Quelle: eigene Abbildung auf Basis ÖBB-Holding AG (2023)..... | 22 |
| Abbildung 23: Zeitreihe des Güterverkehrsanteiles von Straße und Eisenbahn für Österreich 1950 – 2009; Quelle: Anderl et al. (2008) in Müller et al. (2012)..... | 23 |
| Abbildung 24: Verkehrsleistung (=Verkehrsaufwand) im Güterverkehr; Quelle: Umweltbundesamt (2022a, S. 147)..... | 23 |
| Abbildung 25: Anteil der Sektoren an den Treibhausgas-Emissionen 2019 (inklusive Emissionshandel) und Änderung der Emissionen zwischen 1990 und 2019; Quelle: Umweltbundesamt (2021)..... | 24 |
| Abbildung 26: Abweichungen von den sektoralen Höchstmengen 2013–2019 gemäß Klimaschutzgesetz; Quelle: Umweltbundesamt (2021). | 24 |
| Abbildung 27: Komponentenzzerlegung der CO ₂ -Emissionen aus dem Personenverkehr – Gegenüberstellung 1990–2020 (links) und 2005–2020 (rechts); Quelle: Umweltbundesamt (2022b)..... | 25 |
| Abbildung 28: Komponentenzzerlegung der CO ₂ -Emissionen aus dem Güterverkehr – Gegenüberstellung 1990–2020 (links) und 2005–2020 (rechts); Quelle: Umweltbundesamt (2022b)..... | 26 |
| Abbildung 29: Zeitreihe der CO ₂ -Emissionen aus dem Güterverkehr von Straße und Eisenbahn für Österreich 1950 – 2009; Quelle: Anderl et al. (2008) in Müller et al. (2012). | 27 |
| Abbildung 30: Globale Treibhausgas-Emissionspfade unter Einhaltung implementierter Maßnahmen und Anpassungsstrategien; Quelle: IPCC (2023)..... | 28 |
| Abbildung 31: Nationale Emissionsobergrenzen 2020 entsprechend der Effort-Sharing-Entscheidung, relativ zu den Emissionen von 2005; Quelle: Umweltbundesamt (2022b). | 29 |
| Abbildung 32: Nationale Emissionsobergrenzen 2030 entsprechend der Effort-Sharing-Verordnung, relativ zu den Emissionen von 2005; Quelle: Umweltbundesamt (2022b)..... | 30 |
| Abbildung 33: Modal Split im Personenverkehr nach Wegen, Istzustand 2018 und Zielzustand 2040 im MMP2030; Quelle: BMK (2021)..... | 32 |
| Abbildung 34: Zielpfad des MMP2030 zur Klimaneutralität im Verkehr bis 2040; Quelle: BMK (2021). | 32 |
| Abbildung 35: Modal Split Ziel für Linz und Linz-Umland für den Zeitraum 2030 bis 2040; Quelle: Rosinak & Partner ZT GmbH (2018)..... | 33 |
| Abbildung 36: Modal Split Ziel für das Land Salzburg für das Jahr 2025, Anmerkung: schlechte Grafikqualität im Original; Quelle: Land Salzburg (2016). | 34 |
| Abbildung 37: Verkehrsmittelwahl der Vorarlberger Bevölkerung 2003 – 2017 in Prozent, Ziel für 2015 aus dem Verkehrskonzept Vorarlberg 2006 sowie Ziel 2030, Quelle: Rosinak & Partner ZT GmbH und PLANOPTIMO Büro Dr. Köll ZT-GmbH (2019). | 34 |
| Abbildung 38: Historische Entwicklung und Zielpfad des Modal Split in Wien; Quelle: eigene Abbildung auf Basis Wiener Linien..... | 35 |
| Abbildung 39: Historische Entwicklung und Zielpfad des Motorisierungsgrads in Wien; Quelle: eigene Abbildung auf Basis (Stadt Wien, 2022; Stadt Wien, 2023; Statistik Austria, 2023b; Statistik Austria, 2023d)..... | 35 |
| Abbildung 40: Bevölkerungsprognose 2022 – Variantenübersicht: Bevölkerungsentwicklung Österreichs bis 2080 (gerundete Ergebnisse); Quelle: eigene Abbildung auf Basis Statistik Austria (2022a). | 36 |
| Abbildung 41: Bevölkerungsprognose 2022, Hauptszenario – Bevölkerung nach breiten Altersgruppen bis 2080 (gerundete Ergebnisse), Quelle: Statistik Austria (2022a)..... | 37 |
| Abbildung 42: Bevölkerungsprognose 2022 – Altersstruktur der österreichischen Bevölkerung 1980 (links), 2022 (Mitte) und Prognose für 2080 (rechts), jeweils Männer (blau) und Frauen (pink), | |



Bevölkerungsüberhang dunkel dargestellt; Quelle: eigene Ergänzungen nach Statistik Austria (2022b).
..... 37

Abbildung 43: Pkw-Bestandsentwicklung 2000 bis 2050, Quelle: TRAFICO et al. (2009). 38

Abbildung 44: Entwicklung des Motorisierungsgrades in Wien bzw. im Umland (in Umland ist ganz Niederösterreich sowie die burgenländischen Bezirke Eisenstadt inkl. Rust, Eisenstadt-Umgebung, Neusiedl am See, Mattersburg und Oberpullendorf); Quelle: eigene Darstellung nach Sammer et al. (2004); (Statistik Austria, 2021; Statistik Austria, 2023a). 38

Abbildung 45: Simulierte Änderung der Mitteltemperatur [°C] gegenüber dem Bezugszeitraum (1971–2000); Quelle: Umweltbundesamt (2022b). 39

Abbildung 46: Das relative Wachstum der Infrastrukturen bis zu ihrer Maximallänge folgt einer logistischen Kurve, wobei die Bereiche maximalen Wachstums jeweils 55 Jahre auseinander liegen; Quelle: Marchetti (1993). 40

Abbildung 47: Geglättete historische Wachstumsraten (durchgezogene Striche) der Hauptanteile der US-Transportinfrastruktur und Annahmen (strichliert) basierend auf einer konstanten Dynamik. Das Insert rechts oben zeigt die tatsächliche Längenentwicklung. Delta t ist die Zeit, die ein System braucht, um von 10 Prozent Länge auf 90 Prozent zu wachsen; Quelle: Ausubel et al. (1998). 41

Abbildung 48: Durchschnittliches pro Kopf-Reisezeitbudget (travel time budget TTB) nach Wirtschaftsleistung; Quelle: Schafer und Victor (2000). 42

Abbildung 49: Durchschnittliches Reisegeldbudget (travel money budget TMB) nach Wirtschaftsleistung; Quelle: Schafer und Victor (2000). 42

Abbildung 50: Darstellung der möglichen Auswirkungen von Digitalisierung auf die Personenmobilität mittels Causal-loop-Diagramms; Quelle: Haselsteiner et al. (2020). 46

Abbildung 51: Umweltkosten des Personenverkehrs in Deutschland 2017, Quelle: Allekotte et al. (2020). .. 48

Abbildung 52: Umweltkosten des Güterverkehrs in Deutschland 2017, Quelle: Allekotte et al. (2020). 48

Abbildung 53: Ungenauigkeit der Verkehrsprognosen bei 210 Verkehrsinfrastrukturprojekten, 1969-1998; Quelle: Flyvbjerg et al. (2005). 49

Abbildung 54: Wege der Politikgestaltung; Quelle: Lyons und Davidson (2016). 50

Abbildung 55: Kaskadierendes globales Klimaversagen, dargestellt als Causal-Loop-Diagramm, in dem eine durchgezogene Linie eine positive (verstärkende) und eine gestrichelte Linie eine negative (dämpfende) Rückkopplung bedeutet; Quelle: Kemp et al. (2022). 52

Abbildung 56: Tägliche maximale Reichweiten pro Person und Verkehrsmittel (ohne Kombination von Verkehrsmitteln) bei Einhaltung der nationalen CO₂ Obergrenzen im Verkehrsbereich, Quelle: Millonig et al. (2020). 54

Abbildung 57: Überblick über die Beziehungen zwischen den (Mega-)Trends und Einflussfaktoren (Soteropoulos et al., 2019) 57

Abbildung 58: Zeitleiste der Einführung von Pkw-Vignette und Lkw-Maut in Österreich; Quelle: Müller et al. (2012) nach Estermann et al. (2008). 58

Abbildung 59: Zeitleiste des viergleisigen Ausbaus der Westbahn im Abschnitt Asten – Linz Kleinmünchen; Quelle: Müller et al. (2012) nach ÖBB-Infrastruktur AG (2011). 58

Abbildung 60: Aufteilung der Einwohner:innen Österreichs nach ihrer Lage in den ÖV-Güteklassen (innerhalb A-G und außerhalb) an Werktagen mit Schule als Säulendiagramm mit Summenkurve; Quelle: Shibayama et al. (2022). 59

Abbildung 61: Landkarte des Anteils der Einwohner:innen außerhalb Güteklassen an Werktagen mit Schule (WTS) an den Einwohner:innen total in der Gemeinde. Farbskala in 10 Prozent-Schritten, eigene Klasse



für unterstes und oberstes Prozent: 1er Perzentil weiß und 99er Perzentil schwarz. In Rot sind die Güteklassen-Flächen überlagert; Quelle: Shibayama et al. (2022). 59

Abbildung 62: Aufteilung der Beschäftigten Österreichs nach ihrer Lage in den ÖV-Güteklassen (innerhalb A-G und außerhalb) an Werktagen mit Schule als Säulendiagramm mit Summenkurve; Quelle: Shibayama et al. (2022). 60

Abbildung 63: Übersicht klimaschädlicher Subventionen in Österreich, 2018; Quelle: Plank et al. (2023) nach Schnabl et al. (2021). 61

Abbildung 64: Schlüssel-Klimavariablengruppen gemäß Klimarisiko-Assessment (Network Rail Limited, 2021) 62

Abbildung 65: Änderung der jährlichen Betriebs- und Erhaltungskosten in der EU und Großbritannien für Eisenbahnen und Straßen (links), Eisenbahnen (mittig) und Straßen (rechts) infolge extremer Hitze bei GWLs (Global Warming Level) von 1,5 °C, 2 °C, 3 °C, and 4 °C über alle Klimamodelle. Weiße Punkte markieren die Mittelwerte. (Mulholland und Feyen, 2021) 63

Abbildung 66: Absolute Zunahme der Betriebs- und Erhaltungskosten für Eisenbahnen (oben) und Straßen (unten) für die EU und Großbritannien infolge extremer Hitze bei GWLs (Global Warming Level) von 1,5 °C, 2 °C, 3 °C und 4 °C bzw. relative Zunahme im Vergleich zur Ausgangssituation über alle Klimamodelle (Mulholland und Feyen, 2021). 64

Abbildung 67: Ausprägungen der Schlüsselfaktoren und die drei Rohszenarien; Quelle: (Hofmann und von Olnhausen, 2019) 66

Abbildung 68: Einordnung der Zeithorizonte von Prognose und Szenarien; Quelle: Hofmann und von Olnhausen (2019) nach van der Heijden (2006). 68

Abbildung 69: Rolle der unterschiedlichen Antriebstechnologien und deren Effizienz im Personenverkehr; Quelle: BMK (2021) nach Angelini et al. (2020). 70

Abbildung 70: Rolle der unterschiedlichen Antriebstechnologien und deren Effizienz im Güterverkehr; Quelle: BMK (2021). 70

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zeitliche Dimensionen einiger menschlicher Entwicklungsstufen (Quelle: Eigene Zusammenstellung) 72

Tabelle 2: Qualitative Bewertung der Zukunftsfähigkeit einzelner Verkehrsträger durch die Studienautoren 74

Literaturverzeichnis

- "Bahnwalter", W. K. (2018). Einstellungsjahre Eisenbahnstrecken - Personenverkehr. URL: https://bahnnetz-at.jimdofree.com/app/download/6685354784/Bahnstrecken_Einstellungsjahre_DRUCKVERSION_V2.pdf?t=1545929403 Abgerufen am 09.06.2023.
- "Bahnwalter", W. K. (2020). Bahnnetz Österreich. Historische Entwicklung [Online]. URL: <https://bahnnetz-at.jimdofree.com/>
- Albert de la Bruheze, A. A. (2000). Bicycle use in the twentieth century Western Europe. The comparison of nine cities. *Velo-City International Cycling Conference 2000*, 2000/6/22. Abgerufen am 22 June 2000 through 22 June 2000.
- Allekotte, M., Bergk, F., Biemann, K., Deregowski, C., Knörr, W., Althaus, H.-J., Sutter, D. und Bergmann, T. (2020). Ökologische Bewertung von Verkehrsarten. Umweltbundesamt. TEXTE. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_156-2020_oekologische_bewertung_von_verkehrsarten_0.pdf.
- Amt der Tiroler Landesregierung. (2021). Leben mit Zukunft. Tiroler Nachhaltigkeits- und Klimastrategie. URL: https://www.tirol.gv.at/fileadmin/themen/landesentwicklung/raumordnung/Nachhaltigkeit/Nachhaltigkeits- und Klimakoordination/Publikationen/Nachhaltigkeits-und-Klimastrategie_2021.pdf.
- Anderl, M., Freudenschuß, A., Friedrich, A., Göttlicher, S., Köther, T., Kriech, M., Kuschel, V., Lampert, C., Pazdernik, K., Poupá, S., Purzner, M., Stranner, G., Schwaiger, E., Seuss, K., Weiss, P., Wieser, M., Zechmeister, A. und Zethner, G. (2008). Austria's National Inventory Report 2011. Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol. Umweltbundesamt. Wien. ISBN: 978-3-99004-110-9.
- Angelini, A., Heinfellner, H., Krutzler, T., Vogel, J. und Winter, R. (2020). Pathways to a Zero Carbon Transport Sector - Path2ZeroCarbonTrans. UBA. URL: https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/16/P2ZCT_Ergebnisbericht.pdf.
- Angelini, A., Heinfellner, H., Pfaffenbichler, P. und Schwingshackl, M. (2022). TRANSITION MOBILITY 2040. Entwicklung eines Klima- und Energieszenarios zur Abbildung von Klimaneutralität im Verkehr 2040. Wien. URL: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0808.pdf>.
- Ausubel, J. H., Marchetti, C. und Meyer, P. S. (1998). Toward green mobility: the evolution of transport. *European Review*, 6, 137-156. URL: <https://phe.rockefeller.edu/publication/green-mobility/>.
- Balas, M., Felderer, A., Völler, S., Zeitz, F. und Margelik, E. (2021). Zweiter Fortschrittsbericht zur österreichischen Strategie zur Anpassung an den Klimawandel. U. Bundesministerium für Klimaschutz, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. Wien. URL: <https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:4a7614de-cbbc-47b4-bd01-3ac3d079c509/klimawandel-fortschrittsbericht-2021.pdf>.
- 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. URL: https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:6318aa6f-f02b-4eb0-9eb9-1ffabf369432/BMK_Mobilitaetsmasterplan2030_DE_UA.pdf.
- BMK. (2022a). Besser Gehen in Österreich! Masterplan Gehen 2030. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. URL: https://www.klimaaktiv.at/dam/jcr:4ee966d5-ea82-43c0-8a0f-a042da9d0117/BMK_Masterplan_Gehen_UA.pdf.



- BMK. (2022b). Statistik Straße und Verkehr. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. Wien. URL: https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:95841203-b1f8-4613-b55d-fe9bc09f5dbe/Statistik_Straesse_Verkehr_2022.pdf.
- BMK. (2023a). Masterplan Güterverkehr 2030. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. URL: https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:135c7db3-1cd3-476d-bdcc-45124250ab0c/BMK_Masterplan_Gueterverkehr_UA.pdf.
- BMK. (2023b). Verkehrsprognose Österreich 2040+ [Online]. URL: <https://www.bmk.gv.at/themen/verkehrsplanung/verkehrsprognose/verkehrsprognose2040.html>
Abgerufen am 12.06.2023
- BMLFUW. (2015). Masterplan Radfahren 2015–2025. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. URL: https://www.klimaaktiv.at/dam/jcr:d5d9adff-ab94-4d5c-bc3c-569e5ef4bdb2/MP-Radfahren_final_26062015.pdf.
- BMNT. (2019a). Integrierter nationaler Energie- und Klimaplan für Österreich - Periode 2021-2030 - gemäß Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen Parlaments und des Rates über das Governance-System für die Energieunion und den Klimaschutz. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Wien. URL: https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/klimaschutz/nat_klimapolitik/energie_klimaplan.html.
- BMNT. (2019b). Liste kontraproduktiver Anreize und Förderungen. Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus. URL: https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:1bb6d9d3-5f08-49a3-8a4d-6bf0939fd242/Liste_kontraproduktiver_Anreize_Foerderungen.pdf.
- BMNT und BMVIT. (2018). #mission2030 - Die österreichische Klima- und Energiestrategie. Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus, Bundesministerium Verkehr, Innovation und Technologie. URL: <https://mission2030.info/wp-content/uploads/2018/10/Klima-Energiestrategie.pdf>.
- BMVIT. (2012). Verkehr in Zahlen 2011 - Kapitel 7. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. URL: https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:2a0bcf9b-e7b7-4aea-952e-5e716b7401bc/viz_2011_kap_7.pdf.
- BMVIT. (2016). Ergebnisbericht zur österreichweiten Mobilitätserhebung „Österreich unterwegs 2013/2014“. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Wien. URL: https://www.bmk.gv.at/themen/verkehrsplanung/statistik/oesterreich_unterwegs.html.
- Bogner, K., Schlaile, M. P. und Urmetzer, S. (2023). Transformation by design or by disaster – Why we need more transformative research now. URL: <https://blogs.lse.ac.uk/impactofsocialsciences/2023/01/31/transformation-by-design-or-by-disaster-why-we-need-more-transformative-research-now/>.
- Bundeskanzleramt. (2020). Aus Verantwortung für Österreich. Regierungsprogramm 2020 – 2024. Vienna. URL: https://www.dieneuevolkspartei.at/Download/Regierungsprogramm_2020.pdf.
- Chinowsky, P., Helman, J., Gulati, S., Neumann, J. und Martinich, J. (2019). Impacts of climate change on operation of the US rail network. *Transport Policy*, 75, 183-191. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.05.007>
- Das Land Steiermark. (2008). Das Steirische Gesamtverkehrskonzept 2008+. URL: https://www.verkehr.steiermark.at/cms/dokumente/10911747_19512589/4425550b/Steirisches%20Gesamtverkehrskonzept%202008%2B.pdf.
- de Blas, I., Mediavilla, M., Capellán-Pérez, I. und Duce, C. (2020). The limits of transport decarbonization under the current growth paradigm. *Energy Strategy Reviews*, 32. doi: 10.1016/j.esr.2020.100543



- Emberger, G. (2005). Freight transport - a holistic approach. Inst. für Verkehrsplanung u. Verkehrstechnik d. Techn. Univ. Wien. Wien. ISBN: 3-9501909-2-9 kart. : EUR 23,-.
- Emberger, G., Laa, B., Leth, U. und Ripka, I. (2022). Erreichbarkeit der Wiener Stadterweiterungsgebiete in Aspern bei Verzicht auf die Donauquerung der S1 – vertiefende Variantenuntersuchung. TU Wien, Institut für Verkehrswissenschaften, Forschungsbereich für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik. URL: <https://www.fvv.tuwien.ac.at/fileadmin/mediapool-verkehrsplanung/Institut/Endberichte/2022-Erreichbarkeit-bei-Verzicht-auf-Lobautunnel-Vertiefung-Bericht.pdf>.
- Estermann, G., Fördös, A., Herry, M. und Sedlacek, N. (2008). Entwicklung der Maut in Österreich - Analyse, Bewertung und Übertragbarkeit der Erfahrungen. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Wien.
- Europäische Kommission. (2021). Bekanntmachung der Kommission — Technischen Leitlinien für die Sicherung der Klimaverträglichkeit von Infrastrukturen im Zeitraum 2021-2027. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=uriserv:OJ.C_.2021.373.01.0001.01.DEU.
- European Commission. (2023). Delivering the European Green Deal - Transforming our economy and societies - Making transport sustainable for all [Online]. URL: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en Abgerufen am 16. June 2023
- European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport. (2022). Pocketbook 2022 - Section 2.3: Performance of Passenger Transport expressed in passenger-kilometres. URL: https://transport.ec.europa.eu/document/download/2d70cfc9-9d7b-4d61-a108-dc28f3917069_en?filename=pb2022-section23.xlsx.
- Finnish Environment Institute. Climate change has both positive and negative implications on rail transport. URL: <https://www.climateguide.fi/articles/climate-change-has-both-positive-and-negative-implications-on-rail-transport>.
- Flyvbjerg, B., Skamris Holm, M. K. und Buhl, S. L. (2005). How (In)accurate Are Demand Forecasts in Public Works Projects?: The Case of Transportation. *Journal of the American Planning Association*, 71, 131-146. doi: 10.1080/01944360508976688
- Hansen, I. A. (2020). Hyperloop transport technology assessment and system analysis. *Transportation Planning and Technology*, 43, 803-820. doi: 10.1080/03081060.2020.1828935
- Haselsteiner, E., Frey, H., Laa, B., Hammel, M., Danzer, L., Wetzler, P. und Bergmann, N. (2020). mobility4work - Mobilität für die digitalisierte Arbeitswelt. URL: https://projekte.fgg.at/anhang/609145e59be3f_mobility4work_ERGEBNISBERICHT_final_kl.pdf.
- Haslmayr, H.-P., Baumgarten, A., Schwarz, M., Huber, S., Prokop, G., Sedy, K., Krammer, C., Murer, E., Pock, H., Rodlauer, C., Schaumberger, A., Nadeem, I. und Formayer, H. (2018). BEAT – Bodenbedarf für die Ernährungssicherung in Österreich. AGES. URL: https://dafne.at/content/report_release/aa85879d-af0f-4273-a1e2-b7f1d7178d41_1.pdf.
- Heinfellner, H., Ibesich, N., Lichtblau, G., Stranner, G., Svehla-Stix, S., Vogel, J., Wedler, M. und Winter, R. (2019). Sachstandsbericht Mobilität - Mögliche Zielpfade zur Erreichung der Klimaziele 2050 mit dem Zwischenziel 2030 - Endbericht. URL: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0688.pdf>.
- Herry, M., Sedlacek, N. und Steinbacher, I. (2007). Verkehr in Zahlen, Österreich, Ausgabe 2007. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie Abteilung V/Infra 5. Wien. URL: <http://www.bmvit.gv.at/verkehr/gesamtverkehr/statistik/downloads/viz07gesamt.pdf>.



- Hiess, H. (2007). Szenarien der räumlichen und regionalen Entwicklung Österreichs. Wien. URL: <https://silo.tips/download/szenarien-der-rumlichen-und-regionalen-entwicklung-sterreichs-future-briefings-v>.
- Hofmann, S. und von Olhausen, T. (2019). Die Zukunft der Eisenbahn in Deutschland – Szenarien für das Jahr 2040. TU Berlin, Fachgebiet Integrierte Verkehrsplanung. IVP Discussion Paper. 1/2017. URL: https://www.static.tu.berlin/fileadmin/www/10002265/Discussion_Paper/DP11_Zukunft_Bahn.pdf.
- IPCC. (2023). Summary for Policymakers. Climate Change 2023: Synthesis Report. Geneva, Switzerland. URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf.
- Kellermann, R., Biehle, T. und Fischer, L. (2020). Drones for parcel and passenger transportation: A literature review. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 4, 13. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2019.100088>
- Kemp, L., Xu, C., Depledge, J., Ebi, K., Gibbins, G., Kohler, T., Rockström, J., Scheffer, M., Schellnhuber, H., Steffen, W. und Lenton, T. (2022). Climate Endgame: Exploring catastrophic climate change scenarios. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119. doi: 10.1073/pnas.2108146119
- KSG. (2017). Bundesgesetz zur Einhaltung von Höchstmengen von Treibhausgasemissionen und zur Erarbeitung von wirksamen Maßnahmen zum Klimaschutz (Klimaschutzgesetz – KSG). URL: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung/Bundesnormen/20007500/KSG%2c%20Fassung%20vom%2022.06.2023.pdf>.
- Land Salzburg. (2016). salzburg.mobil 2025. Salzburger Landesmobilitätskonzept 2016-2025. Land Salzburg. URL: https://www.salzburg.gv.at/verkehr/_Documents/salzburgmobil2025_programm2016.pdf.
- Land Salzburg. (2023). Masterplan Klima + Energie 2030 Umsetzungsfortschritt. Land Salzburg. URL: https://www.salzburg.gv.at/umweltnaturwasser/_Documents/Bericht_Masterplan_2030_Umsetzungsfortschritt_Online.pdf.
- Laufer, N. (2021). Plan für neues Gesetz: Werden die Klimaziele verfehlt, müssen Bund und Länder zahlen. Der Standard. 25. April 2021. URL: <https://www.derstandard.at/story/2000126127747/plan-fuer-neues-gesetz-werden-die-klimaziele-verfehlt-muessen-bund>
- Lyons, G. und Davidson, C. (2016). Guidance for transport planning and policymaking in the face of an uncertain future. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 88, 104-116. doi: 10.1016/j.tra.2016.03.012
- Marchetti, C. (1993). On Mobility. URL: http://www.cesaremarchetti.org/archive/scan/MARCHETTI-057_Pt.1.pdf, http://www.cesaremarchetti.org/archive/scan/MARCHETTI-057_Pt.2.pdf, http://www.cesaremarchetti.org/archive/scan/MARCHETTI-057_Pt.3.pdf, http://www.cesaremarchetti.org/archive/scan/MARCHETTI-057_Pt.4.pdf.
- Mattioli, G., Roberts, C., Steinberger, J. K. und Brown, A. (2020). The political economy of car dependence: A systems of provision approach. *Energy Research & Social Science*, 66. doi: 10.1016/j.erss.2020.101486
- Millonig, A., Rudloff, C., Richter, G., Lorenz, F. und Peer, S. (2020). mobalance - Möglichkeiten einer bewussten Gestaltung von Mobilität durch Anwendung des Suffizienzprinzips im österreichischen Kontext - Projektzusammenfassung. URL: <https://www.ait.ac.at/themen/integrated-mobility-systems/projects/mobalance/>.
- MIT Energy Initiative. (2019). Insights Into Future Mobility. MIT Energy Initiative. Cambridge, MA. URL: <http://energy.mit.edu/insightsintofuturemobility>.
- Mulholland, E. und Feyen, L. (2021). Increased risk of extreme heat to European roads and railways with global warming. *Climate Risk Management*, 34, 100365. doi: <https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100365>



- Müller, A., Redl, C., Haas, R., Türk, A., Liebmann, L., Steininger, K., Brezina, T., Mayerthaler, A., Schopf, J. M., Werner, A., Kreuzer, D., Steiner, A., Mollay, U. und Neugebauer, W. (2012). EISERN - Energy Investment Strategies And Long Term Emission Reduction Needs (Strategien für Energie-Technologie-Investitionen und langfristige Anforderung zur Emissionsreduktion) - Projektendbericht. Klima- und Energiefonds. Wien. doi: 10.13140/2.1.2054.7522
- Network Rail Limited. (2021). Network Rail Third Adaptation Report. URL: <https://www.networkrail.co.uk/wp-content/uploads/2022/01/Network-Rail-Third-Adaptation-Report-December-2021.pdf>.
- ÖBB-Holding AG. (2023). Historische Zeitreihen ÖBB, Quellen: Geschäftsberichte, Zahlen-Daten-Fakten, Statistische Jahresberichte von ÖBB, Statistik Austria, bmvit.
- ÖBB-Infrastruktur AG. (2011). Ausbau der viergleisigen Westbahn: Asten – Linz Kleinmünchen. ÖBB. Linz.
- PLANCO Consulting GmbH Essen und Bundesanstalt für Gewässerkunde. (2007). Verkehrswirtschaftlicher und ökologischer Vergleich der Verkehrsträger Straße, Bahn und Wasserstraße -Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse. Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, vertreten durch die Wasser- und Schifffahrtsdirektion Ost. URL: https://www.bafg.de/DE/08_Ref/U1/02_Projekte/05_Verkehrstraeger/verkehrstraeger_kurz.pdf?blob=publicationFile.
- Plank, K., Laa, E., Kimmich, C., Schnabl, A. und Weyerstraß, K. (2023). Berücksichtigung der Effective Carbon Rate bei der CO₂-Bepreisung. Institut für Höhere Studien – Institute for Advanced Studies (IHS). IHS Policy Brief. URL: <https://irihs.ihs.ac.at/id/eprint/6589/>.
- PricewaterhouseCoopers AG. (2019). Shape the Future of Mobility – Für ein zukunftsfähiges Schweizer Mobilitätssystem. URL: <https://www.pwc.ch/de/publications/2019/PwC-Future-of-Mobility-web.pdf>.
- Riedl, R. (1981). Biologie der Erkenntnis. Verlag Paul Parey, 3. Auflage.
- Riedl, R. (1985). Die Spaltung des Weltbildes. Verlag Paul Parey.
- Riedl, R. (2000). Strukturen der Komplexität
eine Morphologie des Erkennens und Erklärens. Springer. Berlin [u.a.]. ISBN: 3-540-66873-X Gb.
- Rohrer, A. V., Jury, M. W., Preinfalk, E. und Bednar-Friedl, B. (2018). The Costs of Inaction for Austria: Climate change impacts transmitted by international trade. WP2 – Grenzüberschreitende Auswirkungen des Klimawandels auf Österreichs Außenhandel. URL: <https://coin-int.ccca.ac.at/wp-content/uploads/2020/10/COIN-Report-2.pdf>.
- Rosinak & Partner ZT GmbH. (2015). Mobilitätskonzept Niederösterreich 2030+. Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, . URL: https://www.noel.gv.at/noel/NOEL_Mobilitaetskonzept_180815_Druckversion.pdf.
- Rosinak & Partner ZT GmbH. (2018). Kumm steig um. Mobilitätsleitbild für die Region Linz. Amt der Oö. Landesregierung und Magistrat der Landeshauptstadt Linz. URL: https://www.land-oberoesterreich.gv.at/Mediendateien/Formulare/Dokumente%20SVD%20Abt_GVoeVerk/mobilitaetsleitbild_kumm_steig_um.pdf.
- Rosinak & Partner ZT GmbH und PLANOPTIMO Büro Dr. Köll ZT-GmbH. (2019). Mobilitätskonzept Vorarlberg 2019. Amt der Vorarlberger Landesregierung. URL: <https://vorarlberg.at/documents/302033/472144/Mobilit%C3%A4tskonzept+Vorarlberg+2019+-+Endbericht.pdf/5574344b-ba57-1e25-4b68-2a11c23ba30e?t=1616161190935>.
- Sammer, G., Roider, O. und Klementsitz, R. (2004). Mobilitäts-Szenarien 2035. Initiative zur nachhaltigen Verkehrsentwicklung im Raum Wien. Wien. URL: <https://boku.ac.at/fileadmin/data/H03000/H85000/H85600/DISS/Shemos.pdf>.



- Schafer, A. und Victor, D. G. (2000). The future mobility of the world population. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 34, 171-205. doi: [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(98\)00071-8](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(98)00071-8)
- Schnabl, A., Gust, S., Mateeva, L., Plank, K., Wimmer, L. und Zenz, H. (2021). CO2-relevante Besteuerung und Abgabenleistung der Sektoren in Österreich. Institut für Höhere Studien – Institute for Advanced Studies (IHS). URL: <https://irihs.ihs.ac.at/id/eprint/5820/1/ihs-report-2021-schnabl-gust-mateeva-et-al-co2-relevante-besteuerung.pdf>.
- Shaheen, S. und Cohen, A. (2018). Is It Time for a Public Transit Renaissance? *Journal of Public Transportation*, 21, 67-81. doi: <https://doi.org/10.5038/2375-0901.21.1.8>
- Sheller, M. (2018). Theorising mobility justice. *Tempo Social*, 30, 17-34. doi: 10.11606/0103-2070.ts.2018.142763
- Shibayama, T., Laa, B., Brezina, T., Hammel, M., Szalai, E., Damjanovic, D., Peck, O., Schönfelder, S. und Streicher, G. (2022). FLADEMO - Flächendeckende Mobilitäts-Servicegarantie. Ö. F. m. (FFG). Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Wien. URL: https://projekte.ffg.at/anhang/62b1b1ffee5b3_Ergebnisbericht_V8.pdf.
- Slupetzky, W. (2021). Mobilitaet 2050 - Roadmap zum Umbau des Verkehrssystems. *Österreichische Zeitschrift für Verkehrswissenschaft (ÖZV)*, 2/2021. URL: https://www.quintessenz.or.at/docs/oezv_2_2021-Mobilitaet_2050.pdf.
- Soteropoulos, A., Stickler, A., Sodl, V., Berger, M., Dangschat, J., Pfaffenbichler, P., Emberger, G., Frankus, E., Braun, R., Schneider, F., Kaiser, S., Wakolbinger, H. und Mayerthaler, A. (2019). SAFiP – Systemszenarien Automatisiertes Fahren in der Personenmobilität. BMVIT. URL: https://projekte.ffg.at/anhang/5cee1b11a1eb7_SAFiP_Ergebnisbericht.pdf.
- Stadt Wien. (2022). Smart Klima City Strategie Wien. Der Weg zur Klimamusterstadt. URL: https://smartcity.wien.gv.at/wp-content/uploads/sites/3/2022/03/scwr_klima_2022_web-neu.pdf.
- Stadt Wien. (2023). PKW-Bestand nach Kilowatt Leistung seit 2011 - Bezirke Wien. data.gv.at. URL: <https://www.data.gv.at/katalog/dataset/3828fd26-5284-444b-ba25-a68a84e91bdf>.
- Statistik Austria. (2021). Tabelle: Kfz-Bestand 2020. URL: <https://www.statistik.at/fileadmin/pages/75/BestandFahrzeuge2020.ods>.
- Statistik Austria. (2022a). Bevölkerungsprognosen für Österreich und die Bundesländer. URL: <https://www.statistik.at/statistiken/bevoelkerung-und-soziales/bevoelkerung/demographische-prognosen/bevoelkerungsprognosen-fuer-oesterreich-und-die-bundeslaender>.
- Statistik Austria. (2022b). Bevölkerungspyramide 1952-2100 Österreich. URL: https://www.statistik.at/atlas/bev_prognose/.
- Statistik Austria. (2022c). Demographisches Jahrbuch 2020. URL: <https://www.statistik.at/fileadmin/publications/Demographisches-JB-2020.pdf>.
- Statistik Austria. (2022d). Detailtabellen zu Erwerbstätigkeit - Zeitreihen. URL: https://www.statistik.at/fileadmin/pages/257/3_Erwerbstaetigkeit_Zeitriehen_bis2021.ods.
- Statistik Austria. (2022e). Straßenverkehrsunfälle mit Personenschaden 2021. Wien. URL: <https://www.statistik.at/fileadmin/publications/Strassenverkehrsunfaelle-2021.pdf>.
- Statistik Austria. (2023a). Bevölkerung zu Jahresbeginn nach administrativen Gebietseinheiten (Bundesländer, NUTS-Regionen, Bezirke, Gemeinden) seit 2002. URL: https://www.statistik.at/fileadmin/pages/405/Bev_zu_Jahresbeginn_Gebietseinheiten_Zeitreihe.ods.
- Statistik Austria. (2023b). Bevölkerungsprognose 2022, Hauptvariante. URL: https://www.statistik.at/fileadmin/pages/414/neu_Wien_Hauptvariante_2022.ods.

- Statistik Austria. (2023c). Insgesamt 5,15 Mio. Pkw in Österreich zugelassen. URL: <https://www.statistik.at/fileadmin/announcement/2023/02/20230224KfzBestand2022.pdf>
- Statistik Austria. (2023d). Statistik des Bevölkerungsstandes. URL: https://www.statistik.at/fileadmin/pages/405/Bev_Jahresbeginn_Gebietseinheiten_Zeitreihe_seit_2002.ods.
- TRAFICO, IVWL UNI GRAZ, IVT ETH ZÜRICH, PANMOBILE, JOANNEUM RESEARCH und WIFO. (2009). Verkehrsprognose Österreich 2025+. Teil/Kapitel 1 - Hintergrund, Aufgabenstellung, generelle Methode und Prognoseannahmen. Wien. URL: https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:3c92824c-48bc-4d31-92e5-d5ccb6b03bec/vpoe25_kap1.pdf.
- Umweltbundesamt. (2019). Zwölfter Umweltkontrollbericht. Umweltsituation in Österreich. Wien. URL: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0684.pdf>.
- Umweltbundesamt. (2021). Klimaschutzbericht 2021. URL: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0776.pdf>.
- Umweltbundesamt. (2022a). 13. Umweltkontrollbericht. Umweltsituation in Österreich. Wien. URL: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0821.pdf>.
- Umweltbundesamt. (2022b). Klimaschutzbericht 2022. URL: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0816.pdf>.
- Umweltbundesamt Deutschland. (2020). Oekologische Bewertung von Verkehrsarten. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_156-2020_oekologische_bewertung_von_verkehrsarten_0.pdf.
- United Nations Department of Economic and Social Affairs. (2019). World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. United Nations. doi: <https://doi.org/10.18356/b9e995fe-en>
- van der Heijden, K. (2006). Scenarios : The Art of Strategic Conversation. West Sussex.
- Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV). (2015). Zukunftsszenarien autonomer Fahrzeuge. Chancen und Risiken für Verkehrsunternehmen. URL: <https://www.vdv.de/position-autonome-fahrzeuge.pdf>.
- Verracon GmbH und Rosinak & Partner ZT GmbH. (2021). GVS21 - Gesamtverkehrsstrategie Burgenland. Zukunftsthemen der Mobilität. Amt der Burgenländischen Landesregierung. URL: https://www.b-mobil.info/fileadmin/user_upload/GVS21_WEB.pdf.
- Verracon GmbH, Rosinak & Partner ZT GmbH und Planoptimo Büro Dr. Köll ZT-GmbH. (2016). Mobilitäts Masterplan Kärnten 2035. Amt der Kärntner Landesregierung. URL: <https://portal.ktn.gv.at/Forms/Download/VT122>.
- WIFO. (2016). Subventionen und Steuern mit Umweltrelevanz in den Bereichen Energie und Verkehr. URL: <https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/16/StudieSubventionen-und-Steuern-mit-Umweltrelevanz2016.pdf>.
- Wirtschaftskammer Österreich. (2022a). Kraftfahrzeugbestand. URL: <https://wko.at/statistik/Extranet/Langzeit/Lang-Stra%C3%9Fenfahrzeuge.pdf> Abgerufen am 22.12.2022.
- Wirtschaftskammer Österreich. (2022b). Lebenserwartung. URL: <https://wko.at/statistik/Extranet/Langzeit/Lang-Lebenserwartung.pdf>.