

Endbericht Final

CLEARER Climate Neutral Freight Transport Studie

Wien, 26. April 2021

Herry Consult GmbH

Dipl.-Ing. Norbert Sedlacek, Mag. Irene Steinacher

Econsult Betriebsberatungsges.m.b.H.

Mag. Gerda Hartmann, Mag. Jürgen Schrampf

Universität Graz, Wegener Center für Klima und Globalen Wandel

Dr. Gabriel Bachner, Samuel Duelli BSc., Jakob Mayer MSc.,
Univ.-Prof. Dr. Karl Steininger

TU Wien, Institut für Fahrzeugantriebe und Automobiltechnik

Dr. Thomas Bruckmüller

Auftraggeber

Klima- und Energiefonds
vertreten durch die
Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)
FN 252263a
Sensengasse 1
1090Wien, Österreich

Projektteam

Herry Consult GmbH (Projektleitung)

Argentinerstrasse 21
A-1040 Wien, Österreich
T +43 1 5041258 – 17
E office@herry.at
W www.herry.at

Econsult Betriebsberatungsges.m.b.H.

Jochen-Rindt-Straße 33
A-1230 Wien, Österreich
T +43 (0)1 615 70 50-0
E office@econsult.at
W www.econsult.at

Universität Graz, Wegener Center für Klima und Globalen Wandel

Brandhofgasse 5
A-8010 Graz, Österreich
T +43 (0)316 380 - 8470
E wegcenter@uni-graz.at
W wegcenter.uni-graz.at

TU Wien, Institut für Fahrzeugantriebe und Automobiltechnik

Getreidemarkt 9
A-1060 Wien, Österreich
T +43 1 58801 31500
E info@ifa.tuwien.ac.at
W www.ifa.tuwien.ac.at

Dokument: CLEARER - Final Report.docx

Stand: **Final, 26. April 2021**

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	3
Abbildungsverzeichnis	4
1 Executive Summary (DE)	6
2 Executive Summary (EN)	11
3 Inhalt und Studiendesign	16
3.1 Aufgabenstellung	16
3.2 Studiendesign	16
3.3 Stakeholderintegration	18
4 Mengen und Zielszenarien	20
4.1 Verkehrsleistungen	20
4.2 Ableitung von Marktsegmenten	22
4.3 Prognose der Verkehrsleistungen nach Marktsegmenten	28
4.4 Zielvorgaben	30
5 Technologie-UseCase-Matrix	32
5.1 Technologien	32
5.2 Ergänzende organisatorische und technologische Ansätze	33
5.2.1 City Logistik / Smart Urban Logistics	34
5.2.2 Neue Umschlagstechnologien	34
5.2.3 Kombination Personen- (PV) und Güterverkehr (GV)	35
5.2.4 Verkehrssteuerung und -leitung.....	35
5.2.5 Physical Internet	36
5.2.6 Platooning	36
5.2.7 Autonomes Fahren	37
5.3 Use Case je Marktsegment	37
5.4 CO₂-Emissionen Straßengüterverkehr nach Marktsegmenten	39
5.4.1 Methode zur Ermittlung und Prognose der CO ₂ -Emissionen	39
5.4.2 CO ₂ -Emissionen 2018 nach Marktsegmenten.....	39
5.5 WEM-Technologie-UseCase-Matrix 2030 und 2040 (“WEM-Szenario”)	40
5.6 CO₂-Neutrale Technologie-UseCase-Matrix 2030 und 2040 (“ZERO-Szenario”)	44
5.7 Szenarien unter Berücksichtigung der ergänzenden Ansätze	48
5.7.1 Bewertung und Wechselwirkungen der ergänzenden Ansätze	48
5.7.2 Auswirkungen der ergänzenden Ansätze auf Fahrleistung und Primärenergiebedarf... 60	
6 Entwicklungspfade	64
6.1 Technologie- und Infrastrukturkosten bis 2040	64
6.2 Umsetzungsschritte zur Erreichung der CO₂-Neutralität 2040 (Backcasting)	67
7 Effekte eines CO₂-neutralen Güterverkehrs bis 2030/2040	72
7.1 Kosten für die User (Straßengüterverkehrsbranche)	72

7.1.1	Änderungen in den laufenden Kosten	72
7.1.2	Investitionsbedarfe	77
7.2	Makroökonomische Effekte	79
7.2.1	Makroökonomisches Modell	79
7.2.2	Makroökonomische Ergebnisse	80
7.2.3	Qualitative Abschätzung der makroökonomischen Wirkung ergänzender Ansätze	89
7.3	Ökologische Effekte	92
7.4	Notwendige (technologische) Verbesserungen zur Zielerreichung	94
7.5	Evaluierung der Umsetzbarkeit	95
8	Erkenntnisse	100
8.1	Zusammenfassung der wesentlichen Erkenntnisse	100
8.2	Forschungs- und Entwicklungsbedarf	102
	Abkürzungsverzeichnis	108
	Literaturverzeichnis	110
	ANHANG	116
	Fragebogen Stakeholder-Befragung	116
	Beschreibung UseCases	120
	Tagesordnung Stakeholder Workshop	135
	Beteiligte Stakeholder-Institutionen	136
	Kostenveränderungen je Use Case (2030 und 2040 im WEM und ZERO-Szenario)	136

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Durchschnittliche Ladungsgewichte nach NST-Gruppen und Klassifizierung für Marktsegmentierung.....	25
Tabelle 2: Im Inland erbrachte Lkw-Kilometer und Tonnenkilometer 2009, 2014 und 2018 nach Marktsegmenten.....	27
Tabelle 3: Güterverkehrsprognosen für Europa	28
Tabelle 4: Prognose der Straßengüterverkehrsleistung in Österreich	29
Tabelle 5: Marktsegmente und deren Use Cases	38
Tabelle 6: CO ₂ -Emissionen des Straßengüterverkehrs nach Marktsegment im Jahr 2018.....	40
Tabelle 7: Technologie-UseCase-Matrix der Antriebstechnologien im WEM-Szenario 2030.....	42
Tabelle 8: Technologie-UseCase-Matrix der Energieträger im WEM-Szenario 2030.....	43
Tabelle 9: Technologie-UseCase-Matrix der Antriebstechnologien im WEM-Szenario 2040.....	43
Tabelle 10: Technologie-UseCase-Matrix der Energieträger im WEM-Szenario 2040.....	44
Tabelle 11: Technologie-UseCase-Matrix der Antriebstechnologien im ZERO-Szenario 2030.....	46
Tabelle 12: Technologie-UseCase-Matrix der Energieträger im ZERO-Szenario 2030	47
Tabelle 13: Technologie-UseCase-Matrix der Antriebstechnologien im ZERO-Szenario 2040.....	47
Tabelle 14: Technologie-UseCase-Matrix der Energieträger im ZERO-Szenario 2040	48
Tabelle 15: Grundsätzliche Wirkungseinschätzung der ergänzenden Ansätze je Use Case	49
Tabelle 16: Fahrleistungs- und direkte energieverbrauchsreduzierende Wirkung von ergänzenden Ansätzen	50
Tabelle 17: Reduktionspotenziale ergänzender Ansätze	58
Tabelle 18: Veränderung der Fahrleistung (FL) und zusätzliche Veränderung des Primärenergieeinsatzes (E) durch die Umsetzung der ergänzenden Ansätze	60
Tabelle 19: Fahrleistung bei Umsetzung ergänzender Ansätze	61
Tabelle 20: Primärenergiebedarf ZERO-Szenario 2030 bei Umsetzung ergänzender Ansätze.....	62
Tabelle 21: Primärenergiebedarf ZERO-Szenario 2040 bei Umsetzung ergänzender Ansätze.....	63
Tabelle 22: Ausgefüllte Backcasting-Tabelle eines Stakeholders (Anmerkung: Die Inhalte entsprechen einer Meinung einer am Workshop anwesenden Person, ist jedoch anonymisiert dargestellt und soll lediglich der Veranschaulichung des Prozesses dienen).....	69
Tabelle 23: Sammlung der durch Stakeholder genannten Regulierungs-Maßnahmen und deren zeitliche Implementierung (Anmerkung: Die Inhalte entsprechen der Meinung der am Workshop anwesenden Personen).....	70
Tabelle 24: Sammlung der durch Stakeholder genannten ökonomischen Instrumente und deren zeitliche Implementierung.....	70

Tabelle 25: Sammlung der durch Stakeholder genannten „soften“ Maßnahmen und deren zeitliche Implementierung.....	71
Tabelle 26: Kosten-Markups als Modell-Eingangsparameter für inländische Frächter und importierte Straßengüterverkehrsdienstleistungen für die Jahre 2018, 2030 und 2040.....	75
Tabelle 27: Qualitative Abschätzung der makroökonomischen Wirkung ergänzender Ansätze.....	91
Tabelle 28: Verteilung der CO ₂ -Emissionen und Fahrzeugkilometer je Fahrzeugklasse.....	96
Tabelle 29: Kostenveränderung 2018 zu WEM 2030.....	136
Tabelle 30: Kostenveränderung 2018 zu WEM 2040.....	137
Tabelle 31: Kostenveränderung 2018 zu ZERO 2030.....	137
Tabelle 32: Kostenveränderung 2018 zu ZERO 2040.....	138

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anteil der Technologien an der Straßengütertransportleistung – ZERO-Szenario 2040.....	7
Abbildung 2: Energiebedarf des Straßengüterverkehrs.....	8
Abbildung 3: Veränderung des Konsums (= Wohlfahrt im engeren Sinn) und der Wohlfahrt im weiteren Sinn (unter Berücksichtigung der Nutzen der CO ₂ -Reduktion mit niedriger, mittlerer und hoher Bewertung von CO ₂ Emissionen; ZERO versus WEM).....	10
Abbildung 3: Projektplan.....	17
Abbildung 4: Einschätzung der Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung des THG-Reduktionspfades [1].....	19
Abbildung 5: Erwartete durchschnittliche jährliche Veränderung der Transportleistung (tkm) je Marktsegment.....	30
Abbildung 6: Verlauf der Emissionsreduktion des Straßengüterverkehrs gegenüber 2020, basierend auf den Einschätzungen der Stakeholder (N=4)......	68
Abbildung 7: Prozentuelle Veränderung der Kapital- und Betriebskosten des Straßengüterverkehrs für heimische Frächter und importierte Dienstleistungen (ZERO versus WEM).....	73
Abbildung 8: Prozentuelle Veränderung der Kosten je Tonnenkilometer im Straßengüterverkehr für heimische Frächter und importierte Dienstleistungen (ZERO versus WEM).....	74
Abbildung 9: Kosten-Struktur im Straßengüterverkehrssektor der für diese Analyse relevanten Vorleistungen und Kraftstoffe für die WEM-Baseline und das ZERO-Szenario in den Jahren 2018, 2030 und 2040 in %-Anteilen.....	76
Abbildung 10: Fahrzeug- und Infrastrukturinvestitionsbedarf für die Jahre 2018, 2030 und 2040 für die WEM-Baseline und das ZERO-Szenario.....	78
Abbildung 11: Benötigte Infrastrukturinvestitionen nach Technologie für 2018, 2030 und 2040 für WEM-Baseline und ZERO-Szenario.....	79
Abbildung 12: Preis- und Outputänderung im Straßengüterverkehrssektor (ZERO versus WEM).....	81
Abbildung 13: Preis- und Outputänderungen der Sektoren (ZERO versus WEM).....	82

Abbildung 14: Veränderung des Bruttoinlandsproduktes (ZERO versus WEM).....	83
Abbildung 15: Links: Veränderung des Konsums der privaten Haushalte und der öffentlichen Hand. Rechts: Veränderung der Wohlfahrt im engeren Sinn (d.h. Konsummöglichkeiten) (Jeweils ZERO versus WEM).....	85
Abbildung 16: Veränderung des Konsums (= Wohlfahrt im engeren Sinn) und der Wohlfahrt im weiteren Sinn (unter Berücksichtigung der Nutzen der CO ₂ -Reduktion mit niedriger, mittlerer und hoher Bewertung; ZERO versus WEM).....	86
Abbildung 17: Einnahmen der Mineralölsteuer aus dem Straßengüterverkehrssektor auf Österreichs Straßen in Millionen Euro in den Jahren 2018, 2030 und 2040 für die WEM-Baseline und das ZERO-Szenario. Berechnungsgrundlage ist die Fahrleistung, die auf Österreichs Straßen von Lkw zurückgelegt wird (d.h. ohne Berücksichtigung des im Ausland verfahrenen Kraftstoffs).	87
Abbildung 18: Sensitivitätsanalysen für BIP und Wohlfahrtseffekte im engeren Sinn (jeweils ZERO versus WEM).....	88
Abbildung 19: CO ₂ -Emissionen des Straßengüterverkehrs in AT in verschiedenen Szenarien (lineare Interpolation zwischen 2018 und 2030 sowie 2030 und 2040).....	93
Abbildung 20: Endenergiebedarf des Straßengüterverkehrs in AT in verschiedenen Szenarien (lineare Interpolation zwischen 2018 und 2030 sowie 2030 und 2040).....	94
Abbildung 21: Vergleich der Fahrzeugklassen beim CO ₂ Ausstoß je Kilometer (eigene Abbildung)	96
Abbildung 22: Prognostizierte Marktanteile der Antriebsarten nach Lkw-Klassen in Westeuropa inkl. Türkei []	97
Abbildung 23: Mittelwerte der Relevanz der Nutzeranforderungen [89]	98
Abbildung 24: Anteil der Technologien (+ Treibstoffe) an der Straßengütertransportleistung, ZERO-Szenario 2040.....	100
Abbildung 25: Vergleich der Änderung der Kosten je Tonnenkilometer aller Use Cases für 2030 und 2040 (ZERO versus WEM).....	138

1 Executive Summary (DE)

Mit dem aktuellen Regierungsprogramm hat sich die österreichische Bundesregierung das Ziel gesetzt, bis zum Jahr **2040** einen **CO₂-neutralen Verkehrssektor** zu erreichen. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, wie dieses Ziel auch für den Straßengüterverkehr erreicht werden kann, welche Antriebstechnologie in welchem Ausmaß dazu beitragen kann, welche Effekte eine entsprechende Umsetzung erzeugt (Kosten für die User, makroökonomische Effekte, ökologische Effekte) und welcher Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht.

Das Projekt CLEARER hat mittels eines interdisziplinären Ansatzes (Technologie, Wirtschaft, Logistik und Mobilität) und unter Einbeziehung der relevante Stakeholder Antworten auf diese Fragen erarbeitet. Basis der Arbeiten war die Ableitung einer **Technologie-UseCase-Matrix**, welche die Relevanz der unterschiedlichen Technologien für gut abgrenzbare Marktsegmente des Straßengüterverkehrs aufzeigt. Dazu wurden zunächst unabhängig voneinander die für den Straßengüterverkehr in Zukunft relevanten Technologien identifiziert und deren Einsatzmöglichkeiten analysiert sowie 15 Marktsegmente des Straßengüterverkehrs definiert, die sich hinsichtlich ihrer Rahmenbedingung bezüglich des Einsatzes der unterschiedlichen Technologien möglichst deutlich voneinander unterscheiden. Für die Marktsegmente wurde Transport- und Fahrleistung im Jahr 2018 erhoben und für die Jahre 2030 und 2040 prognostiziert und jeweils stellvertretend für das Gesamt Marktsegment ein konkreter Use Case definiert. Aufbauend auf diesen Informationen wurden Technologie-UseCase-Matrizen (Anteile der Technologien an der Fahrleistung der jeweiligen Marktsegmente) für die Jahre 2030 und 2040 jeweils für ein Szenario mit existierenden Maßnahmen (**WEM-Szenario**) und ein Szenario, das 2040 CO₂-Neutralität im Straßengüterverkehr erreicht (**ZERO-Szenario**), abgeleitet. Beim erarbeiteten und dargestellten Pfad für das ZERO-Szenario handelt es sich **nicht** um **eine Handlungsempfehlung, sondern** um einen **möglichen, realistischen Weg zur Erreichung der Klimaziele**.

Basierend auf diesen Anteilen und der Transportleistung je Marktsegment ergeben sich folgende Technologieanteile an der Straßentransportleistung in Österreich für das ZERO Szenario 2040:

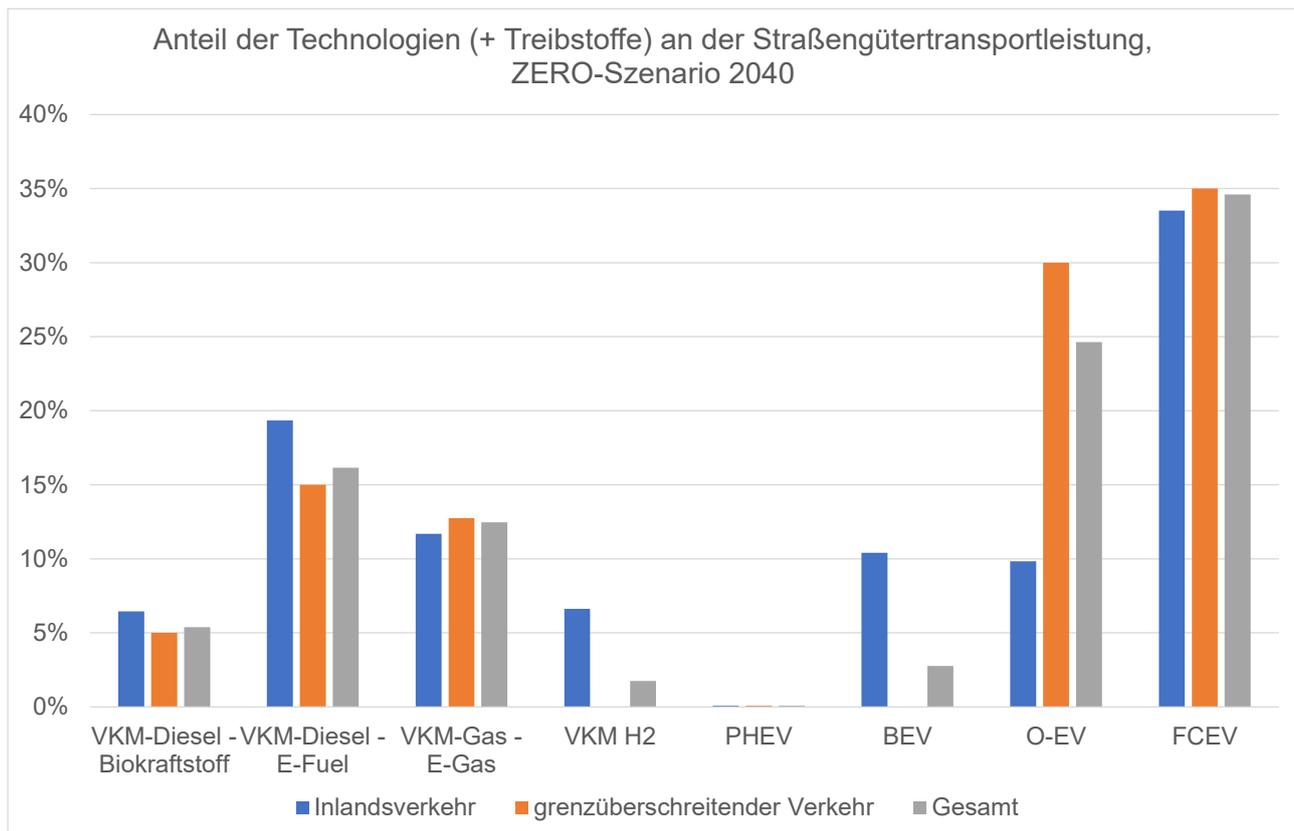


Abbildung 1: Anteil der Technologien an der Straßengütertransportleistung – ZERO-Szenario 2040

Fahrten mit langen Fahrtweiten werden überwiegend mit großen Fahrzeugen und damit höherer Transportkapazität durchgeführt, weshalb sie einen hohen Anteil an der Gesamttransportleistung auf sich vereinen. Hier kommen vor allem die Oberleitung oder FCEV zum Einsatz. Dementsprechend ist der Anteil dieser beiden Technologien auch an der gesamten Straßengütertransportleistung relativ hoch. BEV spielen nur im Inlandsverkehr mit kurzen Fahrtweiten eine Rolle. Dort haben sie zwar hohe Anteile, durch die kurzen Fahrtweiten ergibt sich aber ein insgesamt geringer Anteil dieser Technologie an der Transportleistung. Verbrennungskraftmotoren (betrieben mit Biokraftstoffen oder E-Fuels) spielen in allen Marktsegmenten eine gewisse Rolle. Aktuell sind ca. 40% der zugelassenen Lkw (ab N2) zum Teil deutlich älter als zehn Jahre. Geht man davon aus, dass entsprechende Anteile von älteren Fahrzeugen auch in Zukunft existieren werden, werden auch bei einem Zulassungsverbot von Lkw mit VKM-Motoren 2040 noch (alte) VKM-Lkw in Betrieb sein. Diese Fahrzeuge können nur mittels Bio-Diesel oder E-Fuels ZERO-tauglich eingesetzt werden. Die Ursachen für den Anteil an VKM-Transportleistung auch im ZERO-Szenario 2040 sind die Flottenentwicklung, die Verfügbarkeit an Infrastruktur und Fahrzeugmodellen [35] und die Kosten (insbesondere von alternativen Kraftstoffen).

Unabhängig von den skizzierten Technologieanteilen ermöglichen zusätzliche, **ergänzende Ansätze hinsichtlich Transportorganisation**, -abwicklung und -gestaltung eine Reduktion der Straßenfahrleistungen (durch Reduktion der Leerfahrten, Erhöhung des Beladungsgrades, Tourenoptimierung, Verlagerung auf die Schiene) oder eine Reduktion des Verbrauches bzw. Energieaufwandes (durch Optimierung des Verkehrsflusses, Windschattenausnutzung u.ä.). Im Zuge von CLEARER wurden daher folgende straßengüterverkehrsrelevante ergänzende Ansätze basierend auf einer Literaturlanalyse hinsichtlich ihrer potenziellen Wirkung auf die Fahrleistung und

den Energieverbrauch analysiert: City Logistik, neue Umschlagstechnologien, Verkehrssteuerung und -lenkung, Physical Internet, Platooning und automatisierte Transporte. In Abhängigkeit der Intensität der zukünftigen Umsetzung dieser Ansätze können unterschiedliche Fahrleistungs- und Energiereduktionpotenziale erwartet werden.

Um die Effekte einer technologischen Umstellung im Straßengüterverkehr bestmöglich zu isolieren, wurden weder bei der Entwicklung des ZERO-Szenarios noch bei der Ableitung der Szenarien zu den ergänzenden Ansätzen Veränderungen von politische Maßnahmen (Pricing, Verbote u.ä.) simuliert. Entsprechende notwendige politische Rahmenbedingungen und deren verkehrliche Wirkung (wie z.B. eine Modal Split Veränderung durch Verbote oder deutliche Pricing-Akzente) sind daher nicht abgebildet. Dies ist Aufgabe von Verkehrsmodellierungen.

Die folgende Abbildung zeigt den zu erwartenden Endenergiebedarf des Straßengüterverkehrs für das WEM- und das ZERO-Szenario für 2030 und 2040 ohne Berücksichtigung der ergänzenden Ansätze und unter Berücksichtigung einer minimalen und einer maximalen Umsetzung der ergänzenden Ansätze.

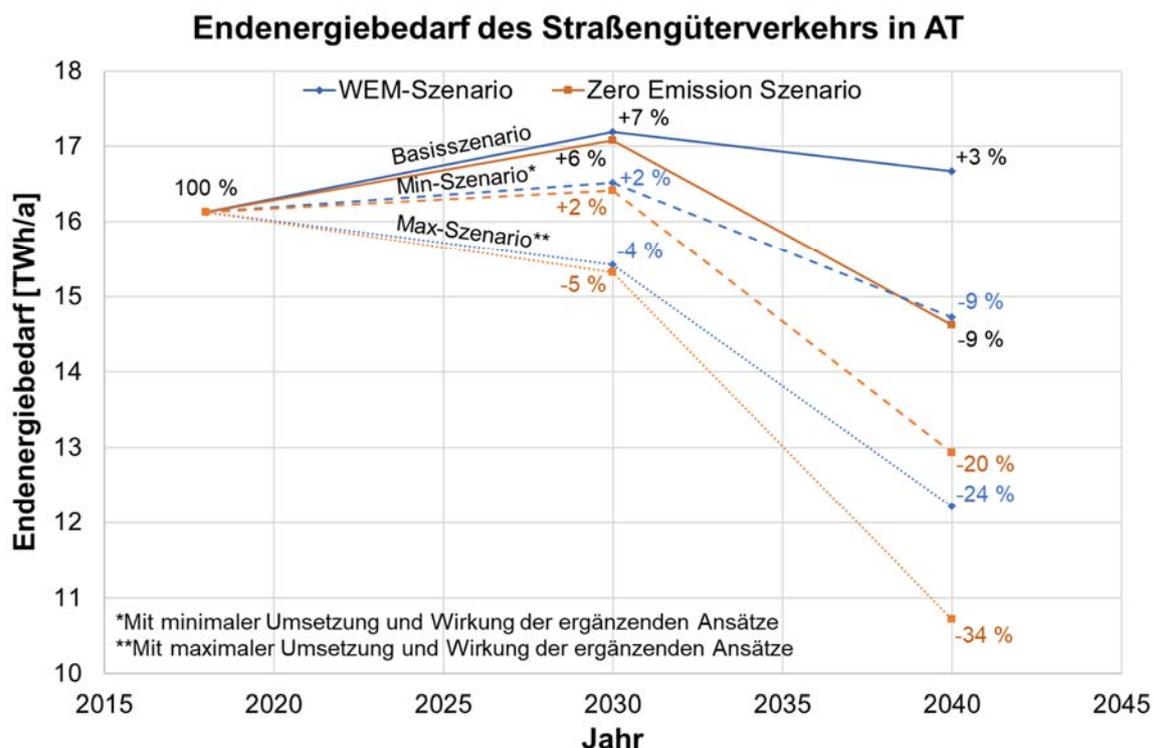


Abbildung 2: Energiebedarf des Straßengüterverkehrs

Das Erreichen eines CO₂-neutralen Straßengüterverkehrs bis 2040 erfordert **deutliche Anstrengungen in vielen Bereichen**. Jedenfalls sind eine entsprechende europaweite Zielsetzung und Umsetzung von Maßnahmen essenziell (Internationalität des Güterverkehrs). Der Ausbau der Infrastruktur für Elektro- (BEV und PHEV) sowie Wasserstoff- bzw. Oberleitungsfahrzeuge ist unumgänglich. Die Verfügbarkeit regenerativer elektrischer Energie (inkl. erforderlichem Verteilnetz und Speicherung) sowie erneuerbarer Kraftstoffe (Wasserstoff, Bio- und E-Fuels) muss gewährleistet werden (möglicherweise auch durch Importe). Darüber hinaus ist die Weiterentwicklung aller Antriebs- und Fahrzeugtechnologien hinsichtlich Energieeffizienz, Energie- und Leistungsdichte sowie Kosten für die CO₂-Reduktion im Straßengüterverkehr ausschlaggebend. Dazu sind jedenfalls

klare politische Rahmenbedingungen und entsprechende Anreizsysteme nötig, die frühzeitig zu entwickeln und zu verabschieden sind, um Planungssicherheit für die Transportbranche sicherzustellen und einen rechtzeitigen Umstieg zu ermöglichen.

Auch die **Umsetzung der ergänzenden Ansätze** erfordern technologische Weiterentwicklung und entsprechende organisatorische Rahmenbedingungen. Ist dies gewährleistet, können die erzielbaren Fahrleistungseinsparungen wesentlich dazu beitragen, den Energiebedarf des Transportsystems und damit die Notwendigkeit, Energie für den Transportsektor zu importieren, zu reduzieren. Außerdem können die ergänzenden Ansätze dazu beitragen, im Fall einer Nichterreichung von Null Emissionen einen signifikanten Beitrag zur Reduktion der CO₂-Emissionen zu leisten.

Trotz wesentlicher Eingriffe, Veränderungen und Investitionsbedarfe bewirkt eine vollständige Defossilisierung des Straßengüterverkehrssektors langfristig kaum Veränderung des BIP zum Zeitpunkt der kompletten Umstellung (im Jahr 2040). Am Weg zur Umstellung (in 2030) wird eine leicht negative Auswirkung auf das BIP abgeschätzt, welches im ZERO-Szenario im Niveau zwischen -0,5 und -0,3 % niedriger liegt als im Vergleichsfall WEM-Szenario. Im Jahr 2040 kommt es je nach Annahme auf makroökonomischer Ebene zu einem schwach negativen bis leicht positiven BIP-Effekt, der im Niveau zwischen -0,1 bis +0,2 % liegt. Mögliche volkswirtschaftliche Kosten der Defossilisierung des Straßengüterverkehrs sind gemessen am BIP demnach sehr gering, wenn überhaupt existent. Der Output (bzw. die Transportleistung) des Straßengüterverkehrssektors selbst wird 2040 – trotz temporärer Preiserhöhungen – nur marginal unter dem WEM Niveau liegen, da es auf der Nachfrageseite nur schwer möglich ist diese Dienstleistung zu substituieren. Schätzt man die makroökonomischen Effekte über 2040 hinaus qualitativ ab, ergäbe sich auf Grund erwartbarer Entwicklungen in der langen Frist (bis 2050 und darüber hinaus) ein positiver BIP Effekt, welcher durch potentielle weitere Kostensenkungen und Lerneffekte weiter verstärkt werden würde.

Die öffentliche Hand wird mit Einnahmenverlusten aus der Mineralölsteuer des Güterverkehrs konfrontiert sein, die bei Beibehaltung der aktuellen Steuerbegünstigung von alternativen Antrieben in 2040 circa 0,3 % der gesamten Steuereinnahmen ausmachen werden (basierend auf Lkw-Diesel-Verbrauch am Österreichischen Straßennetz und unter der Annahme, dass keine anderen Änderungen im Verkehrssystem unterstellt werden, sowie auch keine Änderungen im Steuersystem durchgeführt werden).

Da die Größen BIP und Output den potenziellen Nutzen des eigentlichen Ziels, nämlich einer Defossilisierung des Wirtschaftssystems, nicht beinhalten (also zukünftig vermiedene Schäden durch Klimawandel und andere unmittelbare Co-Benefits wie Gesundheitseffekte, siehe [1]) sind diese kein ausreichend genauer Indikator für das tatsächliche Wohlergehen der Bevölkerung. Daher wird zusätzlich ein Wohlfahrtsindikator im weiteren Sinn errechnet, der treffsicherer ist. Dieser inkludiert einerseits die sich ergebenden Änderungen des unmittelbaren Konsums von Gütern und Dienstleistungen, was die gesamtgesellschaftliche Wohlfahrt im engeren Sinn widerspiegelt (materielle Konsum-Komponente), und andererseits auch den Nutzen aus der Vermeidung von CO₂ Emissionen, also die vermiedenen zukünftigen Schäden durch Klimawandel. Unterstellt man erwartbare monetäre Bewertungsgrößen für CO₂ Emissionen geht aus dieser weiter gefassten Wohlfahrtsbetrachtung hervor, dass 2040 das Wohlfahrtsniveau im ZERO Szenario um 0,1 bis 0,2% höher liegt, als im WEM Szenario (siehe Abbildung 3).

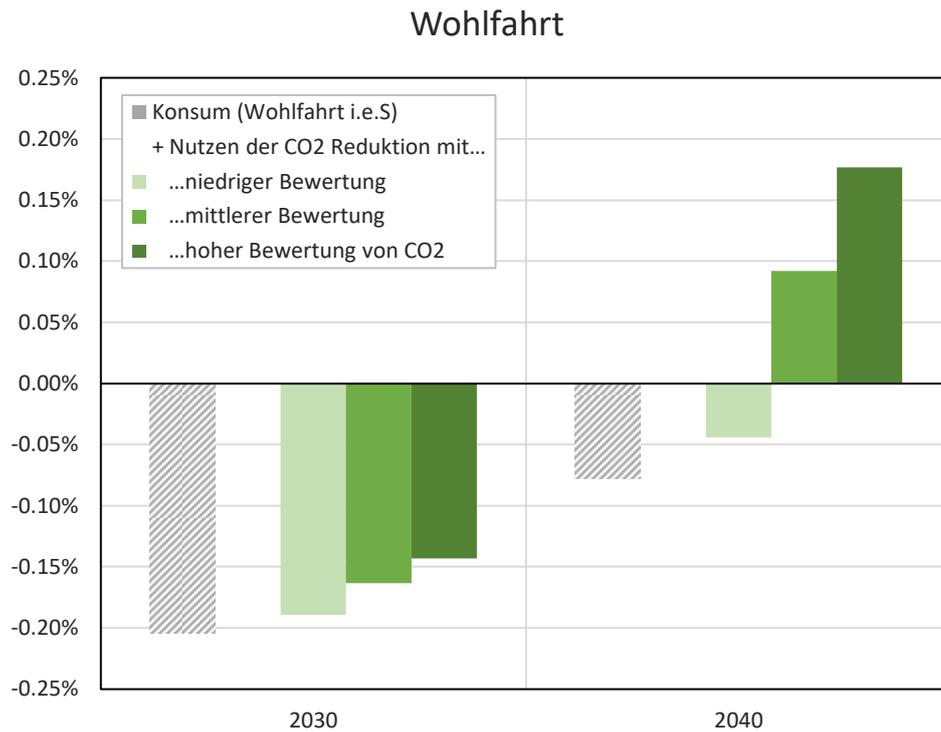


Abbildung 3: Veränderung des Konsums (= Wohlfahrt im engeren Sinn) und der Wohlfahrt im weiteren Sinn (unter Berücksichtigung der Nutzen der CO₂-Reduktion mit niedriger, mittlerer und hoher Bewertung von CO₂ Emissionen; ZERO versus WEM)

2 Executive Summary (EN)

In its current government program, the Austrian federal government has set itself the goal of achieving a **CO₂-neutral transport sector** by **2040**. In this context, the question arises how this goal can also be achieved for road freight transport, which drive technology can contribute to what extent, what effects a corresponding implementation generates (costs for users, macroeconomic effects, ecological effects) and what research and development needs exist.

The CLEARER project has developed answers to these questions using an interdisciplinary approach (technology, economy, logistics and mobility) and involving the relevant stakeholders. The work's basis was the derivation of a **technology use case matrix**, which shows the relevance of the different technologies for well-defined market segments of road freight transport. To this end, the technologies that will be relevant for road freight transport in the future were first identified independently of one another and their possible applications were analysed. Besides, 15 market segments of road freight transport were defined that differ as clearly as possible from one another in terms of their framework conditions for using the different technologies. For the market segments, transport performance was surveyed in 2018 and forecasted for 2030 and 2040, and a concrete use case was defined for each market segment. Based on this information, technology use case matrices (shares of the technologies in the transport performance of the respective market segments) were derived for 2030 and 2040, respectively, for a scenario with existing measures (**WEM scenario**) and a scenario that achieves CO₂ neutrality in road freight transport in 2040 (**ZERO scenario**). The path developed and presented for the ZERO scenario is **not a recommendation for action, but a possible, realistic path to achieving the climate targets**.

Based on these shares and the transport performance per market segment, the following technology shares of road transport performance in Austria result for the ZERO scenario 2040:

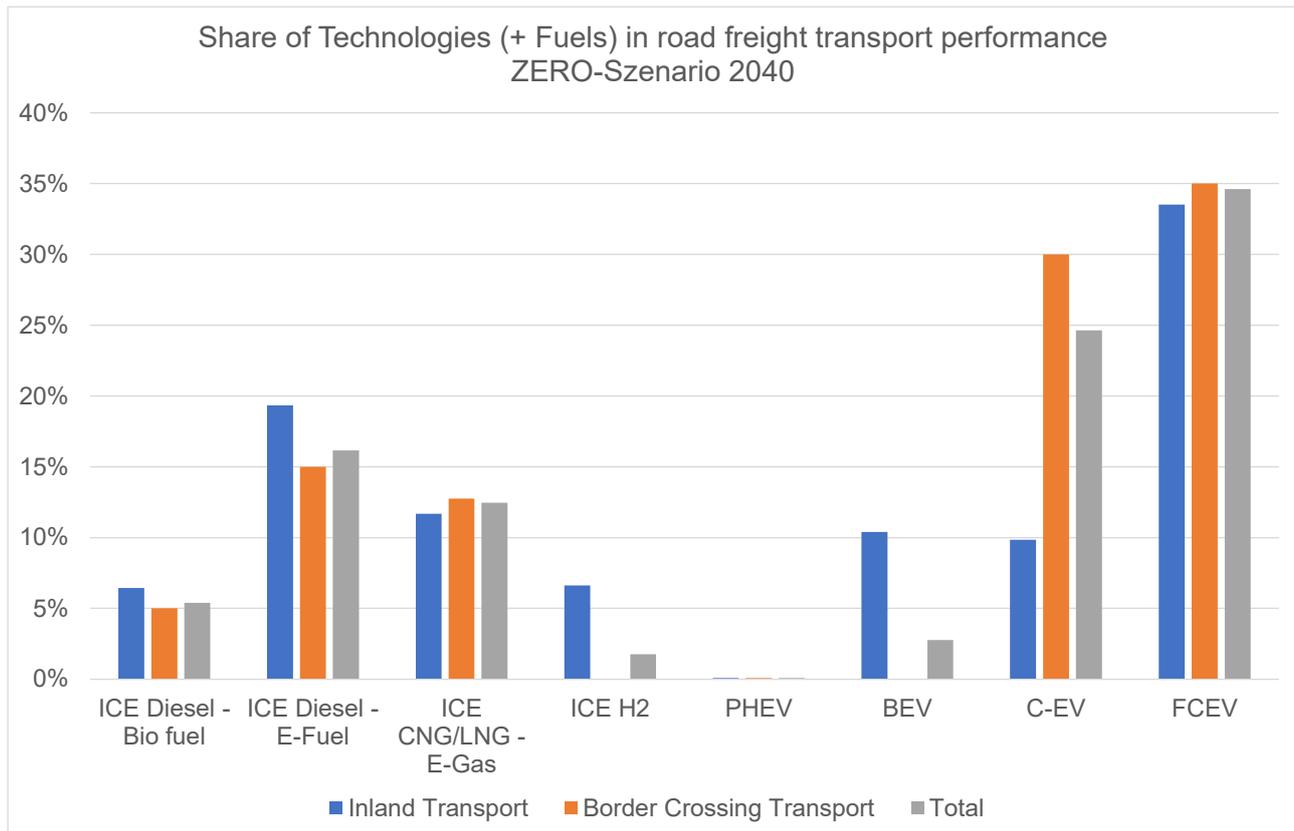


Figure 1: Shares of technologies in road freight transport performance

Trips with long travel distances are predominantly carried out with large vehicles and thus higher transport capacity, so they account for a high proportion of the total transport performance. This is where overhead contact lines or FCEVs are most commonly used. Accordingly, the share of these two technologies in the total road freight transport performance is also relatively high. BEVs only play a role in domestic transport with short distances. Although they have a high share there, the short distances involved mean that this technology accounts for a low overall transport performance share. Internal combustion engines (powered by biofuels or e-fuels) play a certain role in all market segments. Currently, around 40% of registered trucks (from N2) are significantly older than ten years. Assuming that older vehicles' corresponding shares will continue to exist in the future, (old) ICE trucks will still be in operation in 2040 even if registration of trucks with ICE engines is banned. These vehicles can only be used in a ZERO manner by means of bio-diesel or e-fuels. This is the main reason for the share of ICE transport performance even in the ZERO scenario 2040. This fleet development, the availability of infrastructure and vehicle models and the costs (especially of alternative fuels) are the causes for the share of ICE's transport performance also in the ZERO scenario 2040.

Independent of the outlined technology shares, additional, **complementary approaches with regard to transport organisation** and transport handling enable a reduction of road mileage (by reducing empty runs, increasing the load factor, route optimization, shifting to rail) or a reduction of fuel or energy consumption (by optimizing traffic flow, slipstream utilization, and others). In the course of CLEARER, the following complementary approaches relevant to road freight transport were therefore analyzed based on a literature analysis concerning their potential impact on mileage and energy consumption: City Logistics, New Transshipment Technologies, Traffic Control and

Guidance, Physical Internet, Platooning and Automated Transport. Depending on the intensity of the future implementation of these approaches, different driving performance and energy reduction potentials can be expected.

In order to isolate the effects of the technological changes in the road freight transport sector, neither in the development of the ZERO scenario nor in the derivation of the scenarios for the complementary approaches were changes of political measures (pricing, bans, etc.) simulated. Corresponding necessary political framework conditions and their transport effects (such as a modal split change due to bans or significant pricing accents) are therefore not mapped. This is the task of transport model applications.

The following figure shows the expected final energy demand of road freight transport for the WEM and the ZERO scenario for 2030 and 2040 without considering the complementary approaches and considering a minimum and a maximum implementation of the complementary approaches.

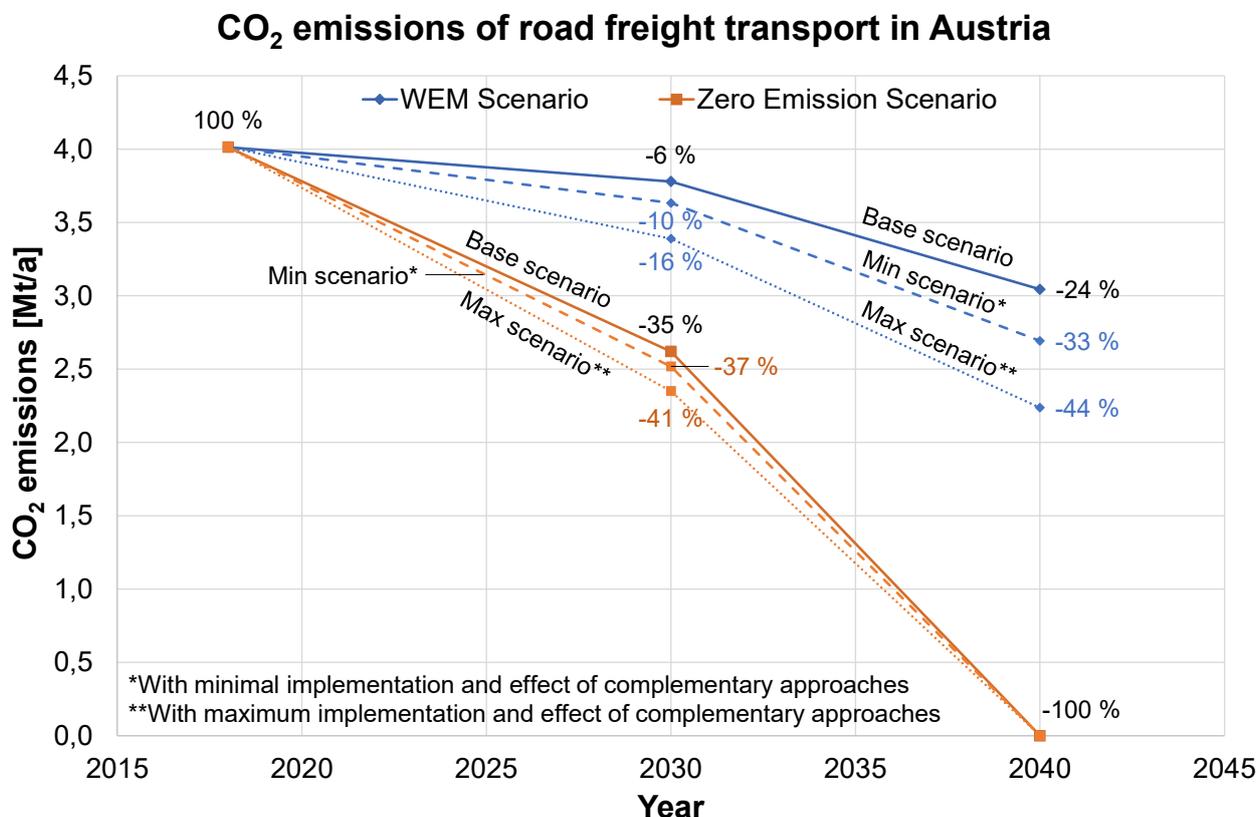


Figure 2: Energy demand of road freight transport

Achieving CO₂-neutral road freight transport by 2040 requires **significant efforts in many areas**. In any case, a corresponding Europe-wide target and implementation of measures are essential (internationality of freight transport). The expansion of the infrastructure for electric (BEV and PHEV) as well as hydrogen vehicles and e-motorways is essential. The availability of renewable electrical energy (including the necessary distribution network and storage) and renewable fuels (hydrogen, biofuels and e-fuels) must be guaranteed (possibly also through imports). In addition, the further development of all drive and vehicle technologies in terms of energy efficiency, energy and power density as well as costs is crucial for CO₂ reduction in road freight transport. In any case, this requires clear political framework conditions and corresponding incentive systems, which must be developed

and adopted at an early stage in order to ensure planning security for the transport industry and to enable a timely changeover.

The **implementation of complementary approaches** also requires further technological development and a corresponding organizational framework. If this is ensured, the achievable mileage savings can contribute significantly to reducing the energy demand of the transportation system and thus the need to import energy for the transportation sector. In addition, the complementary approaches can make a significant contribution to reducing CO₂ emissions in the case that zero emissions are not achieved.

Despite significant interventions, changes, and investment needs, full defossilisation of the road freight sector produces little long-term change in GDP at the time of complete transition (in 2040). On the path to conversion (in 2030), a slightly negative impact on GDP is estimated, which is between 0.5 and 0.3 % lower in the ZERO scenario than in the comparative WEM scenario. In 2040 there is a weakly negative to slightly positive GDP effect, ranging from -0.1 to +0.2 %, depending on the assumption at the macroeconomic level. Potential macroeconomic costs of the defossilisation of the road freight transport are thus estimated to be very small, if existent at all. In the ZERO scenario the road freight sector's output (i.e. transport performance) in 2040 will be – despite temporary price increases – marginally lower than in the WEM scenario, as it is difficult to substitute this service on the demand side. When assessing the macroeconomic effects qualitatively beyond 2040, a positive GDP effect would result from expected developments in the long term (until 2050 and beyond), which would be further strengthened by potential additional cost reductions and learning effects.

The public sector will be confronted with revenue losses from the mineral oil tax on freight transport, which will amount to approximately 0.3 % of total tax revenues in 2040 if the current tax concessions for alternative drives are maintained (based on truck diesel consumption on the Austrian road network and assuming no other changes in the transport system and no changes in the tax system).

Since GDP and output do not include the potential benefits of a defossilisation of the economic system (i.e., future avoided damages due to climate change and other immediate co-benefits such as health effects), they are not sufficiently accurate indicators of the actual well-being of people. Therefore, an additional welfare indicator in a broader sense is calculated. This includes, on the one hand, the resulting changes in the direct consumption of goods and services, which reflect the social welfare in the narrower sense (material consumption component), and on the other hand also the benefit from the avoidance of CO₂ emissions, i.e. the avoided future damage caused by climate change. Assuming expected monetary values for CO₂ emissions, it is clear from this broader welfare analysis that the welfare level in 2040 is higher in the ZERO scenario than in the WEM scenario, namely by +0.1 to +0.2% (see Figure 3).

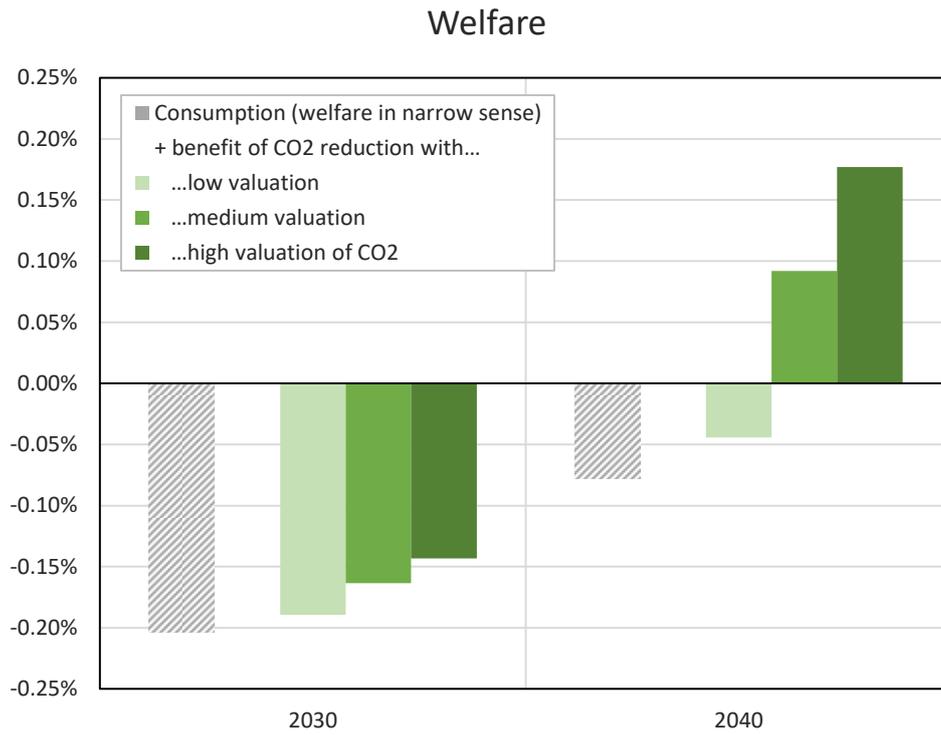


Figure 3: Change in consumption (= welfare in narrow sense) as well as welfare in the broader sense (including benefits from CO₂-reduction with low, medium and high valuation of CO₂ emissions; ZERO versus WEM)

3 Inhalt und Studiendesign

3.1 Aufgabenstellung

Mit dem aktuellen Regierungsprogramm hat sich die österreichische Bundesregierung das Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2040 einen CO₂-neutralen Verkehrssektor anzustreben. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, wie und zu welchen Kosten ein CO₂-neutraler Güterverkehr bis 2040 erreicht werden kann und welche Antriebstechnologie in welchem Ausmaß dazu beitragen kann.

Zum aktuellen Zeitpunkt existieren oder starten technologische Entwicklungen, um die CO₂-Emissionen des Güterverkehrssektors zu reduzieren. Wesentliche Technologien sind der Antrieb mittels Elektromotoren (mit unterschiedlicher Bereitstellung der notwendigen Energie wie z.B. Batterie oder Oberleitung), der Antrieb mittels Elektromotoren, die mithilfe von Wasserstoff mit Energie versorgt werden, und Antriebe, die mit (zu produzierenden) E-Treibstoffen (synthetischen Treibstoffen) sowie Biotreibstoffen betrieben werden (Verbrennungsmotoren). Darüber hinaus zeichnen sich bereits heute diverse Entwicklungen und zukünftige Veränderungen im Bereich Organisation der Verkehrsabwicklung ab. Diese angebotsseitigen Technologien weisen unterschiedliche erwartete Entwicklungspfade, Möglichkeiten und Rahmenbedingungen für die Nutzung auf, die im Projekt CLEARER untersucht und skizziert werden sollen.

Diesen Technologien stehen nachfrageseitige Güterverkehrssektoren gegenüber, die sich durch divergierende Anforderungen an den Transport unterscheiden. Charakterisiert können diese Sektoren vor allem durch unterschiedliche Entfernungen, Gütergruppen und Bündelungsnotwendigkeiten bzw. -möglichkeiten werden. Im Projekt werden die Sektoren mit ihren spezifischen Anforderungen an den Transport identifiziert und damit der Güterverkehr in Marktsegmente unterteilt.

Darauf aufbauend wird im Projekt CLEARER eine Verbindung zwischen den Technologien und den Güterverkehrsmarktsegmenten hergestellt (Technologie-UseCase-Matrix). Dies erfolgt basierend auf den Vor- und Nachteilen der unterschiedlichen Technologien und den Bedürfnissen der unterschiedlichen Segmente.

Es wird ein Szenario zu Erreichung eines klimaneutralen Güterverkehrs bis 2040 abgeleitet, das **einen möglichen, realistischen Weg zur Erreichung der Klimaziele** darstellt, jedoch **nicht als Handlungsempfehlung zu verstehen ist**. Die verkehrlichen Wirkung (z.B. Modal Split Effekte) von politischen Maßnahmen, die notwendig sind und dazu beitragen das skizzierte Szenario zu erreichen, wird nicht simuliert, dies ist Aufgabe von Verkehrsmodellierungen.

Aufbauend auf den Erkenntnissen sollen relevante Forschungsfrage, die es zu klären gilt, um das angestrebte Ziel eines klimaneutralen Güterverkehrs bis 2040 zu erreichen, identifiziert und dargelegt werden.

3.2 Studiendesign

Um die in Kapitel 3.1 angeführten Projektziele und -ergebnisse zu erreichen, werden die notwendigen Arbeiten entlang der folgenden Arbeitspakete (siehe Abbildung 4) strukturiert.

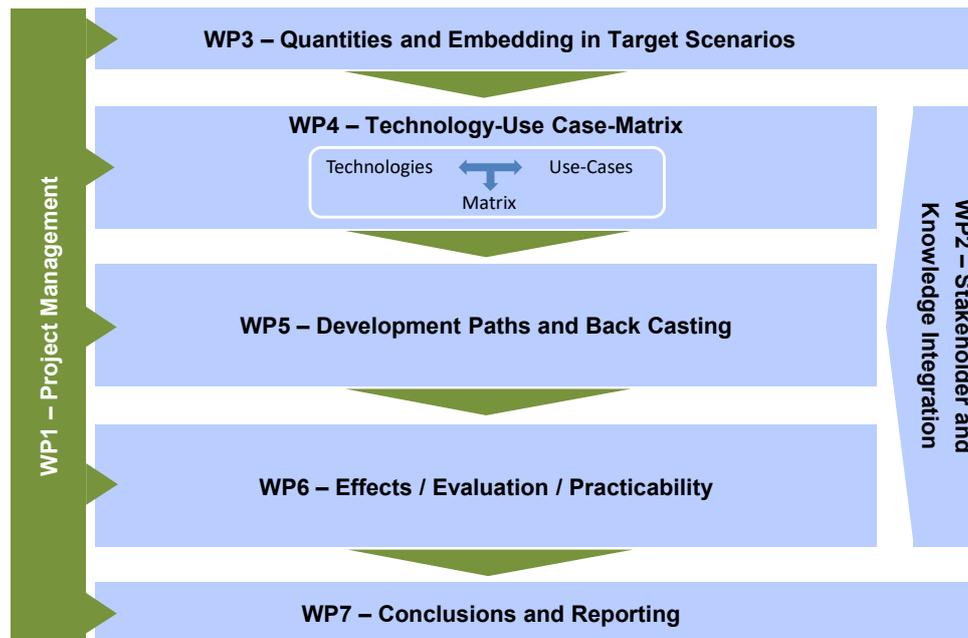


Abbildung 4: Projektplan

Neben dem organisierenden Arbeitspaket 1, das die Kommunikation im Projektteam und zwischen dem Projektteam und Auftraggeber sicherstellt und für das laufende Projektcontrolling verantwortlich ist, wurde ein weiteres, das Projekt begleitendes, Arbeitspaket installiert, welches sich einerseits um die laufende Interaktion mit den für das Projekt relevanten Stakeholdern (OEMs, Speditions- und Transportunternehmen, Technologieentwickler) kümmert und, andererseits, für die Bereitstellung und Integration des projektrelevanten Know Hows verantwortlich ist. Die Integration der Stakeholder ist wichtig, um deren Wissen zu berücksichtigen, Bewusstsein für die notwendigen Entwicklungen und die sich daraus ergebenden Fragen zu schaffen und eine Akzeptanz für die im Projekt erarbeiteten Erkenntnisse und Ergebnisse zu schaffen. Darüber hinaus ist es durch die Berücksichtigung der unterschiedlichen Ansichten der Stakeholder möglich, den Bearbeitungsprozess und damit die Projektergebnisse zu verbessern.

Zu Beginn des Projekts ist es notwendig, die aktuelle und erwartete Güterverkehrsnachfrage (Fahrzeugkilometer und Tonnenkilometer) basierend auf vorhandenen Statistiken und europäischen Prognosen (eine aktuelle Güterverkehrsprognose für Österreich ist in Bearbeitung, Ergebnissen stehen jedoch für das Projekt CLEARER noch nicht zur Verfügung) und unterschieden nach für die Aufgabenstellung relevanten Marktsegmenten darzustellen und zu analysieren. Dies ist die Basis für die Ermittlung der CO₂-Emissionen im Bestand und bis 2040. Außerdem werden in diesem Arbeitsschritt (AP3) relevante CO₂-Reduktionsziele (insbesondere das Regierungsprogramm, aber auch ergänzende Strategie und Ziele in Österreich und Europa) identifiziert und deren Bedeutung für den Güterverkehr dargelegt.

Basierend auf diesen Vorarbeiten werden im nächsten Arbeitsschritt zunächst die relevanten Technologien und deren Vor- und Nachteile skizziert. Aufbauend auf die bereits identifizierten Marktsegmente wird für jedes Marktsegment ein typischer UseCase identifiziert und im Detail beschrieben. Außerdem werden die Fahrleistung und den Energiebedarf beeinflussende ergänzende (organisatorische und technologische) Ansätze identifiziert und beschrieben. In diesem AP4 werden dann zwei Szenarien (**WEM – mit existierenden Maßnahmen, ZERO – CO₂-neutral bis 2040**) definiert und für diese beiden Szenarien erarbeitet, welche Technologien jeweils in den

Jahren 2030 und 2040 welchen Anteil an der dann zu erwartenden Fahrleistung je Marktsegment (und deren Use Cases) haben werden. Ergänzend dazu wird für die ergänzenden Ansätze abgeleitet, wie sich bei einer maximalen und einer teilweisen Umsetzung dieser Ansätze bis 2030 bzw. 2040 die Fahrleistung und damit die CO₂-Emission bzw. der Energiebedarf je Marktsegment zusätzlich verändern könnten.

Um die Effekte einer technologischen Umstellung im Straßengüterverkehr bestmöglich zu isolieren, wurden weder bei der Entwicklung des ZERO-Szenarios noch bei der Ableitung der Szenarien zu den ergänzenden Ansätzen Veränderungen von politischen Maßnahmen (Pricing, Verbote u.ä.) simuliert. Entsprechende notwendige politische Rahmenbedingungen und deren verkehrliche Wirkung (wie z.B. eine Modal Split Veränderung durch Verbote oder deutliche Pricing-Akzente) sind daher nicht abgebildet. Dies ist Aufgabe von Verkehrsmodellierungen.

Für die beiden entwickelten Szenarien werden die zu erwartenden Technologie- und Infrastrukturkosten ermittelt und für das ZERO-Szenario wird mittels Stakeholder-gestütztem Backcasting-Ansatz dargestellt, welche Maßnahmen aus Sicht der Stakeholder zu welchem Zeitpunkt notwendig sein werden, um die ZERO2040-Technologie-UseCase-Matrix und damit auch das im Regierungsprogramm festgelegte Ziel eines CO₂-neutralen Güterverkehrssektors zu erreichen.

Ausgehend von den im Projekt erarbeiteten Erkenntnissen und Ergebnissen werden im AP6 die zu erwartenden makroökonomischen Effekte mittels eines CGE-Modells (a computable general equilibrium model) und die Kostenveränderungen (CAPEX und OPEX) für die User dargestellt. Darüber hinaus werden die ökologischen Effekte (Änderungen der CO₂-Emissionen und des Primärenergieverbrauchs) ermittelt und dargestellt und aufgezeigt, welche technologischen Änderungen notwendig sind, um bis 2030 respektive 2040 die skizzierten Technologieanteile im ZERO-Szenario auch erreichen zu können.

Außerdem wird insbesondere aus Sicht der NutzerInnen (vor allem der Transportwirtschaft) evaluiert, welche Umsetzungsbarrieren aus deren Sicht zu bewältigen sind und in welchen Bereichen dazu spezifische Anstrengungen notwendig sind.

Ausgehend von den im Projekt gewonnenen Erkenntnissen werden zuletzt relevante Forschungsfragen, die sich hinsichtlich der Technologien und der ergänzenden organisatorischen und technologischen Ansätze ergeben, um ZERO-Emission zu erreichen und die Potenziale der ergänzenden Ansätze zur Fahrleistungsreduktion im Straßengüterverkehr bestmöglich ausschöpfen zu können (und so den Endenergiebedarf bis 2040 so gering wie möglich zu halten), abgeleitet.

3.3 Stakeholderintegration

Divergierende Ansichten und unterschiedliche Sichtweisen bereichern die Diskussion, führen zu Gedankenaustausch und verbessern nicht nur die Ergebnisse eines Projekts, sondern schaffen auch Akzeptanz auf einer breiteren Ebene. Die Einbindung von Stakeholdern sorgt auch dafür, dass über das Projektteam hinaus Bewusstsein für die Forschungsfrage entsteht. In zwei runden Tischen sollten daher Ansätze und Ergebnisse diskutiert werden.

Der erste „Round Table“ war im Rahmen des Arbeitspakets 4 „Technologie-UseCase-Matrix“ geplant. Neben einem allgemeinen aktuellen Stimmungsbild zu Herausforderungen und Hemmnissen bei der Senkung der Treibhausgas-Emissionen im Güterverkehr, sollte auf Chancen und Anwendungsbereiche alternativer Antriebstechnologien und Energieträger Bezug genommen und

eine Einschätzung auf die Umsetzbarkeit von Veränderungen auf der Zeitachse getroffen werden. Der zweite „Round Table“, eingebettet in das Arbeitspaket 6 „Effects / Evaluation / Practicability“, sollte im Projekt bis dahin gewonnene Erkenntnisse diskutieren sowie mithilfe der Backcasting-Methode einen Transitionspfad Güterverkehr-Straße 2021-2040 mit entsprechenden Meilensteinen herleiten.

Aufgrund des Auftretens der Corona Pandemie musste vom ursprünglich geplanten Format des persönlichen Austauschs Abstand genommen werden. Anstelle der ersten Runde der Stakeholder Integration in Form eines ersten Workshops erfolgte daher eine Befragung mittels Fragebogen (siehe Anhang). Sieben Stakeholder nahmen an der Befragung teil, 5 davon auf Basis eines telefonischen Interviews. Zwei Interviewpartner beantworteten den Fragebogen schriftlich. Während bei manchen Themen, wie der Zuordnung der Antriebstechnologien zu den Fahrzeugklassen, klare Schwerpunkte abgeleitet werden konnten, waren bei anderen die Einschätzungen dabei teilweise stark unterschiedlich, wie die nachfolgende Auswertung zeigt:

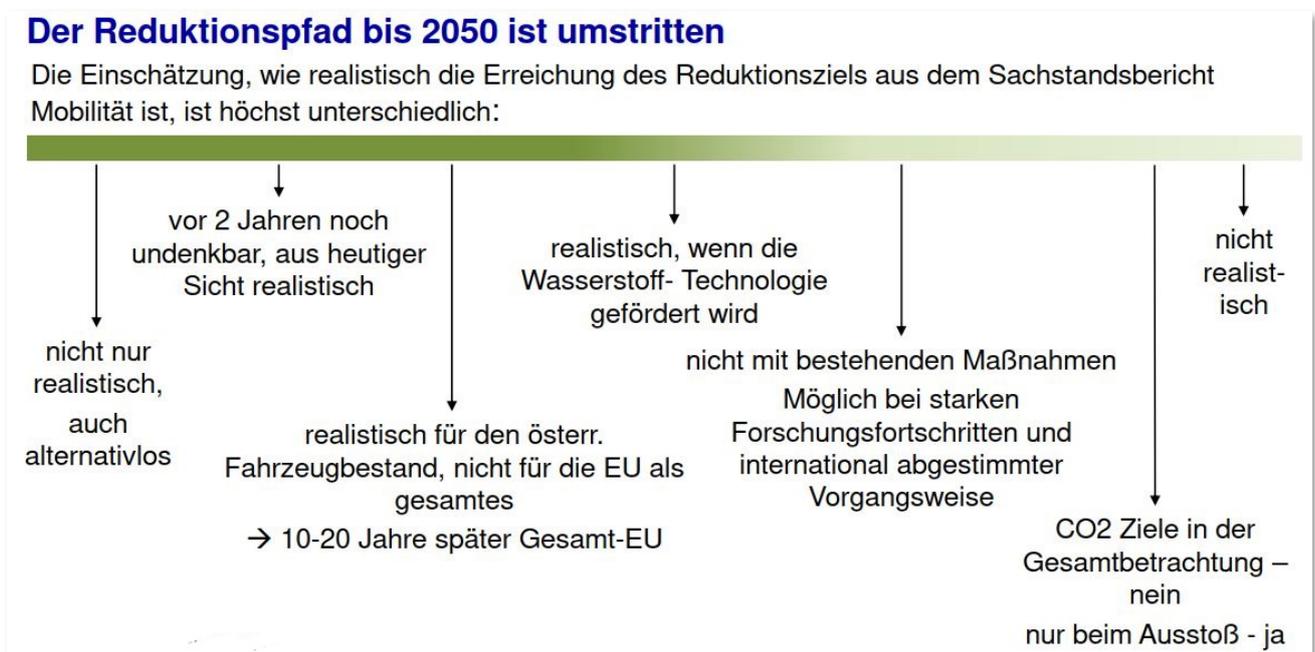


Abbildung 5: Einschätzung der Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung des THG-Reduktionspfades [2]

Alle Aussagen aus den Interviews flossen bei der weiteren Bearbeitung in das Projekt ein.

Der zweite Round Table wurde mittels Online-Meetings abgehalten. Neun externe Teilnehmer, 3 davon auch Teilnehmer der ersten Runde, tauschten sich mit dem Projektteam zu den Zwischenergebnissen aus und erarbeiteten im ersten Teil des Nachmittags Annahmen zu den Anteilen unterschiedlicher Technologien in unterschiedlichen Marktsegmenten. Die Ergebnisse daraus wurden in die Technologie-UseCase-Matrix integriert.

Im zweiten Teil dieses Round Tables, wurden mittels Backcasting-Methode Maßnahmen zur Erreichung des Ziels eines klimaneutralen Güterverkehrs im Jahr 2040 erarbeitet und dargestellt. Die Ergebnisse daraus werden in Kapitel 6.2 vorgestellt.

4 Mengen und Zielszenarien

4.1 Verkehrsleistungen

Informationen zur Straßengüterverkehrsleistung (Fahrleistung in Lkw-km und Transportleistung in Tonnen-km) für den Bestand sind der Ausgangspunkt für die Ableitung zukünftiger Verkehrsleistungen für die Jahre 2030 und 2040 und – in Abhängigkeit vom Technologie- und Treibstoffeinsatz – für die CO₂-Emissionen im Bestand und die Jahre 2030 und 2040.

Die Statistik Austria veröffentlicht jährlich die Straßenverkehrsleistungen

- der österreichischen Unternehmungen (basierend auf den jährlichen Stichprobenerhebungen und einer darauf aufbauenden Hochrechnung auf Gesamtösterreich) sowie
- die von allen Unternehmen auf Österreichs Straßen erbracht werden (basierend auf dem EUROSTAT-Austauschdatensatz, der die Daten aller Stichprobenerhebungen in Europa zusammenführt).

Beide Datensätze werden über die kostenpflichtige Datenplattform der Statistik Austria (Statcube) zur Verfügung gestellt und es können unterschiedlichen Abfragen nach inhaltlichen Merkmalen durchgeführt werden.

Da im Projekt CLEARER Aussagen für ganz Österreich erarbeitet werden, sind auch die Straßenverkehrsleistungen für ganz Österreich darzustellen. Eine räumliche Disaggregation (nach Bundesländern oder feiner) ist daher nicht notwendig.

Um jedoch den zukünftigen Technologie- und Treibstoffmix mit dem Ziel, 2040 den Straßengüterverkehr CO₂-neutral abwickeln zu können, abzuleiten, ist es wichtig, den Straßengüterverkehrsmarkt nach unterschiedlichen inhaltlichen Kriterien, die einen Einfluss auf die Auswahl von Technologien und Treibstoffart haben zu analysieren. Potenziell wichtige Kriterien diesbezüglich sind Fahrtweite, Fahrzeugtyp, höchstzulässiges Gesamtgewicht der Fahrzeuge, Gewicht der beförderten Güter, Herkunft der Lkw (getrennt nach Inland und Ausland), Verkehrsart (Inlandsverkehr, grenzüberschreitenden Quell- und Zielverkehr, Transitverkehr) und gegebenenfalls auch die organisatorische Umsetzung des Verkehrs (Fuhrgewerbe oder Werkverkehr). Die Kreuzung all dieser Eigenschaften, die eine große Anzahl von sehr kleinen Marktsegmenten ergibt, ist jedoch durch direkte Abfrage der beiden oben angeführten Datensätze über Statcube nicht möglich. Eine gleichsam möglichst feine Analyse der Straßengüterverkehrsmarktsegmente ist jedoch eine wichtige Basis, um Marktsegmente zu definieren, die hinsichtlich Technologienutzung möglichst homogen sind.

Daher müssen zunächst entsprechende Datenabfragen nach möglichst feiner inhaltlicher Disaggregation durchgeführt werden, um in einem weiteren Schritt mittels Anteilsübertragungen und Äquivalenzverfahren eine entsprechende theoretische, aber möglichst realitätsnahe Aufteilung nach (zunächst) sehr feinen Marktsegmenten zu erhalten.

Folgende Abfragen bezüglich der Straßenverkehrsleistungs- und -aufkommensdaten der österreichischen Unternehmen sind möglich und wurden durchgeführt (wobei das „x“ für die jeweilige Kreuzung der Merkmale steht):

- Fuhrgewerbe/Werkverkehr x Verkehrsart x Entfernungsklasse
- Fuhrgewerbe/Werkverkehr x Verkehrsart x NST2007 (Gütergruppen)
- Höchstzulässiges Gesamtgewicht (hzG - 5 Klassen)

Diese inhaltlichen Informationen liegen für die Ausprägungen „Anzahl Transporteinheiten“, „Tonnen“, „Tonnenkilometer gesamt“, „Tonnenkilometer Inland“, „Tonnenkilometer Ausland“ vor.

Folgende Abfragen bezüglich der Straßenverkehrsleistungs- und -aufkommensdaten aller Unternehmen auf Österreichs Straßen sind möglich und wurden durchgeführt (wobei das „x“ für die jeweilige Kreuzung der Merkmale steht):

- Fahrzeugtypen x Verkehrsart
- Herkunft x Verkehrsart

Diese inhaltlichen Informationen liegen für die Ausprägungen „Anzahl beladene Fahrten“, „Tonnen“ und „Tonnenkilometer Inland“ vor.

Ausgehend von den Straßenverkehrsleistungs- und -aufkommensdaten aller Unternehmen auf Österreichs Straßen, die den gesamten Straßengüterverkehr eines Jahres in Österreich abbilden, wurde mittels Anteilsübertragungen und Äquivalenzverfahren die zur Verfügung stehenden Verknüpfungsinformationen genutzt, um einen Datensatz aufzubauen, der folgende inhaltlichen Ausprägungen (jeweils miteinander gekreuzt) beinhaltet:

- Fahrzeugherkunft (Inland / Ausland)
- Entfernungsklassen der im Inland zurückgelegten Entfernung (0 bis 50 Kilometer, 50 bis 100 Kilometer, 100 bis 200 Kilometer, 200 bis 350 Kilometer, > 350 Kilometer)
- hzG-Klasse (bis 6 Tonnen, 6 bis 10 Tonnen, 10 bis 20 Tonnen, 20 bis 30 Tonnen, über 30 Tonnen)
- Verkehrsart (Inlandsverkehr, grenzüberschreitenden Quell- und Zielverkehr, Transitverkehr)
- Güterart (NST2007)
- Organisationsart (Fuhrgewerbe / Werkverkehr)

Somit ergeben sich insgesamt Informationen zur Anzahl der beladenen Fahrten, den beförderten Tonnen und den zurückgelegten Tonnenkilometern für 8.000 Marktsegmente.

Eine Darstellung der ermittelten Werte für alle 8.000 Segmente wird nicht vorgenommen. Im Kapitel 4.2 werden diese sehr feinen Marktsegmente zu sinnvollen aggregierten Marktsegmenten zusammengefasst. Diese Marktsegmente sind die Basis für die Ableitung der Technologienutzung (in Abhängigkeit der Marktsegmente).

Die angeführten Werte beinhalten jedoch nicht die Fahrten, die von Kurier-, Express- und Paket-Dienstleistern (KEP) im Verteilverkehr mit Klein-Lkw (unter 3,5 t hzG) durchgeführt werden. Diese auch zum Güterverkehr zählenden Verkehre und deren Verkehrsmerkmale wurden separat ermittelt. Ausgehend von den in Österreich zugestellten Paketen (2018: 227,7 Mio. Pakete [3]), der durchschnittlichen Paketanzahl pro Verteilfahrzeug (150 Pakete [4]) und der durchschnittlichen Tourlänge (ca. 64 km [4]) sowie dem durchschnittlichen Gewicht pro Paket (6 kg [4]) wurden die in Österreich im Verteilverkehr durch KEP-Dienstleister abgewickelten Fahrten (beladen), Fahrzeugkilometer und Tonnenkilometer bestimmt (siehe Kapitel 4.2).

Sämtliche Daten werden in dieser Form für das Bestandsjahr 2018 (das aktuelle Jahr zum Zeitpunkt der Datenanalysen für CLEARER, für das im Statcube der Statistik Austria entsprechende Daten abrufbar waren) aufbereitet. Darüber hinaus werden diese Daten für die Jahre 2009 und 2014 in gleicher Form analysiert und aufbereitet. Dies ermöglicht es,

- eine Entwicklung der Segmente über die Zeit darzustellen - dieser Input ist für die Prognose Verkehrsdaten bis 2040 von Relevanz (siehe Kapitel 4.3) – und
- geeignete Inputdaten für das Wirtschaftsmodell (siehe Kapitel 7.1.1), das im Bestand mit Daten aus dem Jahr 2014 arbeitet, bereitzustellen.

4.2 Ableitung von Marktsegmenten

Ausgehend von den im Kapitel 4.1 aufbereiteten Straßenverkehrsdaten (Fahrleistung, Transportleistung) unterschieden nach 8.000 sehr feingliedrigen Straßengüterverkehrssegmenten, sind nun geeignete aggregierte Marktsegmente abzuleiten, die hinsichtlich Technologie- und Treibstoffnutzung möglichst homogen sind. Dazu ist die Kenntnis über die relevanten Technologien und Treibstoffe, die zur Erreichung eines CO₂-neutralen Straßengüterverkehrs in den Jahren 2030 und 2040 zur Verfügung stehen notwendig. Außerdem sind die Eigenschaften bzw. Voraussetzungen (mögliche Fahrtweiten in Abhängigkeit ergänzender Rahmenbedingungen wie Gewicht, Beeinflussbarkeit durch Vorgaben und Entwicklungen in Österreich, Versorgungsmöglichkeiten etc.) die diese mitbringen und erfordern, aufzubereiten. Dieses Wissen bezüglich der Technologien und Treibstoffe ist in Kapitel 5.1 dargelegt und wurde für die Marktsegmentierung genutzt.

Um aus den 8.000 Straßengüterverkehrssegmenten eine praktikable und für die weiterführenden Analysen und die Ableitung von Technologie- und Treibstoffanteil (für die Jahre 2030 und 2040) nutzbare Marktsegmentierung ableiten zu können, wurde eine schrittweise Aggregation der vorliegenden Segmente vorgenommen.

Eine Unterteilung der Segmente nach Werkverkehr und Fuhrgewerbe wird nicht vorgenommen, da dieses Kriterium keinen direkten Einfluss auf die Auswahl von CO₂-neutralen Technologien und Treibstoffen hat. In diesem Kriterium können organisatorische Elemente, wie sie zum Teil in den ergänzenden Ansätzen, die in CLEARER neben den Technologien und den Treibstoffen ebenfalls mitbetrachtet werden (siehe Kapitel 5.2), eine Rolle spielen. Dies rechtfertigt jedoch keine Aufteilung der Marktsegmente nach Fuhrgewerbe und Werkverkehr. Mit dieser Vereinfachung kann die Anzahl der Segmente auf 4.000 reduziert werden.

Die Analyse der Fahrleistung der verbleibenden 4.000 Segmente zeigt, dass eine Unterteilung von grenzüberschreitenden Quell- und Zielverkehren nach Fahrzeugtypen nicht erforderlich ist, da der Hauptanteil mit Fahrzeugen über 3,5 t hzG durchgeführt wird. Darüber hinaus zeigt sich, dass der Anteil an Kurz- und Mittelstreckenverkehr (gemessen an der Gesamtstrecke und nicht nur der Strecke, die im Inland zurückgelegt wird) an den grenzüberschreitenden Quell- und Zielverkehren sehr gering ist. Relevant in diesen beiden Verkehrsarten ist jedoch die Unterscheidung nach der Herkunft der Fahrzeuge, da der Einfluss von bestimmten in Österreich getroffenen Maßnahmen auf die Fahrzeuge aus Österreich, jedoch nicht auf jene aus dem Ausland wirkt.

Eine Unterscheidung der grenzüberschreitenden Quell- und Zielverkehre nach Quellverkehr und Zielverkehr ist nicht notwendig, da in beiden Fällen größere Lkw und Entfernungen über 200 km dominieren. Für den Transitverkehr gilt grundsätzlich die gleiche Argumentation wie für die grenzüberschreitenden Zielverkehre. Ein wesentlicher Unterschied ist jedoch, dass ausländische Fahrzeuge, die Österreich transitieren, jene Fahrzeuge sind, die mit in Österreich gesetzten Maßnahme am schwierigsten zu erreichen sind (auch im Vergleich zu ausländischen Fahrzeugen, im grenzüberschreitenden Quell- und Zielverkehr, da in diesem Fall zumindest Anfangs- oder Endpunkt der Fahrt in Österreich liegen und damit zumindest ein Anknüpfungspunkt für Maßnahmen

vorliegt). Daher, und weil sowohl die ausländische Quell- und Zielfahrleistung als auch ausländische Transitfahrleistung einen sehr hohen Anteil an der Gesamtfahrleistung ausmachen und damit beide eine sehr großes Marktsegment darstellen, ist eine Unterteilung in diesem Bereich sinnvoll.

Im Gegensatz dazu ist die Fahrleistung der Fahrzeuge aus Österreich im grenzüberschreitenden Verkehr insgesamt sehr gering. Da Fahrten im Quell-, Ziel- und Transitverkehr der österreichischen Fahrzeuge hinsichtlich ihrer technologierelevanten Struktur (in Österreich gemeldet, überwiegend Fahrzeuge über 30 t hzG, überwiegend Fahrten über 200 km Gesamtfahrtweite) sehr ähnlich sind, werden diese Segmente zu einem Marktsegment zusammengefasst.

Bei Fahrten mit Fahrtweiten über 200 km spielen nur Technologien eine Rolle, die bei entsprechenden Fahrtweiten eine Fahrt weitestgehend ohne „auftanken“ während der Hin- und Rückfahrt ermöglichen. Die Art der Güter (und deren Gewicht) spielt in diesem Fall keine Rolle mehr. Daher wird bei sämtlichen grenzüberschreitenden Fahrten keine Unterteilung nach Gütergruppen vorgenommen.

Somit wird für die grenzüberschreitenden Fahrten (rund 50 % der im Inland zurückgelegten beladenen Fahrzeugkilometer) folgende Marktsegmentierung für die weiteren Analysen hinsichtlich Technologienutzung gewählt:

- Alle grenzüberschreitenden Fahrten (Quell-, Ziel- und Transitverkehr) der Fahrzeuge aus Österreich (überwiegend Fahrten über 200 km Gesamtfahrtweite mit Fahrzeugen über 30 t hzG)
- Grenzüberschreitender Quell- und Zielverkehr der Fahrzeuge aus dem Ausland (ebenfalls überwiegend Fahrten über 200 km Gesamtfahrtweite mit Fahrzeugen über 30 t hzG)
- Transitverkehr der Fahrzeuge aus dem Ausland (ebenfalls überwiegend Fahrten über 200 km Gesamtfahrtweite mit Fahrzeugen über 30 t hzG)

Knapp 50 % der im Inland zurückgelegten beladenen Fahrzeugkilometer haben Quelle und Ziel im Inland. Diese Fahrleistung ist hinsichtlich der genutzten Fahrzeuge und der zurückgelegten Entfernungen wesentlich inhomogener als die Fahrleistung der grenzüberschreitenden Fahrten.

Für das wichtigste Unterscheidungsmerkmal hinsichtlich der Technologienutzung – der Fahrtweite – unterscheiden die vorliegenden Daten (siehe Kapitel 4.1) nach den Fahrtweitenklassen 0 bis 50 Kilometer, 50 bis 100 Kilometer, 100 bis 200 Kilometer, 200 bis 350 Kilometer, über 350 Kilometer. Basierend auf dem aktuellen Stand der möglichen Fahrtweiten unterschiedlicher Technologien ist eine Unterscheidung von Fahrtweiten unter 100 km nicht notwendig. Auch Fahrtweiten über 200 km können für alle Fahrzeugklassen (nach hzG) technologiespezifisch ähnlich behandelt werden (näheres dazu – siehe Ausführungen in Kapitel 5). Demnach erfolgt für den Inlandsverkehr eine Marktsegmentierung in Fahrten bis 100 km, von 100 bis 200 km und über 200 km.

Ein weiteres wichtiges Unterscheidungsmerkmal ist die Fahrzeugklasse (unterschieden nach dem höchstzulässigen Gesamtgewicht (hzG)). Für dieses Merkmal unterscheiden die vorliegenden Daten (siehe Kapitel 4.1) nach den hzG-Klassen bis 6 Tonnen, 6 bis 10 Tonnen, 10 bis 20 Tonnen, 20 bis 30 Tonnen und über 30 Tonnen. Das Gewicht eines Fahrzeuges reduziert bei bestimmten Technologien die Fahrtweite. Dementsprechend ist es wichtig, bezüglich dieses Merkmals möglichst detailliert zu bleiben – dies gilt insbesondere für Fahrtweiten unter 100 km. In dieser Fahrtweitenklasse wirkt sich ein steigendes Gewicht stärker auf die Auswahl der Technologie aus (siehe nähere Ausführungen dazu im Kapitel 4.1). Daher erfolgt im Fahrtweitensegment bis zu 100 km eine relativ feine Unterscheidung nach der Fahrzeuggröße. Einzig die aus den Daten mögliche Unterscheidung

nach Fahrzeugen bis zu 6 t hzG und von 6 bis 10 t hzG wird zusammengeführt. Bei den Fahrtweitenklassen ab 100 km reicht eine Unterscheidung der Fahrzeuggröße bis und über 30 Tonnen hzG, da ab dieser Fahrtweite die Einschränkung der Fahrtweite bereits der wichtigere bestimmende Faktor bei der Technologieauswahl ist.

Außerdem hat bei kürzeren Fahrten und bei Fahrten mit Lkw unter 30 t hzG auch das Ladungsgewicht einen Einfluss auf mögliche Reichweiten bestimmter Technologien. Daher ist in diesen Fällen auch das Ladungsgewicht mitzubetrachten. Konkret macht eine solche Unterscheidung nach der Art der beladenen Güter bei Fahrtweiten unter 200 km Sinn. Über 200 km gilt auch bei Inlandsfahrten (wie bei grenzüberschreitenden Fahrten), dass nur Technologien eine Rolle spielen, die bei entsprechenden Fahrtweiten eine Fahrt weitestgehend ohne „auftanken“ während der Hin- und Rückfahrt ermöglichen. Die Art der Güter (und deren Gewicht) spielt in diesem Fall keine Rolle mehr.

Das Gewicht der Güter kann über die Güterart (unterschieden nach NST2007) festgemacht werden. Eine Unterteilung der Inlandsverkehre unter 200 km nach 20 NST-Gruppen würde jedoch eine zu große Anzahl an Marktsegmenten ergeben. Es wurde daher eine Analyse der durchschnittlichen Ladungsgewichte je NST-Gruppe im Inlandsverkehr durchgeführt und die NST-Gruppen so in „schwere“, „mittlere“ und „leichte“ NST-Gruppen eingeteilt (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Durchschnittliche Ladungsgewichte nach NST-Gruppen und Klassifizierung für Marktsegmentierung

	Gütergruppe (NST2007)	durchschnittliches Ladungsgewicht (t)	Gewichtsklasse
1	Land- und Forstwirtschaft; Fischerei	12,6	mittel
2	Kohle; rohes Erdöl und Erdgas	6,6	leicht
3	Steine, Erden, Bergbauerzeugnisse; Torf	18,0	schwer
4	Nahrungs- und Genussmittel	9,6	mittel
5	Textilien und Bekleidung; Leder/-waren	4,3	leicht
6	Holzwaren, Papier/-waren; Datenträger	13,8	schwer
7	Kokerei- und Mineralölerzeugnisse	14,8	schwer
8	Chem. Erzeugnisse; Spalt- und Brutstoffe	13,9	schwer
9	Sonst. Mineralerzeugnisse	15,7	schwer
10	Metalle und Halbzeug; Metallerzeugnisse	9,7	mittel
11	Maschinen, Ausrüstungen, Geräte a.n.g.	6,9	leicht
12	Fahrzeuge	8,2	leicht
13	Möbel, Schmuck und sonst. Erzeugnisse	10,1	mittel
14	Sekundärrohstoffe; Abfälle	9,6	mittel
15	Post, Pakete	8,4	leicht
16	Geräte/Material für die Güterbeförderung	8,1	leicht
17	Umzugsgut/nichtmarktbestimmte Güter	8,1	leicht
18	Sammelgut	8,1	leicht
19	Nicht identifizierbare Güter	8,1	leicht
20	Sonst. Güter a.n.g.	-	-

Letztendlich wurden die beiden Klassen leicht und mittel zu einer Klasse zusammengeführt, um die Gesamtzahl der Marktsegmente entsprechend zu reduzieren.

Der Anteil der ausländischen Fahrzeuge am Inlandstransport (Kabotage) ist sehr gering. Eine Unterscheidung nach Herkunft des Lkw wird daher nicht vorgenommen. Dies würde Marktsegmente mit sehr geringer Fahrleistung ergeben.

Neben den obigen Ausführungen, die für die Lkw über 3,5 t hzG gelten, sind noch die Lkw, die im Kurier-, Express- und Paketverteilverkehr eingesetzt werden und unter 3,5 t hzG haben, als eigenes Marktsegment zu berücksichtigen.

Damit ergeben sich für den Inlandsverkehr und den grenzüberschreitenden folgende Marktsegmente:

1. KEP-Verteilverkehr mit Klein-Lkw unter 3,5 t hzG
2. Kurzstrecke (bis 100 km) mit Lkw bis 10 t hzG (ohne weitere Unterscheidung)
3. Kurzstrecke (bis 100 km) mit Lkw zwischen 10 und 20 t hzG (ohne weitere Unterscheidung)
4. Kurzstrecke (bis 100 km) mit Lkw zwischen 20 und 30 t hzG (ohne weitere Unterscheidung)

5. Kurzstrecke (bis 100 km) mit Lkw über 30 t hzG mit leichten und mittelschweren Gütern (NST 1,2,4,5,10-20)
6. Kurzstrecke (bis 100 km) mit Lkw über 30 t hzG mit schweren Gütern (NST 3,6,7,8,9)
7. Mittelstrecke (100 bis 200 km) mit Lkw bis 30 t mit leichten und mittelschweren Gütern (NST 1,2,4,5,10-20)
8. Mittelstrecke (100 bis 200 km) mit Lkw bis 30 t mit schweren Gütern (NST 3,6,7,8,9)
9. Mittelstrecke (100 bis 200 km) mit Lkw über 30 t mit leichten und mittelschweren Gütern (NST 1,2,4,5,10-20)
10. Mittelstrecke (100 bis 200 km) mit Lkw über 30 t mit schweren Gütern (NST 3,6,7,8,9)
11. Langstrecke (über 200 km) mit Lkw bis 30 t (ohne weitere Unterscheidung)
12. Langstrecke (über 200 km) mit Lkw über 30 t (ohne weitere Unterscheidung)
13. Alle grenzüberschreitenden Fahrten (Quell-, Ziel- und Transitverkehr) der Fahrzeuge aus Österreich (überwiegend Fahrten über 200 km Gesamtfahrtweite mit Fahrzeugen über 30 t hzG)
14. Grenzüberschreitender Quell- und Zielverkehr der Fahrzeuge aus dem Ausland (ebenfalls überwiegend Fahrten über 200 km Gesamtfahrtweite mit Fahrzeugen über 30 t hzG)
15. Transitverkehr der Fahrzeuge aus dem Ausland (ebenfalls überwiegend Fahrten über 200 km Gesamtfahrtweite mit Fahrzeugen über 30 t hzG)

Für die in den Kapiteln abgeleiteten 15 Marktsegmente werden nun die Verkehrsleistungsdaten (Anzahl beladene Fahrten, Fahrzeugkilometer im Inland, Tonnen, Tonnenkilometer im Inland), durch entsprechende Aggregation der 8.000 detaillierten Straßengüterverkehrssegmente ermittelt.

Relevant für die weiteren Analysen und insbesondere für die Ermittlung des CO₂-Ausstoßes und des Energiebedarfes sind darüber hinaus die gesamten Fahrzeugkilometer (inklusive die durch Leerfahrten generierten Kilometer). Diese werden im Datensatz Statcube, über die Verkehrsleistung auf Österreichs Straßen durch alle Lkw (aus dem In- und dem Ausland), nicht ausgewiesen (in diesem Datensatz sind – wie im Kapitel 4.1 dargelegt – nur die beladenen Fahrten, die Tonnen und die Tonnenkilometer im Inland enthalten). Die Fahrleistung der Leerfahrten muss daher mit Hilfe anderer Daten und Informationen ergänzt werden. Dies erfolgt mittels Informationen zur gesamten Lkw-Fahrleistung auf dem ASFINAG-Netz (leer und beladen in Summe) und in [5] berichteten Anteile der Fahrleistung auf dem ASFINAG-Netz an der gesamten Lkw-Fahrleistung in Österreich. Diese Informationen wurden an das Untersuchungsjahr angepasst und der sich daraus ergebende Lehfahrtenanteil (ca. 30 % im Jahr 2018) mit anderen Datenquellen [6] [7] plausibilisiert.

Damit ergeben sich für die Jahre 2009, 2014 und 2018 folgende relevante Verkehrsleistungs-
informationen (im Inland erbrachte Lkw-Kilometer und Tonnenkilometer), aufgeschlüsselt nach den
15 Marktsegmenten:

Tabelle 2: Im Inland erbrachte Lkw-Kilometer und Tonnenkilometer 2009, 2014 und 2018 nach Marktsegmenten

Fahrleistung und Transportleistung des Straßengüterverkehrs in Österreich nach Marktsegmenten							
		2009		2014		2018	
		Fahrleistung	Transportleistung	Fahrleistung	Transportleistung	Fahrleistung	Transportleistung
		Mio. Fzg-km	Mrd. tkm	Mio. Fzg-km	Mrd. tkm	Mio. Fzg-km	Mrd. tkm
1	KEP-Verteilverkehr mit Klein-Lkw unter 3,5 t hzG	57	0,04	65	0,05	97	0,07
2	Kurzstrecke (bis 100km) mit Lkw bis 10 t hzG	46	0,05	38	0,04	36	0,04
3	Kurzstrecke (bis 100km) mit Lkw zwischen 10 und 20 t hzG	207	0,72	211	0,69	252	0,89
4	Kurzstrecke (bis 100km) mit Lkw zwischen 20 und 30 t hzG	182	1,30	201	1,37	304	2,19
5	Kurzstrecke (bis 100km) mit Lkw über 30 t hzG mit leichten und mittelschweren Gütern (NST 1,2,4,5,10-20)	218	2,16	269	2,64	276	3,02
6	Kurzstrecke (bis 100km) mit Lkw über 30 t hzG mit schweren Gütern (NST 3,6,7,8,9)	125	2,01	131	2,27	134	2,65
7	Mittelstrecke (100 bis 200km) mit Lkw bis 30 t mit leichten und mittelschweren Gütern (NST 1,2,4,5,10-20)	138	0,58	150	0,60	175	0,79
8	Mittelstrecke (100 bis 200km) mit Lkw bis 30 t mit schweren Gütern (NST 3,6,7,8,9)	83	0,54	87	0,52	110	0,70
9	Mittelstrecke (100 bis 200km) mit Lkw über 30 t mit leichten und mittelschweren Gütern (NST 1,2,4,5,10-20)	78	1,17	109	1,41	113	1,43
10	Mittelstrecke (100 bis 200km) mit Lkw über 30 t mit schweren Gütern (NST 3,6,7,8,9)	63	1,09	73	1,23	71	1,26
11	Langstrecke (über 200km) mit Lkw bis 30 t	211	1,21	252	1,24	339	1,70
12	Langstrecke (über 200km) mit Lkw über 30 t	161	2,44	212	2,91	219	3,09
13	Grenzüberschreitenden Fahrten (Quell-, Ziel- und Transitverkehr) der Fahrzeuge aus Österreich	241	2,84	189	1,96	128	1,37
14	Grenzüberschreitender Quell- und Zielverkehr der Fahrzeuge aus dem Ausland	591	6,17	684	7,91	1.176	14,28
15	Transitverkehr der Fahrzeuge aus dem Ausland	964	9,87	1.079	11,19	1.606	17,88

Aus den Daten lassen sich darüber hinaus je Marktsegment folgende wichtige Informationen für die weiteren Analysen hinsichtlich der zukünftigen Technologie- und Treibstoffnutzung und der Definition von geeigneten Use Cases (Referenztransporte) je Marktsegment ableiten:

- Durchschnittliches Ladungsgewicht je beladener Fahrt
- Durchschnittliche Fahrtweite je Fahrt

4.3 Prognose der Verkehrsleistungen nach Marktsegmenten

Da zum Zeitpunkt der Analysen der Verkehrsleistungsinformationen im Bestand und für die Jahre 2030 bis 2040 die Ergebnisse der vom BMK beauftragten Arbeiten zum Verkehrsmodell Österreich und der darauf aufbauenden Verkehrsprognose Österreich 2040 (VMÖ/VPÖ2040+) noch nicht vorlagen, musste eine eigene Verkehrsprognose entwickelt werden. Diese Prognose musste die Jahre 2030 und 2040 unterschieden nach den 15 Marktsegmenten abdecken. Da die Ermittlung einer Verkehrsprognose nicht im Fokus von CLEARER steht, musste eine entsprechende Prognose möglichst basierend auf vorhandenen Einschätzungen zur Entwicklung umgesetzt werden. Eine Unterscheidung nach den Marktsegmenten war jedoch eine wichtige Voraussetzung, da die Marktsegmente unterschiedliche Technologien nutzen werden und daher eine Abschätzung der zukünftigen Verkehrsleistung je Marktsegment unabdingbar ist. Weder möglich noch gefordert war die Berücksichtigung der Effekte von Maßnahmen, die das Erreichen des ZERO-Emission-Szenarios erst ermöglichen.

Basis für die für CLEARER entwickelte Verkehrsprognose sind möglichst rezente Einschätzungen zur Entwicklung des Güterverkehrs bis 2040 für Europa (da österreichspezifische Einschätzungen, wie angeführt, (noch) nicht vorliegen). Eine Recherche dazu hat folgende Einschätzungen zur Entwicklung des Güterverkehrs ergeben ([8] [9] [10]):

Tabelle 3: Güterverkehrsprognosen für Europa

Güterverkehrsprognosen für Europa							
Quellen	Jahr der Studie	Einheit	Verkehrsträger	Raum	Prognosezeitraum		Veränderung Ø p a
					von	bis	
Rail freight forward (2019): 30 by 2030	2019	tkm	Straße + Schiene	EU	2018	2030	2,2%
Capacity for rail (2013): D21.2	2013	tkm	Straße + Schiene	EU	2010	2050	1,2%
Capros et al (2016): EU Reference Scenario 2016 Energy, transport and GHG emissions, Trends to 2050	2016	tkm	Straße	EU	2020	2030	1,5%
	2016	tkm	Straße	EU	2030	2050	0,7%
	2016	tkm	Straße	AT	2020	2030	1,3%
	2016	tkm	Straße	AT	2030	2050	0,8%

Aus diesen gar nicht so unterschiedlichen Einschätzungen wurde eine durchschnittliche jährliche Steigerung der gesamten Straßengüterverkehrsfahrleistung in Österreich (Summe über alle Marktsegmente) in der Höhe von 1,7 % zwischen 2018 und 2030 sowie in der Höhe von 1 % zwischen 2030 und 2040 abgeleitet. Die aktuelle Situation durch COVID19 ist in diesen Prognosewerten nicht berücksichtigt. Aufgrund der unklaren Situation und unterschiedlicher möglicher Entwicklungen bis zur Normalisierung der Wirtschaft erfolgt keine Berücksichtigung von COVID19 Effekten. Ähnlich wie bei der Finanz- und Wirtschaftskrise 2009/2010 ist damit zu rechnen, dass eine robuste Abschätzung der Effekte dieser rezessiven Phase auf bestehende Langfrist-Prognosen erst mit einer Verzögerung von mehreren Jahren eintreten werden.

Um die unterschiedliche Entwicklung der Marktsegmente berücksichtigen zu können, wurde eine Analyse der Entwicklung je Marktsegment zwischen 2009 und 2018 vorgenommen. Die unterschiedlichen durchschnittlich jährlichen Entwicklungen je Marktsegment wurden bis 2030 und 2040 fortgeschrieben. Die daraus folgende Summe über alle Marktsegmente wurde mit der oben angeführten

Einschätzung zur Entwicklung des gesamten Straßengüterverkehrs abgeglichen. Die Ergebnisse auf Ebene der Marktsegmente wurden dann um die festgestellte Differenz dieses Vergleiches angepasst.

Mittels dieser Arbeitsschritte konnte folgende Prognose der relevanten Verkehrsleistungen für die Jahre 2030 und 2040 je Marktsegment ermittelt werden:

Tabelle 4: Prognose der Straßengüterverkehrsleistung in Österreich

		2030		2040		Veränderung			
		Fahrleistung	Transportleistung	Fahrleistung	Transportleistung	2018 - 2030		2030 - 2040	
		Mio. Fzg-km	Mrd. tkm	Mio. Fzg-km	Mrd. tkm	Fahrleistung % Ø p.a.	Transportleistung % Ø p.a.	Fahrleistung % Ø p.a.	Transportleistung % Ø p.a.
1	KEP-Verteilverkehr mit Klein-Lkw unter 3,5 t hzG	131	0,11	152	0,12	2,5%	3,0%	1,5%	1,7%
2	Kurzstrecke (bis 100km) mit Lkw bis 10 t hzG	34	0,04	33	0,04	-0,5%	-0,4%	-0,3%	-0,2%
3	Kurzstrecke (bis 100km) mit Lkw zwischen 10 und 20 t hzG	252	0,89	252	0,89	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
4	Kurzstrecke (bis 100km) mit Lkw zwischen 20 und 30 t hzG	395	3,12	451	3,69	2,2%	3,0%	1,3%	1,7%
5	Kurzstrecke (bis 100km) mit Lkw über 30 t hzG mit leichten und mittelschweren Gütern (NST 1,2,4,5,10-20)	276	3,02	276	3,02	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
6	Kurzstrecke (bis 100km) mit Lkw über 30 t hzG mit schweren Gütern (NST 3,6,7,8,9)	133	2,65	133	2,65	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
7	Mittelstrecke (100 bis 200km) mit Lkw bis 30 t mit leichten und mittel-schweren Gütern (NST 1,2,4,5,10-20)	175	0,79	175	0,79	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
8	Mittelstrecke (100 bis 200km) mit Lkw bis 30 t mit schweren Gütern (NST 3,6,7,8,9)	113	0,73	113	0,73	0,3%	0,4%	0,0%	0,0%
9	Mittelstrecke (100 bis 200km) mit Lkw über 30 t mit leichten und mittel-schweren Gütern (NST 1,2,4,5,10-20)	128	1,71	130	1,74	1,0%	1,5%	0,1%	0,2%
10	Mittelstrecke (100 bis 200km) mit Lkw über 30 t mit schweren Gütern (NST 3,6,7,8,9)	71	1,26	71	1,26	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
11	Langstrecke (über 200km) mit Lkw bis 30 t	423	2,30	465	2,61	1,9%	2,5%	1,0%	1,3%
12	Langstrecke (über 200km) mit Lkw über 30 t	231	3,35	231	3,35	0,5%	0,7%	0,0%	0,0%
13	Grenzüberschreitenden Fahrten (Quell-, Ziel- und Transitverkehr) der Fahrzeuge aus Österreich	127	1,36	126	1,35	-0,1%	-0,1%	-0,1%	0,0%
14	Grenzüberschreitender Quell- und Zielverkehr der Fahrzeuge aus dem Ausland	1.673	21,68	1.937	26,22	3,0%	3,5%	1,5%	1,9%
15	Transitverkehr der Fahrzeuge aus dem Ausland	2.093	25,47	2.389	30,12	2,2%	3,0%	1,3%	1,7%

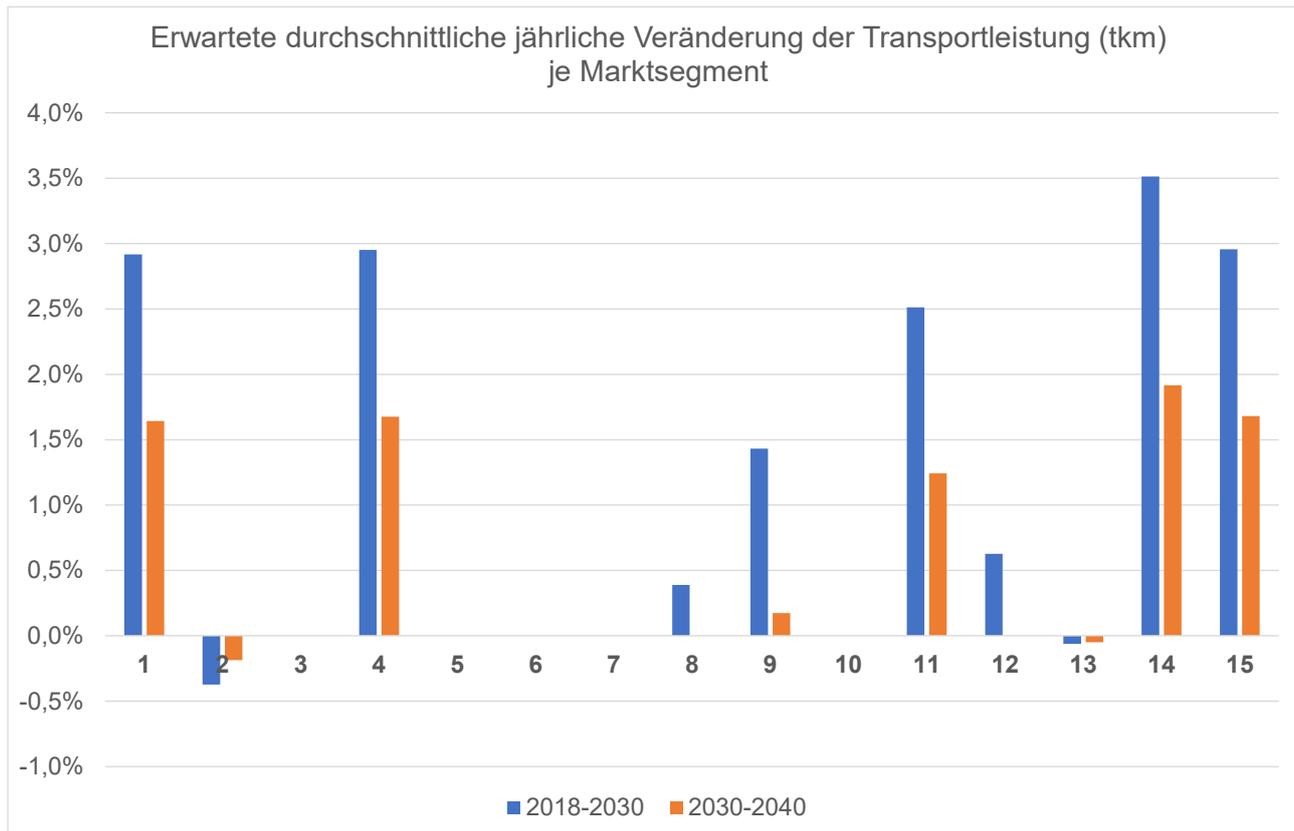


Abbildung 6: Erwartete durchschnittliche jährliche Veränderung der Transportleistung (tkm) je Marktsegment

4.4 Zielvorgaben

Nach der Unterschrift des Pariser Klimaabkommens am 22. April 2016 und der Ratifizierung am 5. Oktober 2016 hat sich Österreich bereit erklärt, die Ziele, die im Pariser Abkommen vereinbart sind, zu erreichen [11]. Das zentrale Ziel ist, die Erwärmung der durchschnittlichen Temperatur der Erde auf gut unter 2°C gegenüber dem vorindustriellen Level zu beschränken. Dies vor allem, um die negativen Auswirkungen des Klimawandels wie etwa Naturkatastrophen so gering wie möglich zu halten [12].

Zur Erreichung dieses Zieles hat sich jedes Vertragsland dazu verpflichtet national festgelegte Beiträge („nationally determined contributions“ NDC) einzureichen, in denen die landeseigenen Ziele detailliert beschrieben werden [12]. Die EU tritt hier als Ganzes auf und dementsprechend gibt es keine spezifischen NDCs für die EU-Mitgliedsstaaten – also auch nicht für Österreich. Die NDCs der EU wurden 2020 nach dem Austritt Großbritanniens aus der EU aktualisiert. Das große, gemeinsame Ziel ist die Klimaneutralität bis 2050 zu erreichen, wobei vor allem der Europäische „Green Deal“ von zentraler Bedeutung ist [13].

Der „Green Deal“ soll die politische Verpflichtung bis 2050 klimaneutral zu sein in eine rechtliche Verpflichtung umwandeln. Dabei steht eine effiziente Ressourcennutzung durch den Übergang zu einer sauberen und kreislauforientierten Wirtschaft, die Wiederherstellung der Biodiversität und die Bekämpfung der Umweltverschmutzung im Mittelpunkt [14]. Bis 2030 hat sich die EU auch zum Ziel gesetzt 55 % ihrer Emissionen gegenüber dem Niveau von 1990 zu reduzieren. Dabei gibt es drei

Mechanismen: das Emissionshandelssystem (ETS) für ETS-Sektoren, die Effort-Sharing-Verordnung (ESR) für nicht-ETS Sektoren und die Regulierung der Emissionen und des Abbaus von Emissionen aus Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) [13]. Nicht-ETS Sektoren sind Transport, Gebäude, Nicht-ETS-Industrie und Landwirtschaft. Das heißt, dass auch der Straßengüterverkehrssektor über die ESR abgedeckt wird.

Derzeit gibt es folgende EU-weite Verordnungen und Richtlinien, um die Emissionen im Straßengüterverkehrssektor zu reduzieren:

- Verordnung (EU) 2019/631: 15/31 % CO₂ Reduktion der neuzugelassenen leichten Nutzfahrzeuge bis im Zeitraum 2025-2029 und ab 2030 im Vergleich zu 2021 [15]
- Verordnung (EU) 2019/1242: 15/30 % CO₂ Reduktion der neuzugelassenen schweren Nutzfahrzeuge bis 2025/2030 im Vergleich zum Zeitraum 2019 bis 2020 [16]
- Richtlinie (EU) 2018/2001: 14 % erneuerbare Kraftstoffe bis 2030 [17]

Die oben genannte Verordnung (EU) 2019/631 wird jedoch bis Juni 2021 von der Kommission überprüft, da im Dezember 2020 ambitioniertere Ziele bis 2030 festgelegt wurden, welche durch die beschriebene Verordnung nicht erreicht werden können. Zudem wird die Wirksamkeit der Verordnung (EU) 2019/1242 von der Europäischen Kommission bis Ende 2022 überprüft [15]; [16].

Außerdem wird auch über ökonomische Instrumente nachgedacht, um die Emissionen im Verkehrssektor zu reduzieren. Seit längerem steht die Idee im Raum, den Straßenverkehrssektor in den EU ETS Emissionshandel einzubetten. Als kurzfristige ökonomische Maßnahme steht auch die Einführung eines eigenen Emissionshandelssystems für den Verkehr im Raum. Zudem ist auch eine Reformierung der Energiesteuern durch Berücksichtigung von CO₂-Bepreisung im Gespräch [18].

Auf nationaler Ebene gelten für Österreich die EU-Verordnungen und Richtlinien. Die österreichische Regierung hat sich im aktuellen Regierungsprogramm zusätzlich als Ziel gesetzt bis 2040 in den nicht-ETS Sektoren klimaneutral zu sein [19]. Konkrete Zwischenziele, was bis 2030 im Straßengüterverkehr passieren soll, gibt es außer dem relativ groben ESR-Ziel von 55 % Reduktion bis 2030, jedoch noch keine. Derzeit gibt es auch weder offizielle Strategien noch konkrete Maßnahmen, wie man die Klimaneutralität im Straßengüterverkehr erreichen kann. Deshalb wird derzeit an einem Masterplan für den Güterverkehr gearbeitet, so wie es auch im Regierungsprogramm (2020) beschrieben ist.

Bei Betrachtung der Ziele auf internationaler, europäischer und nationaler Ebene erkennt man, dass die Ambitionen vorhanden sind, um der Klimakrise entgegenzuwirken. Allerdings sind die derzeit vorhandenen Maßnahmen nicht ausreichend, um die gesetzten Ziele zu erreichen.

5 Technologie-UseCase-Matrix

In diesem Kapitel werden zunächst die bis 2040 relevanten **Antriebstechnologien sowie Kraftstoffe** identifiziert und kurz beschrieben. Parallel dazu werden **weitere ergänzende Ansätze** im organisatorischen und technologischen Umfeld, die zu einer Fahrleistungsreduktion beitragen können und damit die Zielerreichung unterstützen können, dargelegt.

Außerdem werden für in Kapitel 4.2 dargelegten Straßengüterverkehrsmarktsegmente geeignete Use Cases, die typische Vertreter je Marktsegment sind und als Stellvertreter für die Marktsegmente herangezogen werden, um so konkreten Berechnungen (CO₂-Emissionen, Fahrzeugkosten) durchführen zu können, identifiziert und beschrieben.

Im nächsten Schritt werden zwei Szenarien (WEM – mit bestehenden Maßnahmen und ZERO – CO₂-neutral bis 2040) definiert und für diesen beiden Szenarien die Verteilung der Anteile je Use Case ausgehend von den Eigenschaften der Technologien und den Voraussetzungen und Bedürfnissen der Use Cases abgeleitet. Dies ermöglicht die Ableitung der CO₂-Emissionen und des Endenergiebedarfs für 2030 und 2040 für diese beiden Szenarien.

Außerdem werden für die ergänzenden Ansätze zur Reduktion der Straßenverkehrsleistung und des Endenergiebedarfs minimale und maximale Veränderungspotenziale abgeleitet und daraus entsprechende Bandbreiten der CO₂-Reduktion und des Endenergiebedarfs für 2030 und 2040 für das WEM- und das ZERO-Szenario ermittelt.

5.1 Technologien

Zur Reduktion der CO₂-Emissionen des Straßengüterverkehrs werden in Zukunft alternative nachhaltige Technologien (Antriebsarten sowie Energieformen, wie Kraftstoffe) erforderlich sein. In den letzten Jahren zeigt sich der Trend zu einer zunehmenden Elektrifizierung, was von einer Hybridisierung bis zu einer Vollelektrifizierung reichen kann. Des Weiteren sind alternative regenerative Kraftstoffe ein Mittel zur raschen Emissionsreduktion der bestehenden Flotte, weswegen diese als besonders vielversprechend gelten. Gerade im Straßengüterverkehr sind die Fahrzeugarten und deren Einsatzmöglichkeiten stark unterschiedlich, weswegen zukünftig verschiedenste Technologien angewendet werden können. Damit die Breite der Technologien in dieser Studie abgebildet werden kann, werden folgende Antriebsarten und Energieträger betrachtet:

Antriebsarten:

- Kraftfahrzeuge mit Dieselmotoren (Verbrennungskraftmotor (VKM)-Diesel)
- Kraftfahrzeuge mit Erdgasmotoren (VKM-Gas)
- Kraftfahrzeuge mit Wasserstoffmotoren (VKM-H₂)
- Plug-In Hybridfahrzeuge (PHEV)
- Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV)
- Elektrische Fahrzeuge mit Oberleitung (O-EV)
- Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge (FCEV)

Energieträger:

- Diesel fossil, Biodiesel, E-Fuel (Power to Liquid)

- Erdgas fossil (CNG oder LNG), Biogas, E-Gas (Power to Gas)
- Wasserstoff
- Elektrische Energie (Strom)

Die Kategorien der VKM-Antriebe beinhalten in dieser Studie auch Hybridantriebe (HEV), die nicht extern geladen werden können (exkl. PHEV). Eine zunehmende Hybridisierung der VKM-Antriebe wird in der Reduktion des Kraftstoffverbrauchs berücksichtigt. Erdgasmotoren (VKM-Gas) ermöglichen durch das günstigere C/H-Verhältnis von Methan (Hauptbestandteil von Erdgas) eine Reduktion der CO₂-Emissionen von 25 % (fossil), weswegen dieser Antrieb für einen schnelleren Übergang zu CO₂-neutralen Technologien als vorteilhaft gilt. VKM-H₂ Fahrzeuge sind aufgrund der Verwendung von Wasserstoff als Kraftstoff lokal CO₂-emissionsfrei, haben jedoch den Nachteil der benötigten Infrastruktur. PHEV ermöglichen eine vollelektrische Fahrt bei gleichzeitig möglicher Reichweitenverlängerung durch den VKM-Antrieb. Die CO₂-Reduktion von PHEV ist stark von der Anwendung des Fahrzeuges abhängig (häufiges Laden, kurze Strecken). Durch die meist niedrigeren Batteriekapazitäten sind auf Basis gegenwärtiger Einschätzungen nur geringe elektrische Reichweiten von ca. 50 km möglich [20]. BEV, O-EV und FCEV sind lokal emissionsfrei und haben damit ein besonders großes Potenzial zur CO₂-Reduktion des Straßengüterverkehrs. Der Nachteil dieser Antriebsarten liegt in den höheren Kosten, der benötigten Infrastruktur sowie den zum Teil vorhandenen Einschränkungen in der Nutzung (Ladezeit, Gewicht, Verfügbarkeit der Infrastruktur).

Erneuerbare Kraftstoffe (Biodiesel, Biogas, E-Fuel, E-Gas) ermöglichen die CO₂-neutrale Darstellung der bestehenden VKM-Antriebe, sind jedoch mit einem erhöhten Ressourcenaufwand (Strom, Biomasse etc.) verbunden und weisen höhere Kosten als fossile Kraftstoffe auf. Ein Vorteil dieser Kraftstoffe liegt in der einfachen Import-Möglichkeit, der Nutzung der bestehenden Tankstellen-Infrastruktur, sowie der Speicherbarkeit erneuerbarer Energie (in E-Fuels, E-Gas), was aufgrund der zunehmenden volatilen Stromerzeugung (Windkraft und PV) von wachsender Bedeutung sein kann.

Wasserstoff dient als Kraftstoff für VKM-H₂ und FCEV, wodurch diese Antriebe keine lokale CO₂-Emission aufweisen. Wie auch bei den alternativen Kraftstoffen ermöglicht Wasserstoff die Speicherung erneuerbarer Energie. Der Nachteil von Wasserstoff liegt in der Errichtung einer Tankstellen-Infrastruktur.

Strom dient als Energieträger für PHEV, BEV und O-EV. Zur Bereitstellung von Strom für diese Fahrzeuge wird eine entsprechende Ladeinfrastruktur benötigt. Wie bereits erwähnt, ist die Speicherung von volatil erzeugtem Strom zunehmend erforderlich und ist mit einem zusätzlichen Energie- und Kostenaufwand verbunden.

5.2 Ergänzende organisatorische und technologische Ansätze

Neben den Antriebs- und Fahrzeugtechnologien, deren Beitrag zur Senkung der CO₂-Emissionen im Straßengüterverkehr den Schwerpunkt der vorliegenden Untersuchung bildet, gibt es weitere technologische, verkehrspolitische, ökonomische und organisatorische Ansätze, die zu Veränderungen im Schadstoffausstoß führen. Nachfolgend werden die aus aktueller Sicht relevanten Themen und Trends aus dem Bereich Logistik vorgestellt.

5.2.1 City Logistik / Smart Urban Logistics

City Logistik bzw. Smart Urban Logistics umfasst die optimierte Versorgung städtischen Agglomerationen mit Waren, sowohl im ökonomischen als auch im ökologischen Sinn. Die Konsolidierung von Waren in Güterverkehrszentren am Stadtrand, ihre gebündelte Auslieferung, die Verwendung von aktiver Mobilität bei der städtischen Versorgung, der Einsatz alternativer Antriebe und/oder alternativer Kraftstoffe, die Feinverteilung mithilfe von innerstädtischen Umschlagspunkten wie Mikro Depots, neue Konzepte der Warenübergabe, digitale und intelligente Verkehrssteuerung, neue Flächennutzung u.a.m. sind Konzepte der City Logistik.

Je nach Ausgestaltung der City Logistik Konzepte können diese neben positiven Effekten wie Kosten- und Zeitersparnis, erhöhter Standortattraktivität oder flexibleren Anfahrtszeiten, zu

- einer Verringerung der Anzahl und/oder Länge der Lkw-Fahrten und somit einer Gesamtsenkung des Verkehrsaufkommens und der Umweltbelastung und somit zu
- einer Verbesserung des Verkehrsflusses und
- einer geringeren Flächennutzung im öffentlichen Raum beim ruhenden Verkehr,
- kürzeren Wartezeiten und Senkung der Lagerflächen bei Einzelhandel-/ Dienstleistungsunternehmen durch effektive Abstimmung und Steuerung von Lieferungen,
- einer Vermeidung/Verringerung von Staubbildung und in weiterer Folge zur Abnahme weiterer negativer externer Effekte führen (z.B. lokale Schadstoffe, Lärm, etc.). [21]

Gemeinsames Ziel von einzelnen City-Logistik-Maßnahmen, welche häufig auch in Kombination zum Einsatz kommen, ist die verbesserte Abwicklung des urbanen Güterverkehrs, eine effiziente Nutzung der verfügbaren Infrastrukturen und die Reduktion von Verkehrsaufkommen und Emissionen. Die wachsenden Anforderungen an die Versorgungsqualität gilt es dabei entsprechend zu berücksichtigen.

5.2.2 Neue Umschlagstechnologien

Bei der Nutzung der Verkehrsträger Schiene und Straße im Kombinierten Verkehr (KV) können die umweltschonende Transportweise der Eisenbahn mit der Flexibilität des Lkw-Transportes verknüpft werden.

Die im Straßengüterverkehr hauptsächlich eingesetzten Trailer sind nach Marktangaben jedoch zu 90 % nicht ohne Weiteres im KV einsetzbar. [22] Diese Aussage für Deutschland kann aufgrund der Ähnlichkeit der Märkte wahrscheinlich auch auf Österreich umgelegt werden.

Aus diesem Grund haben diverse Anbieter in den vergangenen Jahren Umschlagstechniken entwickelt, mit denen auch nicht-kranfähige Trailer von der Straße auf die Schiene umgesetzt werden können. Beispiele dafür sind u.a. die horizontalen Umschlagsysteme wie der Cargo beamer, ein System der gleichnamigen Gesellschaft aus Leipzig, bestehend aus Waggonaufsatz und Terminalmodul, der Container Mover des Anbieters Innovatrains aus der Schweiz oder der Mobiler, ein System bestehend aus einer hydraulischen Hubvorrichtung für beliebige Trägerfahrzeuge. Das Konzept „Mobiler-Behälter“ ist laut der Railcargo-Group (Österreich) mittlerweile knapp 1.000fach in Europa im Einsatz. [22]

5.2.3 Kombination Personen- (PV) und Güterverkehr (GV)

Die Fahrzeuge des privaten Personenverkehrs und die des gewerblichen Personen- und Güterverkehrs teilen sich die Straßeninfrastruktur, was zu gewissen Zeiten oder bei eingeschränktem Flächenangebot zu Engpässen und Nutzungskonflikten führen kann. Die Aufhebung dieser Trennung könnte zu einer besseren Auslastung des Transportvolumens und somit einer Senkung der Fahrten und/oder der Anzahl der Fahrzeuge beitragen.

Beispiele, bei denen im privaten Personenverkehr Güter transportiert werden, existieren in kleinem Ausmaß bereits. Dabei können Privatpersonen im Sinne der "Sharing Economy" Transporte für andere übernehmen, indem sie den leeren Stauraum ihrer Pkws nutzen. Transportiert werden kann alles, vom Schlüssel bis zum Sperrgut.

Auch im öffentlichen Verkehr wird die Idee aufgegriffen: In Zürich kommt seit Jahren eine Cargo-Tram für Sperrmülltransporte zum Einsatz. In Saint-Étienne in Frankreich nutzt man ausrangierte Trams als Güterbahnen. Moskau setzt die U-Bahn für die rasche Paketzustellung ein. In Österreich finden sich ähnliche Ansätze nur bei Testanwendungen: Ein Pilotprojekt mit Gütertransporten in Straßenbahnen in Wien wurde nach Projektende nicht weitergeführt, und immer wieder adressieren (Forschungs-)Projekte diese Thematik zur Verschneidung von Personen- und Güterverkehr, speziell in urbanen Gebieten.

Jedoch auch außerhalb des Stadtverkehrs werden Personen- und Güterverkehr verschränkt: die Mitnahme von Gütern im Personenverkehr von Bus- [23], Zug- oder Flugunternehmen sind Beispiele dafür.

Tragfähige und nachhaltige Konzepte, die eine relevante Auswirkung auf die Strukturen im Güterverkehr darstellen sind jedoch aus heutiger Sicht noch nicht bekannt oder absehbar.

Evaluierungen von Pilotprojekten (Güterbim in Frankfurt [24]) oder Plattformen, die ein Pkw-Raumsharing zur Mitnahme von Paketen unterstützen (z.B. checkrobin [25]) zeigen auf, wieviel im Pilotzeitraum oder während eines Jahres an CO₂ eingespart werden konnte. Fundierte Analysen über die Potenziale solcher Systeme bei einem verbreiteten Einsatz gibt es jedoch nicht. Die meisten Möglichkeiten, Personenverkehrsmittel auch für den Güterverkehr einzusetzen sind jedoch in ihrer Anwendung räumlich und/oder bezüglich der Güterarten sowie hinsichtlich der Integration in die Transportlogistik eingeschränkt. Daher ist bei diesem ergänzenden Ansatz mit einem sehr geringen Potenzial zur Reduktion der Fahrleistung zu rechnen und wird daher nicht in die Berechnungen mit aufgenommen

5.2.4 Verkehrssteuerung und -leitung

Technologien der Verkehrssteuerung und -leitung werden zugunsten einer nachhaltigen Verkehrspolitik zu folgenden Zwecken angewandt:

1. Optimierte Nutzung vorhandener Verkehrskapazitäten und gleichzeitige Sicherstellung einer effizienten Verkehrsabwicklung
2. Erhöhung der Verkehrssicherheit
3. Förderung des intermodalen und multimodalen Verhaltens der Verkehrsteilnehmenden
4. Verminderung der Umweltbelastung und Komfortsteigerung [26].

Logistiker nutzen Verkehrstelematik, um Beladung und Tourenplanung transparenter, effizienter und flexibler zu gestalten. Jedoch ist sie auch für die Politik ein Instrument, um Verkehrs- sowie -abflüsse verkehrsabhängig und umweltverträglich zu regeln. Dabei kann mit ordnungs- und preispolitischen Parametern direkt Einfluss auf die Verkehrsnachfrage genommen und verkehrsträgerübergreifenden Konzepten ein Vorrang eingeräumt werden [27].

5.2.5 Physical Internet

Physical Internet ist ein Konzept für ein optimiertes, standardisiertes weltweites Güter-Transportsystem nach der Idee des digitalen Internets. Entgegen der heutigen Vorgehensweise, bei der ein einzelner Transportdienstleister meist Waren über große Distanzen transportiert, setzt die Idee des Physical Internet auf fragmentierte, anbieterunabhängige Transporte in einem optimierten, weltweit standardisierten Güter-Transportsystem. [28]

Dementsprechend soll auch in der Logistik autonome Steuerungstechnologie zum Einsatz kommen, die Güter den insgesamt effizientesten Weg nehmen lässt, diese konsolidiert und mit den geeignetsten Verkehrsträgern transportiert. Die Optimierung des Gesamtsystems steht im Fokus, auch wenn einzelne individuelle Lieferungen dabei nicht den schnellsten oder kürzesten Weg nehmen.

Das Ziel ist eine deutlich effizientere Auslastung der Transportwege, die sowohl aus ökonomischen (kürzere Transportzeiten, weniger Personalkosten) als auch aus ökologischen Gesichtspunkten (weniger Verkehr, weniger CO₂-Ausstoß) spürbare Vorteile bringen soll. [28]

Für das Physical Internet stellt die anbieter-, branchen- und grenzüberschreitende Standardisierung die größte Herausforderung dar. [28]

Aus diesem Grund wurde neben anderen Initiativen ein von der Industrie geleitetes Stakeholder-Forum, die europäische Technologieplattform ALICE, eingerichtet, in der eine umfassende Strategie für Forschung, Innovation und Markteinführung von Innovationen im Bereich Logistik und Lieferkettenmanagement in Europa entwickelt wird. Das Physical Internet ist dabei das Konzept zur Erreichung der Umwelt-, Energie- und Klimaziele der EU im Logistikbereich bis 2050.

5.2.6 Platooning

Beim Platooning werden mehrere Lkw elektronisch miteinander verbunden, um in Echtzeit zu kommunizieren. Wenn die Fahrzeuge in einem Konvoi betrieben werden, kann das Führungsfahrzeug sein Fahrverhalten auf die anderen übertragen. So ist der Konvoi im Stande, Manöver wie Beschleunigen und Bremsen für alle Fahrzeuge synchron zu vollziehen. Durch diese Technologie können Lkw ohne Gefahr in einem Abstand von wenigen Metern hintereinanderfahren und ihren Luftwiderstand wesentlich verringern. Außerdem ist es den Fahrzeugen möglich, durch automatisierte Systeme vorausschauender auf Verkehrssituationen und topographische Gegebenheiten zu reagieren und so weiter Kraftstoff einzusparen. [29]

Aktuell fehlt es noch an einem unabhängigen Protokoll, mit dem es möglich wird, Kolonnen von Lkw verschiedener Hersteller zu bilden - bislang entwickelt jeder Hersteller eigene Systeme zur digitalen Kopplung der Fahrzeuge. Die Gefahr von Hackerangriffen ist eine weitere Herausforderung. Die schwierigste Hürde ist jedoch im rechtlichen Bereich zu finden: Bei Haftung, Datenschutz, Arbeitsrecht und anderen Rechtsbereichen sind noch wesentliche Fragen offen.

Trotz des hohen Automatisierungsgrads werden die Lkw kurz- und mittelfristig weiterhin mit Fahrern besetzt sein, die das Steuer jederzeit wieder übernehmen können. Das langfristige Ziel besteht jedoch darin das Platooning weitgehend autonom zu gestalten. [29]

5.2.7 Autonomes Fahren

Hoch- und vollautomatisierte Fahrzeuge können frei navigieren, sie sind situations- und infrastrukturunabhängig. Vollautomatisierte Systeme kommen ohne Fahrer aus. Es werden nicht nur Aktivitäten auf der Navigationsebene vom Fahrer übernommen, sondern auch diejenigen Aktivitäten, die notwendig sind, um das System wieder in einen risikominimalen Zustand zu versetzen, wenn Komponenten ausfallen. [30]

Das autonome bzw. fahrerlose Fahren ist der Endpunkt einer Entwicklung, die aktuell im Gang ist. Allerdings wird der Anteil von autonomen Neufahrzeugen im Pkw-Bereich im Jahr 2030 auf unter 10 % geschätzt. Erst bis 2040 wird er auf 10 bis zu 20 % ansteigen. [31] Im Lkw-Segment wird davon ausgegangen, dass rund 10 % der leichten Nutzfahrzeuge und 20 % der schweren Nutzfahrzeuge im Jahr 2030 autonom betrieben werden. [32]

Automatisiertes Fahren kann die vorhandenen Straßeninfrastrukturkapazität wesentlich erhöhen und durch geringeren Treibstoffverbrauch einen Beitrag zum Klimaziel leisten. Allerdings ist die Akzeptanz der Bevölkerung gegenüber vollautomatisierten Systemen begrenzt, auch rechtliche Fragen sind noch zu klären.

5.3 Use Case je Marktsegment

Den (künftig) verfügbaren (Antriebs-)Technologien stehen auf der Nachfrageseite Unternehmen und Akteure gegenüber, die in verschiedenen Güterverkehrs- bzw. Marktsegmenten (siehe Kapitel 4.2) mit unterschiedlichen Anforderungen an die Güterverkehrsabwicklung tätig sind. Die Segmente haben jeweils besondere verkehrsspezifische Eigenschaften, die durch

- unterschiedliche Waren und Gütergruppen,
- unterschiedliche Entfernungen,
- unterschiedliche Fahrzeugarten bzw. Fahrzeuggrößen und
- unterschiedliche Herkunft der Fahrzeuge sowie
- unterschiedliche Verkehrsarten (Inlandsverkehr, grenzüberschreitender Quell-/Zielverkehr, Transitverkehr)

gekennzeichnet sind. Diese Eigenschaften wirken sich künftig direkt auf die Wahl der eingesetzten Technologien wie elektrifizierte Antriebsstränge (hybrid- bis vollelektrisch oder Brennstoffzelle) oder alternative Kraftstoffe (Wasserstoff, E-Kraftstoffe etc.) aus. Beispiele dafür sind

- der KEP-Verkehr (Kurier-, Express- und Paketverkehr) in der Stadt (Charakteristika: kurze Distanzen, viele Haltestellen, Fahrzeugklasse bis 10 t),
- der Transitverkehr (Charakteristika: lange Distanzen, keine Haltestellen in Österreich, Fahrzeugklasse ab 30 t) und
- der Baustellenverkehr (Charakteristika: kurze Distanzen, wenige Haltestellen, Fahrzeugklasse 20 t-30 t)

mit jeweils sehr unterschiedlichen Einsatzszenarien (Use Cases) der Fahrzeuge.

Um diese Abhängigkeiten in einem Modell zu systematisieren und für die Analyse und Auswertung der Güterverkehrsdaten nutzbar zu machen, wird nachfolgend ein repräsentativer Use Case als „Stellvertreter“ je Marktsegment vorgestellt. Dieser dient als Grundlage dafür, die Fahrzeug- und Antriebstechnologien in weiterer Folge mit den wichtigsten Marktsegmenten des Güterverkehrs zu kombinieren. Die Use Cases sind an diese Marktsegmente angepasst, indem ihnen – wo anwendbar – deren Durchschnittswerte (z.B. betreffend die Fahrtweite) zugrunde gelegt wurden. Für Werte wie Behalte- oder Nutzungsdauern von Fahrzeugen wurden entsprechende praxisorientierte Annahmen getroffen, da belastbare statistische Daten für diese speziellen Fragestellungen nicht verfügbar sind. Bei den im Anhang angeführten Fahrzeugeckdaten (wie z.B. Neupreis, Nutzungsdauer etc.) je Use Case fließen nur die Daten des Zugfahrzeugs in einer Basisausstattung ein. Unterschiedliche Aufbauten oder Aufliegertypen und weitere Ausstattungsmerkmale wurden aufgrund der unterschiedlichen Nutzungsdauern, ihrer großen Vielfalt und der so entstehenden Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten sowie ihrer Auswirkungen auf angenommene Anschaffungskosten nicht betrachtet.

Folgende Use Cases wurden für die 15 Marktsegmente stellvertretend ausgewählt:

Tabelle 5: Marktsegmente und deren Use Cases

Marktsegment		Use Case
1	Lieferverkehr	KEP-Verteiltour innerstädtisch
2	Inlandsverkehr Kurzstrecke sehr kleine Lkw	Umzugs-Lkw
3	Inlandsverkehr Kurzstrecke kleine Lkw	Filialbelieferung
4	Inlandsverkehr Kurzstrecke große Lkw	Schotterfahren
5	Inlandsverkehr Kurzstrecke SLZ leichte Güter	Möbeltransport
6	Inlandsverkehr Kurzstrecke SLZ schwere Güter	Papiertransporte
7	Inlandsverkehr Mittelstrecke ohne SLZ leichte Güter	Gemüselieferungen
8	Inlandsverkehr Mittelstrecke ohne SLZ schwere Güter	Transport von Pflanzenschutzmitteln
9	Inlandsverkehr Mittelstrecke SLZ leichte Güter	Autozulieferer liefert an Produzenten
10	Inlandsverkehr Mittelstrecke SLZ schwere Güter	Zementlieferung
11	Inlandsverkehr Langstrecke ohne SLZ	Leergebindetransport
12	Inlandsverkehr Langstrecke SLZ	Fleischtransport
13	Quell/Ziel/Transitverkehr AT-Fzg	Textiltransport
14	Quell/Zielverkehr Nicht-AT-Fzg	Transport von Weißware
15	Transitverkehr nicht AT-Fzg	Sammelguttransport

Im Anhang finden sich detaillierte Informationen zu jedem Use Case (genaue Fahrzeugbeschreibung sowie detaillierte Einsatzparameter).

5.4 CO₂-Emissionen Straßengüterverkehr nach Marktsegmenten

5.4.1 Methode zur Ermittlung und Prognose der CO₂-Emissionen

Die Berechnung der CO₂-Emissionen des Straßengüterverkehrs erfolgt in dieser Arbeit durch Multiplikation der Verkehrsleistung (in km) und der direkten Emission der Einzelfahrzeuge (in g/km), wobei nach den betrachteten Marktsegmenten (in Kapitel 4.2) unterschieden wird. Die Verkehrsleistung wird für das Jahr 2018 aus den ermittelten Daten in Kapitel 4 entnommen, weswegen die berechneten CO₂-Emissionen nur den Anteil des in Österreich stattfindenden Straßengüterverkehrs darstellen. Tanktourismus oder sonstiger Kraftstoffexport werden in dieser Arbeit nicht betrachtet. Für die Emissionen der Einzelfahrzeuge werden die Werte aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA 4.1 [33] herangezogen. Da die Emissionsfaktoren je nach Fahrzeugkategorie (leichtes Nutzfahrzeug, Lkw etc.) stark unterschiedlich sein können, werden diese nach den angenommenen Fahrzeugen in den Use Cases (siehe Kapitel 5.3) jeweils aus [33] entnommen. Aufgrund des hohen Anteils an Diesel-Lkw (99,7 % des N2 und N3 Lkw-Bestands [34]) werden andere Antriebsarten für die Berechnung der Emissionen dieser Kategorie (> 3,5 t) im Jahr 2018 vernachlässigt. Bei den leichten Nutzfahrzeugen (LNF < 3,5 t; Kategorie N1) wird der Anteil von 0,5 % BEV am LNF-Bestand im Jahr 2018 [34] berücksichtigt. Des Weiteren fließt der Anteil von ca. 7 % Biodiesel im Kraftstoff im Jahr 2018 [35] in die Berechnung ein. In dieser Arbeit werden nur die direkten (Tank to Wheel) Emissionen betrachtet, weswegen die oben erwähnten BEV- und Biodiesel-Anteile mit null CO₂-Emissionen bewertet werden.

Die CO₂-Emissionen der Jahre 2030 und 2040 hängen neben der prognostizierten Verkehrsentwicklung von der Entwicklung der Nutzung der unterschiedlichen CO₂-neutralen Technologien und der erreichbaren Fahrleistungsreduktion durch ergänzende Ansätze im organisatorischen und technologischen Bereich ab, die über die Entwicklung bei der Antriebstechnologie und den Treibstoffen hinaus gehen.

In Kapitel 5 wird die Nutzung unterschiedlicher Antriebstechnologien und Treibstoffen unterschieden nach einem Szenario, welches die Entwicklung mit existierenden (beschlossenen) Maßnahmen, jedoch ohne weitere Maßnahmen, abbildet (WEM-Szenario – Kapitel 5.4) und einem ZERO-CO₂-Emissionsszenario (ZERO-Szenario – Kapitel 5.6) dargelegt. Darüber hinaus werden mögliche Wirkungen von ergänzenden Ansätzen auf die Fahrleistung und den Energieeinsatz analysiert (Kapitel 5.7).

Erst durch diese Aufbereitung der unterschiedlichen Szenarien ist es möglich, die damit verbundenen direkten CO₂-Emissionen des Straßengüterverkehrs nach diesen Szenarien abzubilden. Die Ergebnisse dazu finden sich in Kapitel 7.1.1.

5.4.2 CO₂-Emissionen 2018 nach Marktsegmenten

Das Ergebnis der CO₂-Emissionen im Jahr 2018 sowie die verwendeten Fahrzeugkategorien je nach Use Case sind in Tabelle 6 zu finden. Es ist zu erkennen, dass die letzten beiden Marktsegmente 14 und 15 den höchsten Anteil an CO₂-Emissionen aufweisen, was auf die hohe Transportleistung (sowohl Gewicht als auch Fahrleistung) zurückzuführen ist.

Tabelle 6: CO₂-Emissionen des Straßengüterverkehrs nach Marktsegment im Jahr 2018

Marktsegment		CO ₂ 2018	
Nr.	Fahrzeugkategorie nach Use Case	in kt	in %
1	Leichtes Nutzfahrzeug ≤ 3,5 t	21	0,5 %
2	Solo Lkw > 3,5-10 t	15	0,4 %
3	Solo Lkw > 10-20 t	142	3,5 %
4	Solo Lkw > 20-30 t	217	5,4 %
5	Lastzug/Sattelzug > 30-40 t	226	5,6 %
6	Lastzug/Sattelzug > 30-40 t	137	3,4 %
7	Solo Lkw > 3,5-30 t	103	2,6 %
8	Solo Lkw > 3,5-30 t	76	1,9 %
9	Lastzug/Sattelzug > 30-40 t	101	2,5 %
10	Lastzug/Sattelzug > 30-40 t	70	1,7 %
11	Solo LKW > 3,5-30 t	193	4,8 %
12	Lastzug/Sattelzug > 30-40 t	191	4,8 %
13	Lastzug/Sattelzug > 3,5-40 t	108	2,7 %
14	Lastzug/Sattelzug > 3,5-40 t	1.028	26 %
15	Lastzug/Sattelzug > 3,5-40 t	1.387	35 %
GESAMT		4.014	100 %

5.5 WEM-Technologie-UseCase-Matrix 2030 und 2040 (“WEM-Szenario”)

Im WEM-Szenario (With Existing Measures) wird der Anteil der Technologien (siehe Kapitel 5.1) an der Fahrleistung für das Jahr 2030 und 2040 anhand der existierenden gesetzlichen Vorgaben abgeschätzt. Das WEM-Szenario wird zum Vergleich mit dem CO₂-neutralen Szenario („ZERO-Szenario“ in Kapitel 5.6) herangezogen. Damit können Unterschiede zwischen den benötigten Entwicklungen für die Klimaneutralität im Jahr 2040 und die durch die aktuellen gesetzlichen Vorgaben stattfindenden Entwicklungen dargelegt werden. Durch die CO₂-Gesetzgebung für leichte (N1) [15] und schwere Nutzfahrzeuge (N2 und N3) [16] wird eine CO₂-Reduktion für neuzugelassene Fahrzeuge bis 2030 festgelegt. Durch die Revision der Renewable Energy Directive (RED-II) [17] wird der Einsatz erneuerbarer Energie im Verkehrssektor reguliert. Es werden folgende gesetzlichen Vorgaben in diesem Szenario berücksichtigt (siehe dazu auch Kapitel 4.4):

- CO₂-Reduktion neuzugelassener leichter Nutzfahrzeuge (N1) von 15 % im Jahr 2025 und 31 % im Jahr 2030 im Vergleich zu 2021 [15]
- CO₂-Reduktion neuzugelassener schwerer Nutzfahrzeuge von 15 % im Jahr 2025 und 30 % im Jahr 2030 im Vergleich zum Zeitraum 2019-2020 [16]
- Anteil erneuerbarer Energie im Verkehrssektor von 14 % im Jahr 2030. [17]

Die Technologie-UseCase-Matrix stellt den Anteil der Fahrleistung je Technologie und Use Case im jeweiligen Jahr (2030 oder 2040) dar. Da sich der Fahrzeugbestand durch die neuzugelassenen Fahrzeuge nur langsam ändert (ca. 40 % der österreichischen N2 und N3 Fahrzeuge im Jahr 2018 sind älter als 10 Jahre [34]), wirkt die durch die gesetzlichen Vorgaben festgelegte CO₂-Reduktion der neuzugelassenen Fahrzeuge verzögert auf die Verteilung in der UseCase-Matrix.

Die zurückgelegten Strecken, die Transportgewichte sowie der Aufbau der Fahrzeuge können je nach Use Case stark unterschiedlich sein. Aus diesem Grund erfolgt die Aufteilung der Fahrleistungsanteile unter Berücksichtigung der Anforderungen der Use Cases und der Eigenschaften der Technologien (wie Reichweite und verfügbare Infrastruktur).

BEV und PHEV werden aufgrund der Batteriekapazität hauptsächlich bei leichteren Fahrzeugen bzw. bei Anwendungen mit kurzen Strecken erwartet. Aufgrund der bereits in Kapitel 5.1 erwähnten Vorteile von Wasserstoff in FCEV bzw. VKM-H₂ wird bei **Lkw** in Zukunft **eine starke Entwicklung in Richtung Wasserstoff** sowie ein EU-weit **deutlicher Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur erwartet**.

Bei **FCEV** wird angenommen, dass diese später als BEV auf den Markt kommen (wegen der Verfügbarkeit von Infrastruktur und Fahrzeugen), jedoch in Anwendungen mit höherer Reichweite und Last. Dies deckt sich gut mit den Plänen großer Automobilhersteller und Energiebereitsteller [36].

VKM-H₂ bietet den Vorteil der vielfältigen Anwendung und Robustheit des VKM-Antriebs aber den Nachteil des niedrigeren Wirkungsgrades (im Vergleich zu FCEV), weswegen diese Technologie hauptsächlich in Sonderanwendungen erwartet wird.

Aufgrund der vergleichsweise einfachen CO₂-reduzierenden Wirkung von **VKM-Gas** (wegen des niedrigeren C/H-Verhältnisses von Methan) wird diese Technologie in einer breiten, jedoch vorwiegend inländischen Anwendung (wegen der erforderlichen Infrastruktur) erwartet.

Aufgrund des derzeit vorhandenen Mangels an gesetzlichen Vorgaben bzw. Maßnahmen, die eine Nachfrage nach dem Einsatz von **Oberleitungs-Lkw** erzeugen bzw. den Ausbau einer Oberleitungsinfrastruktur erforderlich machen (siehe existierenden gesetzlichen Vorgaben am Anfang dieses Kapitels, die es nicht notwendig machen entsprechende Maßnahmen zu setzen), werden **im WEM-Szenario keine O-EV erwartet**.

Die Use Cases 14 und 15 beinhalten den Quell-/Zielverkehr bzw. Transitverkehr von Nicht-AT-Fahrzeugen, wodurch eine breite Aufstellung an Fahrzeugen, Anwendungen und Herkunftsländern mit hoher Reichweitenanforderung abgedeckt wird. Da, wie oben beschrieben, ein EU-weiter Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur erwartet wird, wird bei diesen Use Cases ein hoher Anteil an FCEV angenommen.

Die aus den oben beschriebenen Überlegungen resultierende Technologie-UseCase-Matrix der Antriebstechnologien für das WEM-Szenario im Jahr 2030 ist in Tabelle 7 zu finden. Aufgrund der langsamen Umstellung der Gesamtflotte ergeben sich nur geringe Änderungen in der Technologiezusammensetzung (verglichen mit nahezu 100 % VKM-Diesel in 2018).

Tabelle 7: Technologie-UseCase-Matrix der Antriebstechnologien im WEM-Szenario 2030

Marktsegment			TECHNOLOGIEN							
Nr.	Strecke (in km)	Fahrzeug	VKM-Diesel	VKM-Gas	VKM H ₂	PHEV	BEV	O-EV	FCEV	SUMME
			Anteil (in %)	Anteil (in %)	Anteil (in %)	Anteil (in %)	Anteil (in %)	Anteil (in %)	Anteil (in %)	Anteil (in %)
1	alle (v.a. Kurzstrecke)	LNF ≤3,5t	79	0	0	5	15	0	1	100
2	bis 100	Solo LKW >3,5-10t	89	0	0	3	7	0	1	100
3	bis 100	Solo LKW >10-20t	91	1	0	0	5	0	3	100
4	bis 100	Solo LKW >20-30t	90	2	1	0	3	0	4	100
5	bis 100	LZ/SZ >30-40t	93	2	1	0	0	0	4	100
6	bis 100	LZ/SZ >30-40t	93	2	1	0	0	0	4	100
7	100 bis 200	Solo LKW >3,5-30t	91	2	0	0	0	0	7	100
8	100 bis 200	Solo LKW >3,5-30t	91	2	2	0	0	0	5	100
9	100 bis 200	LZ/SZ >30-40t	91	2	2	0	0	0	5	100
10	100 bis 200	LZ/SZ >30-40t	91	2	2	0	0	0	5	100
11	über 200	Solo LKW >3,5-30t	93	2	0	0	0	0	5	100
12	über 200	LZ/SZ >30-40t	94	2	0	0	0	0	4	100
13	alle (Ausland)	LZ/SZ >3,5-40t	95	0	0	0	0	0	5	100
14	alle (Ausland)	LZ/SZ >3,5-40t	95	0	0	0	0	0	5	100
15	alle (Ausland)	LZ/SZ >3,5-40t	95	0	0	0	0	0	5	100

Es wird davon ausgegangen, dass nur **erneuerbare Kraftstoffe** eingesetzt werden, die **mit der bestehenden Flotte kompatibel** sind, weswegen der erneuerbare Anteil im Kraftstoff ohne Verzögerung auf den gesamten Straßengüterverkehr wirkt. Bei VKM-Diesel wird der Anteil der Kraftstoffe entsprechend der oben erwähnten gesetzlichen Vorgaben (RED-II) abgeschätzt, wobei hier ausschließlich Bio-Kraftstoffe (hauptsächlich Hydriertes Pflanzenöl HVO) zum Einsatz kommen. Aufgrund fehlender gesetzlicher Vorgaben oder Maßnahmen, die eine wirtschaftliche Darstellung von E-Fuels ermöglichen, werden diese im WEM-Szenario nicht vermutet. Bei VKM-Gas wird aufgrund der geringen Anteile in diesem Szenario und daher dem geringen Einfluss auf die Gesamtenergiemenge sowie der ohnehin erzielten CO₂-Reduktion von 25 % durch Erdgas (durch das niedrigere C/H-Verhältnis von Methan) eine konservativere Entwicklung bei den erneuerbaren Kraftstoffanteilen angenommen. Diese wird durch Bio-Gas erzielt, da E-Gas aus denselben Gründen wie bei E-Fuels im WEM-Szenario nicht erwartet wird. Der elektrische Fahranteil von PHEV wird für 2030 entsprechend der Untersuchungen in [37] angenommen. Aufgrund der erwarteten zukünftigen Verbesserungen der Batterietechnologie (Kosten, Energiedichte, siehe [38]) wird von einer Erhöhung der Batteriekapazität und damit der elektrischen Reichweite ausgegangen, weswegen im Jahr 2040 ein höherer elektrischer Fahranteil geschätzt wird.

Die angenommene Technologie-UseCase-Matrix der Energieträger für das WEM-Szenario im Jahr 2030 ist in Tabelle 8 zu sehen. Wasserstoff für VKM-H₂ und FCEV sowie Strom für O-EV und BEV wurden in dieser Darstellung weggelassen, da der Anteil der Energieträger jeweils 100 % bei der jeweiligen Technologie beträgt.

Die Anteile der Antriebstechnologien und Energieträger im Jahr 2030 decken sich gut mit den erwarteten Anteilen [39].

Tabelle 8: Technologie-UseCase-Matrix der Energieträger im WEM-Szenario 2030

ENERGIETRÄGER							
VKM-Diesel			VKM-Gas			PHEV	
Diesel fossil (in %)	Bio-Kraftstoff (in %)	E-Fuel (PtL) (in %)	CNG/LNG fossil (in %)	Biogas (in %)	E-Gas (PtG) (in %)	Kraftstoff* (in %)	Strom (in %)
86	14	0	95	5	0	60	40

*Der Kraftstoff von PHEV hat dieselbe Zusammensetzung wie von VKM-Diesel

Die angenommene Technologie-UseCase-Matrix der Antriebstechnologien für das WEM-Szenario im Jahr 2040 ist in Tabelle 9 dargestellt. Basierend auf den vorhandenen gesetzlichen Vorgaben der Neuzulassungen (derzeit bis 2030) ergibt sich eine deutliche Änderung der Flotte und damit der Technologieanteile im Straßengüterverkehr bis 2040. Der größte Anteil der Technologien liegt in diesem Szenario bei VKM-Diesel, gefolgt von FCEV und BEV.

Tabelle 9: Technologie-UseCase-Matrix der Antriebstechnologien im WEM-Szenario 2040

Marktsegment			TECHNOLOGIEN							
Nr.	Strecke (in km)	Fahrzeug	VKM-Diesel	VKM-Gas	VKM H ₂	PHEV	BEV	O-EV	FCEV	SUMME
			Anteil (in %)	Anteil (in %)	Anteil (in %)	Anteil (in %)	Anteil (in %)	Anteil (in %)	Anteil (in %)	Anteil (in %)
1	alle (v.a. Kurzstrecke)	LNF ≤3,5t	65	0	0	5	25	0	5	100
2	bis 100	Solo LKW >3,5-10t	77	0	0	3	15	0	5	100
3	bis 100	Solo LKW >10-20t	78	2	0	0	10	0	10	100
4	bis 100	Solo LKW >20-30t	77	4	2	0	7	0	10	100
5	bis 100	LZ/SZ >30-40t	71	4	2	0	3	0	20	100
6	bis 100	LZ/SZ >30-40t	74	4	2	0	0	0	20	100
7	100 bis 200	Solo LKW >3,5-30t	76	4	0	0	0	0	20	100
8	100 bis 200	Solo LKW >3,5-30t	72	4	4	0	0	0	20	100
9	100 bis 200	LZ/SZ >30-40t	72	4	4	0	0	0	20	100
10	100 bis 200	LZ/SZ >30-40t	72	4	4	0	0	0	20	100
11	über 200	Solo LKW >3,5-30t	71	4	0	0	0	0	25	100
12	über 200	LZ/SZ >30-40t	71	4	0	0	0	0	25	100
13	alle (Ausland)	LZ/SZ >3,5-40t	75	0	0	0	0	0	25	100
14	alle (Ausland)	LZ/SZ >3,5-40t	75	0	0	0	0	0	25	100
15	alle (Ausland)	LZ/SZ >3,5-40t	75	0	0	0	0	0	25	100

Die Technologie-UseCase-Matrix der Energieträger für das WEM-Szenario im Jahr 2040 ist Tabelle 10 zu entnehmen. Unterschiede zum WEM-Szenario im Jahr 2030 bestehen im Biogas-Anteil, aufgrund der angenommenen konservativeren Entwicklung, und im elektrischen Fahranteil von PHEV wegen der erwarteten Reichweitensteigerung durch zukünftige Batterieentwicklungen.

Tabelle 10: Technologie-UseCase-Matrix der Energieträger im WEM-Szenario 2040

ENERGIETRÄGER							
VKM-Diesel			VKM-Gas			PHEV	
Diesel fossil (in %)	Bio-Kraftstoff (in %)	E-Fuel (PtL) (in %)	CNG/LNG fossil (in %)	Biogas (in %)	E-Gas (PtG) (in %)	Kraftstoff (in %)	Strom (in %)
86	14	0	90	10	0	40	60

*Der Kraftstoff von PHEV hat dieselbe Zusammensetzung wie von VKM-Diesel

5.6 CO₂-Neutrale Technologie-UseCase-Matrix 2030 und 2040 (“ZERO-Szenario”)

In diesem **ZERO-Szenario** soll ein möglicher Pfad gezeigt werden, um den Straßengüterverkehr im Jahr **2040 klimaneutral** und daher mit keiner direkten CO₂-Emission darzustellen. **Dabei handelt es sich nicht um eine Handlungsempfehlung, sondern um einen möglichen, realistischen Weg zur Erreichung der Klimaziele.** Als Zwischenschritt dieses Weges wird zusätzlich das Jahr 2030 abgebildet. Zur Erreichung des Zieles werden die Anteile der Antriebsarten und Energieträger in der Technologie-UseCase-Matrix in Richtung CO₂-neutraler Technologien verlagert. Dies erfolgt unter Berücksichtigung der Bestandsentwicklung, der erwarteten Verfügbarkeit und Eigenschaften der Technologien sowie den Anforderungen der Use Cases. Die in Kapitel 4.3 prognostizierten Fahrleistungen für 2030 und 2040 werden in diesem Szenario nicht variiert. Damit die in diesem Szenario gezeigten Fahrleistungsanteile der Technologien und Use Cases erzielt werden können, muss eine Reihe von **Annahmen** getroffen werden, die **wie folgt beschrieben** werden:

- **Europaweite Zielsetzung der Klimaneutralität in 2040:**
Der größte Teil der Straßengüterverkehrsleistung in Österreich wird durch Nicht-AT-Fahrzeuge durchgeführt. Damit die Technologien im österreichischen Straßengüterverkehr in dem Ausmaß genutzt werden können, wie es in der Technologie-UseCase-Matrix vorgesehen ist, ist eine europaweite Infrastruktur sowie eine europaweite Änderung der Flotte notwendig. Es werden daher europaweite Anstrengungen zur Klimaneutralität im Jahr 2040 angenommen.
- **Wasserstoffinfrastruktur ist bis 2030 flächendeckend ausgebaut:**
Damit sich FCEV und VKM-H₂ durchsetzen können, ist eine entsprechende Infrastruktur mit Wasserstofftankstellen erforderlich. Aus diesem Grund ist eine möglichst rasche Umsetzung einer flächendeckenden Wasserstoffinfrastruktur notwendig.
- **Oberleitungsinfrastruktur auf den Hauptverkehrsachsen ist bis 2040 ausgebaut:**
O-EV benötigen eine Oberleitungsinfrastruktur. Der Ausbau dieser Infrastruktur an den Hauptverkehrsachsen ist daher wesentlich für die Umsetzung und Anwendung von O-EV. Aufgrund der (im Vergleich zu Wasserstoff) aufwändigeren Errichtung der Oberleitungsinfrastruktur, wird von einem (gegenüber Wasserstoff) späteren Anlauf ausgegangen. Es wird angenommen, dass ein Ausbau zunächst entlang der großen europäischen Achsen erfolgen wird. An diesen Achsen ist der Lkw-Verkehr ausreichend groß, um die Strecken durch entsprechende Nutzung rentabel betreiben zu können. Die (kostendeckenden) Nutzungsgebühren für die Oberleitungsinfrastruktur können auf diesen Strecken relativ niedrig gehalten werden und sind somit für die Nutzer auch attraktiv genug, um das Angebot in Anspruch zu nehmen. Die wichtigen europäischen Achsen werden durch das TEN-T Netz (Trans European

Network – Transport) definiert. Da jedoch nicht an allen TEN-T-Straßen in Österreich ein hohes Lkw-Aufkommen existiert, werden in Österreich zunächst nur jene Autobahnen des TEN-T Netzes elektrifiziert, die ein verhältnismäßig hohes Lkw-Aufkommen haben. Dies sind:

- Donau/West-Achse (A4-A21-A1-A8)
- Süd-Achse (A2)
- Brenner-Achse (A12-A13)
- BEV werden hauptsächlich für Inlandsverkehr und kürzere Strecken sowie niedrigere Lasten eingesetzt, da auf der Langstrecke bzw. für Schwerverkehr O-EV oder FCEV verfügbar, kostengünstiger und flexibler sind (wegen Annahme der vorhandenen Infrastruktur).
- Fahrzeugmodelle von VKM-Gas, BEV und FCEV sind in hoher Stückzahl ab spätestens 2025 verfügbar. Die Verfügbarkeit von Fahrzeugen, die die Oberleitungsinfrastruktur nutzen können, ist europaweit in ausreichender Stückzahl ab spätestens 2027 gegeben und wird bis 2035 stetig gesteigert.
- Reduktion der Anteile von VKM-Diesel zur Reduktion des Primärenergiebedarfs (basierend auf den Erkenntnissen aus [40]), jedoch unter Berücksichtigung der Flottenentwicklung sowie der Anwendung.
- Mindestens 20 % der Fahrleistung werden auch 2040 noch mit VKM-Diesel erbracht:
 Aufgrund des derzeitigen Mangels an Infrastruktur für O-EV und FCEV sowie entsprechenden Fahrzeugmodellen, kann der Anlauf der Neuzulassungen dieser Technologien erst verzögert erfolgen. Unter Berücksichtigung der Verfügbarkeit an Infrastruktur und Fahrzeugmodellen [36], der Flottenentwicklung (langsame Änderung des Fahrzeugbestands) [34], der Kosten (insbesondere von alternativen Kraftstoffen; siehe auch Kapitel 6.1 und Anhang) und des Faktums, dass die Fahrleistung mit dem Alter der Fahrzeuge abnimmt, wird die Änderung der Fahrleistungsanteile in der Technologie-UseCase-Matrix mit maximal 80 % bis 2040 abgeschätzt. Das bedeutet, dass mindestens 20 % der Fahrleistung durch bestehende VKM-Diesel (derzeit nahezu 100 %) abgedeckt werden und in diesem kurzen Zeitraum nicht durch andere Antriebsarten ersetzt werden können. Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass eine noch stärkere Änderung der Antriebstechnologie bei den neuzugelassenen Fahrzeugen zu einer längeren Behaltdauer von bestehenden VKM-Fahrzeugen führen könnte (z. B. bei Mangel an Fahrzeugmodellen oder höheren Kosten/Aufwand mit alternativen Antriebstechnologien), was einen höheren Fahrleistungsanteil von VKM-Fahrzeugen bewirken würde („Rebound Effekt“).
- Die Verfügbarkeit von regenerativen Kraftstoffen ist gewährleistet:
 Zur CO₂-neutralen Darstellung von VKM-Diesel/VKM-Gas werden in dieser Studie Biokraftstoff/Biogas sowie E-Fuels/E-Gas angesetzt. Es wird angenommen, dass diese Kraftstoffe in ausreichender Menge verfügbar sind. Aufgrund der erforderlichen Ressourcen zur Herstellung von Biokraftstoffen (Biomasse, Landnutzung etc.), wird davon ausgegangen, dass bis 2040 E-Fuels und E-Gas den größten Teil der Kraftstoffbeimischung ausmachen. Es wird angenommen, dass die Produktion von E-Fuels/E-Gas größtenteils nicht im Inland stattfinden wird, sondern, dass die ausreichende Bereitstellung insbesondere durch jene (erdölexportierenden) Staaten, die zugleich auch eine hohe Verfügbarkeit von Sonneneinstrahlung haben, erfolgender wird. Diese Annahme folgt der Einschätzung, dass diese Staaten auf die Erzeugung von E-Kraftstoffen umsteigen werden, um die zurückgehenden Einnahmen durch den reduzierten

Erdölbedarf ausgleichen zu können. Die bestehenden Transport- und Distributionskanäle für Erdöl werden dann zukünftig für Transport und Distribution der E-Fuels genutzt.

- Die Verfügbarkeit von Energieimporten ist gewährleistet:

Die Deckung des Energiebedarfs durch inländische Quellen ist nicht Gegenstand dieser Studie. Möglicherweise erforderliche Energieimporte, insbesondere von Wasserstoff und regenerativen Kraftstoffen, werden daher in diesem Szenario als gewährleistet angenommen (bezüglich regenerativer Kraftstoffe – siehe Ausführungen im vorangegangenen Aufzählungspunkt).

In einem Workshop mit relevanten Stakeholdern (beteiligte Stakeholder-Institutionen siehe Anhang) wurde ein aus diesen Annahmen resultierendes Zwischenergebnis der ZERO-Technologie-UseCase-Matrix präsentiert und diskutiert. Die Inputs der Stakeholder bzw. die Erkenntnisse aus der Diskussion im Rahmen dieses Workshops wurden in der weiteren Entwicklung der Technologie-UseCase-Matrix berücksichtigt.

Die aus diesen Annahmen und den Erkenntnissen des Stakeholder-Workshops resultierende Technologie-UseCase-Matrix der Antriebstechnologien ist für 2030 in Tabelle 11 dargestellt. Die angenommene Verlagerung von VKM-Diesel zu alternativen Antriebstechnologien ist zu erkennen. Die Unterschiede zwischen den Use Cases ergeben sich aus der Berücksichtigung der Anwendungsgebiete und deren Anforderungen. Der Anteil der O-EV liegt aufgrund des erwarteten verzögerten Hochlaufs der Oberleitungsinfrastruktur niedriger als FCEV und VKM-Gas.

Tabelle 11: Technologie-UseCase-Matrix der Antriebstechnologien im ZERO-Szenario 2030

Marktsegment			TECHNOLOGIEN							
Nr.	Strecke (in km)	Fahrzeug	VKM-Diesel	VKM-Gas	VKM H ₂	PHEV	BEV	O-EV	FCEV	SUMME
			Anteil (in %)	Anteil (in %)	Anteil (in %)	Anteil (in %)	Anteil (in %)	Anteil (in %)	Anteil (in %)	Anteil (in %)
1	alle (v.a. Kurzstrecke)	LNF ≤3,5t	72	0	0	5	20	0	3	100
2	bis 100	Solo LKW >3,5-10t	75	5	0	5	10	0	5	100
3	bis 100	Solo LKW >10-20t	79	5	0	1	5	0	10	100
4	bis 100	Solo LKW >20-30t	77	10	3	0	5	0	5	100
5	bis 100	LZ/SZ >30-40t	78	7	3	0	2	0	10	100
6	bis 100	LZ/SZ >30-40t	75	10	3	0	2	0	10	100
7	100 bis 200	Solo LKW >3,5-30t	72	10	1	0	2	0	15	100
8	100 bis 200	Solo LKW >3,5-30t	77	10	3	0	0	0	10	100
9	100 bis 200	LZ/SZ >30-40t	75	10	3	0	0	2	10	100
10	100 bis 200	LZ/SZ >30-40t	74	10	3	0	0	3	10	100
11	über 200	Solo LKW >3,5-30t	75	10	0	0	0	5	10	100
12	über 200	LZ/SZ >30-40t	80	10	0	0	0	5	5	100
13	alle (Ausland)	LZ/SZ >3,5-40t	75	10	0	0	0	5	10	100
14	alle (Ausland)	LZ/SZ >3,5-40t	75	10	0	0	0	5	10	100
15	alle (Ausland)	LZ/SZ >3,5-40t	75	10	0	0	0	5	10	100

In Tabelle 12 ist die Technologie-UseCase-Matrix der Energieträger für 2030 zu sehen. Es sind die angenommenen Anteile der Kraftstoffe zu erkennen, wobei der oben erwähnte höhere Anteil von E-Fuels/E-Gas (bis 2040) im Jahr 2030 noch nicht vorhanden ist, da erwartet wird, dass erst ein

Hochlauf der Produktion dieser Kraftstoffe stattfinden muss. Biokraftstoffe hingegen sind bereits heute weltweit in diesen Mengen verfügbar.

Tabelle 12: Technologie-UseCase-Matrix der Energieträger im ZERO-Szenario 2030

ENERGIETRÄGER							
VKM-Diesel			VKM-Gas			PHEV	
Diesel fossil (in %)	Bio-Kraftstoff (in %)	E-Fuel (PtL) (in %)	CNG/LNG fossil (in %)	Biogas (in %)	E-Gas (PtG) (in %)	Kraftstoff (in %)	Strom (in %)
65	15	20	80	10	10	60	40

*Der Kraftstoff von PHEV hat dieselbe Zusammensetzung wie von VKM-Diesel

Die Technologie-UseCase-Matrix der Antriebstechnologien für 2040 ist in Tabelle 13 abgebildet. Dieser kann eine starke Verlagerung der Fahrleistungsanteile von VKM-Diesel zu alternativen Antriebstechnologien entnommen werden. Durch die Annahme der ausgebauten Infrastruktur ergibt sich ein hoher Anteil an Wasserstoff- (FCEV und VKM-H₂) und Oberleitungs-Fahrzeugen (O-EV). Aus der Verfügbarkeit von O-EV und FCEV auf langen Strecken und für höhere Lasten ergibt sich der Einsatz von BEV hauptsächlich bei kürzeren Strecken bzw. niedrigen Lasten im Inland.

Tabelle 13: Technologie-UseCase-Matrix der Antriebstechnologien im ZERO-Szenario 2040

Marktsegment			TECHNOLOGIEN							
Nr.	Strecke (in km)	Fahrzeug	VKM-Diesel Anteil (in %)	VKM-Gas Anteil (in %)	VKM H ₂ Anteil (in %)	PHEV Anteil (in %)	BEV Anteil (in %)	O-EV Anteil (in %)	FCEV Anteil (in %)	SUMME (in %)
1	alle (v.a. Kurzstrecke)	LNF ≤3,5t	20	0	0	5	65	0	10	100
2	bis 100	Solo LKW >3,5-10t	20	5	0	5	55	0	15	100
3	bis 100	Solo LKW >10-20t	20	5	4	1	35	0	35	100
4	bis 100	Solo LKW >20-30t	35	15	10	0	20	0	20	100
5	bis 100	LZ/SZ >30-40t	20	10	10	0	20	0	40	100
6	bis 100	LZ/SZ >30-40t	25	15	10	0	10	0	40	100
7	100 bis 200	Solo LKW >3,5-30t	25	15	5	0	10	0	45	100
8	100 bis 200	Solo LKW >3,5-30t	30	15	10	0	5	5	35	100
9	100 bis 200	LZ/SZ >30-40t	23	15	10	0	2	10	40	100
10	100 bis 200	LZ/SZ >30-40t	25	15	10	0	0	15	35	100
11	über 200	Solo LKW >3,5-30t	25	15	0	0	0	25	35	100
12	über 200	LZ/SZ >30-40t	25	15	0	0	0	30	30	100
13	alle (Ausland)	LZ/SZ >3,5-40t	20	15	0	0	0	30	35	100
14	alle (Ausland)	LZ/SZ >3,5-40t	20	15	0	0	0	30	35	100
15	alle (Ausland)	LZ/SZ >3,5-40t	20	15	0	0	0	30	35	100

Tabelle 14 zeigt die Technologie-UseCase-Matrix der Energieträger im Jahr 2040. Dieser ist zu entnehmen, dass fossile Kraftstoffe vollständig durch erneuerbare Kraftstoffe ersetzt wurden. Dies ist zur Erreichung des Ziels von null direkten CO₂-Emissionen im Jahr 2040 in diesem Szenario erforderlich.

Tabelle 14: Technologie-UseCase-Matrix der Energieträger im ZERO-Szenario 2040

ENERGIETRÄGER							
VKM-Diesel			VKM-Gas			PHEV	
Diesel fossil (in %)	Bio-Kraftstoff (in %)	E-Fuel (PtL) (in %)	CNG/LNG fossil (in %)	Biogas (in %)	E-Gas (PtG) (in %)	Kraftstoff (in %)	Strom (in %)
0	25	75	0	15	85	40	60
*Der Kraftstoff von PHEV hat dieselbe Zusammensetzung wie von VKM-Diesel							

Es sei an dieser Stelle nochmals erwähnt, dass dieses Szenario keine Handlungsempfehlung darstellt, sondern einen realistischen, möglichen Weg zur Erreichung der Klimaziele aufzeigt.

5.7 Szenarien unter Berücksichtigung der ergänzenden Ansätze

5.7.1 Bewertung und Wechselwirkungen der ergänzenden Ansätze

Die in Kapitel 5.2 skizzierten ergänzenden organisatorischen und technologischen Ansätze, die neben dem Einsatz der neuen Antriebs- und Kraftstofftechnologien auf die Fahrleistung und/oder auf den Energieeinsatz im Straßengüterverkehr wirken, werden ihre Wirkungen in den 15 Use Cases unterschiedlich entfalten. Neben der potenziellen Stärke der Wirkung der genannten Ansätze auf Fahrleistung und/oder Energieeinsatz ist daher zunächst abzuschätzen, welche Ansätze für welche Marktsegmente relevant sind. Diese Einschätzung erfolgte in einem moderierten Projektteam-Workshop. Die unterschiedlichen Ausprägungen der Einschätzungen wurden durch ein Minimum- und ein Maximum Szenario dargestellt (siehe Tabelle 15).

Tabelle 15: Grundsätzliche Wirkungseinschätzung der ergänzenden Ansätze je Use Case

Ergänzende Ansätze und deren Einfluss (Wirkung) auf die Use Cases (0=nein, 1=ja)														
			City logistik		neue Umschlags-technologien		Verkehrssteuerung- und -leitung		Physical Internet		Platooning		automatisierte Transporte	
			Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
1	Lieferverkehr	KEP-Verteiltour innerstädtisch	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1
2	Inlandsverkehr Kurzstrecke sehr kleine Lkw	Umzugs-Lkw	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
3	Inlandsverkehr Kurzstrecke kleine Lkw	Filialbelieferung	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1
4	Inlandsverkehr Kurzstrecke große Lkw	Schotterfahren	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1
5	Inlandsverkehr Kurzstrecke SLZ leichte Güter	Möbeltransport	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1
6	Inlandsverkehr Kurzstrecke SLZ schwere Güter	Papiertransporte	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0
7	Inlandsverkehr Mittelstrecke ohne SLZ leichte Güter	Gemüselieferungen	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
8	Inlandsverkehr Mittelstrecke ohne SLZ schwere Güter	Transport von Pflanzenschutzmitteln	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0
9	Inlandsverkehr Mittelstrecke SLZ leichte Güter	Autozulieferer liefert an Produzenten	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1
10	Inlandsverkehr Mittelstrecke SLZ schwere Güter	Zementlieferung	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1
11	Inlandsverkehr Langstrecke ohne SLZ	Leergebindetransport	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
12	Inlandsverkehr Langstrecke SLZ	Fleischtransport	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	Quell/Ziel/Transitverkehr AT-Fzg	Textiltransport	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	Quell/Zielverkehr Nicht-AT-Fzg	Transport von Weißware	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	Transitverkehr nicht AT-Fzg	Sammelguttransport	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Um festzustellen, ob die einzelnen Ansätze grundsätzlich eine Fahrleistungsreduktion zulassen, wurde darüber hinaus analysiert, ob die Ansätze zumindest in einem der Bereiche

- Leerfahrtenreduktion
- Erhöhung Beladungsgrad
- Tourenoptimierung
- Verlagerung auf die Schiene (bzw. kombinierten Verkehr)

eine Wirkung erzielen könnten. Außerdem wurde diskutiert, ob neben den oben genannten fahrleistungsreduzierenden Wirkungen auch direkte energieeinsparenden Wirkungen (z.B. Windschattenfahren) ohne Fahrleistungsreduktion erzielt werden können.

Auch diese Bewertung erfolgte im genannten Projektteam-Workshop, wobei ein Einschätzungskonsens erreicht werden konnte (siehe Tabelle 16).

Tabelle 16: Fahrleistungs- und direkte energieverbrauchsreduzierende Wirkung von ergänzenden Ansätzen

Ergänzende Ansätze und Art der Wirkung auf die Fahrleistung bzw. direkt auf CO ₂ (0=nein, 1=ja)						
	City logistik	neue Umschlags-technologien	Verkehrssteuerung- und -leitung	Physical Internet	Platooning	automatisierte Transporte
Reduktion Leefahrten	1	1	0	1	0	0
Reduktion Fahrten durch Erhöhung Beladungsgrad	1	0	0	1	0	0
Tourenoptimierung (Reduktion "unnötige" km)	1	0	0	0	0	0
Verlagerung Schiene/KV	0	1	0	1	0	0
Direkte Wirkung auf FL (Leefahrten, Beladungsgrad, Touroptimierung, Schienenverlagerung)	1	1	0	1	0	0
Direkte CO ₂ -Einsparung (z.B durch Windschatten, Verbrauchsparend fahren)	0	0	0	0	1	1

Beide oben angeführten Einschätzungen hinsichtlich der grundsätzlichen Existenz von fahrleistungs- oder direkten energieverbrauchsreduzierenden Wirkungen lassen noch keine Einschätzung der Stärke der Wirkung zu. Dazu wurde eine umfangreiche Literatur- und Studienanalyse durchgeführt, um entsprechende Wirkungsanalysen in die Bewertung einfließen zu lassen.

Da in der Literatur die Einschätzungen zur Stärke der Wirkungen hinsichtlich Fahrleistungs- bzw. Energiereduktion in den meisten Fällen eine Bandbreite aufweisen, konnte die Entscheidung, ein Minimum- und Maximumszenario darzulegen genutzt werden, um die Bandbreite der Wirkungseinschätzungen aus der Literatur abzubilden.

Im Folgenden wird für jede Entwicklung dargelegt, welche Wirkungen, basierend auf existierenden Studien, zu erwarten sind und wie diese Wirkungspotenziale in die beiden Bewertungsszenarien einfließen:

- City Logistik / Smart Urban Logistics

Im Sachstandsbericht des Umweltbundesamtes [41] wird City Logistik („City Logistik-Maßnahmen zur Förderung von Betriebslogistikkonzepten zur Transportrationalisierung“) als relevante Maßnahme zur Reduktion des CO₂-Ausstoßes im Güterverkehr angeführt. Abhängig von der Intensität der Maßnahmen werden CO₂-Einsparungen in Tonnen CO₂-Äquivalenten ausgewiesen. Intensität 1 setzt die Förderung von alternativen Last-Mile Konzepten in der Stadt ab 2020 (z. B. Mikro-Hubs in Verbindung mit Transport-Fahrrädern) zur Effizienzsteigerung in City Logistik (z. B. durch White Labelling auf der Last Mile) voraus und sieht eine potenzielle Einsparung von 0,13 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalenten. Intensität 2 geht zusätzlich von Fahrverboten für LNF und SNF mit Verbrennungskraftmaschinen in Städten ab 2030 aus und ermöglicht eine Einsparung von 0,5 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalenten. Ausgehend von Emissionen im Ausmaß von ca. 1,6 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalenten, die der Sachstandsbericht für 2018 für die gesamten leichten Nutzfahrzeuge ausweist, bedeuten die absolut ausgedrückten Reduktionen mögliche Einsparungen im Ausmaß von ca. 8-30 % im Bereich der leichten Nutzfahrzeuge. Dabei ist jedoch zu beachten, dass der Technologieumstieg (durch Fahrverbote) in Intensität 2 bereits berücksichtigt ist und daher an dieser Stelle nicht nochmals eingerechnet werden darf (da er bereits in den CO₂-Reduktionen der Technologie-UseCase-Matrizen enthalten ist).

Andere Quellen (z.B. Kompetenznetz Intermodale Automatisierte Mobilität [42]) sprechen von CO₂-Reduktionen bis zu 40 % durch Citylogistik. Auch in diesen Abschätzungen sind bereits Reduktionen durch den Umstieg auf E-Mobilität in der Citylogistik mit enthalten.

Potenzialabschätzung:

- Einsparpotenzial Fahrleistung

Ausgehend von den obigen Ausführungen kann mit folgendem Fahrleistungsreduktions-Potenzial (unabhängig von der Technologieumstellung) durch diese Maßnahme für die von der Maßnahme beeinflussten Marktsegmente bis 2040 gerechnet werden:



Einsparpotential
Fahrleistung

Minimum: -8 %

Maximum: -10 %

Ein Gutteil der Wirkung (ca. 60 %) könnte bereits bis 2030 lukriert werden, da dazu keine hohen Investitionen und keine aufwendigen technologischen Entwicklungen erforderlich sind.

- Zusätzliche Energieeinsparung

Mit einer zusätzlichen Energieeinsparung (unabhängig vom Technologieumstieg und vom genannten Fahrleistungseinsparungspotenzial) kann nicht gerechnet werden.



Minimum: kein Potenzial vorhanden

Maximum: kein Potenzial vorhanden

- **Neue Umschlagstechnologien**

Konkrete Untersuchungen, welche Effekte die Weiterentwicklung neuer Umschlagstechnologien bzw. die bewusste Förderung des Einsatzes unterschiedlicher Umschlagstechnologien erzielen, existieren nur in sehr beschränktem Ausmaß. In Deutschland gibt es einige wenige Arbeiten, die sich mit dem Potenzial von Maßnahmen zur Verlagerung des Straßengüterverkehrs auf die Schiene und insbesondere auf den Kombinierten Verkehr beschäftigen. Bei diesen Arbeiten ist jedenfalls bei einer Umlegung auf Österreich zu bedenken, dass in Deutschland der Anteil der Schienentransportleistung an der gesamten Gütertransportleistung niedriger als in Österreich ist. Fraunhofer IML [43] weist in einer Studie ein Wachstumspotenzial für den Schienengüter von 5,5 % durch die Errichtung von multimodalen Logistikanlagen aus. Diese Einschätzung ist jedoch nur sehr schwer auf das Potenzial zur Reduktion der Straßenverkehrsleistung durch neue Umschlagstechnologien übertragbar, zeigt jedoch, dass in diesem Bereich Steigerungsmöglichkeiten vorhanden sind. Das DLR [44] hat in einer Studie Verlagerungspotenziale unterschiedlicher Szenarien ermittelt. Zwei dieser Szenarien beinhalten das Umsetzen/Fördern/Errichten von Umschlagstechnologien in unterschiedlichen Intensitäten. Im Szenario „Technologie Upgrade“ wird von einem Technologieförderprogramm ausgegangen, in dem die Mehrkosten für alle relevanten neuen Technologien (z.B. Umrüstung auf die automatische Kupplung, Sensorik, Umschlagtechnik etc.) durch den Staat getragen werden. Für dieses Szenario wurde eine Steigerung des Schienenanteils um 9 %-Punkte ermittelt. Im Szenario „Vom KV zur Multimodalität“ wird angenommen, dass 50 % der KV-affinen Güter (z.B. Maschinen, Textilien, Möbel, Sammelgut) mit einer Transportentfernung über 400 km vom konventionellen Verkehr (Straße, Schiene und Binnenschiff) auf den kontinentalen KV verlagert werden. Dies soll mithilfe massenleistungsfähiger Umschlaganlagen für alle Arten von allgemeinen Ladungsgütern ermöglicht werden. Bei den Umschlagstechnologien handelt es sich vor allen Dingen um massenleistungsfähige Technologien, die geeignet sind, diese Ladungsgüter auf Paletten und in Gitterboxen jeglicher Transportlosgröße, von einigen hundert Kilogramm bis hin zu ganzen Lkw-Partien, kosteneffizient umzuschlagen. Für dieses Szenario wurde eine Steigerung des Schienenanteils um 17 %-Punkte ermittelt. Beide Szenarien entsprechen nicht 1:1 dem ergänzenden Ansatz „Neue Umschlagstechnologien“, sind jedoch sehr stark mit dieser Thematik verknüpft und können somit als Basis für die Abschätzung der Wirkung solch neuer Umschlagstechnologien herangezogen werden.

Potenzialabschätzung:

- **Einsparpotenzial Fahrleistung**

Ausgehend von den Transportleistungszahlen in Deutschland 2016 (Jahr der Studie) für die Verkehrsträger Straße (479 Mrd. tkm) und Schiene (129 Mrd. tkm) und der oben berichteten

Anteilszunahme der Schiene in Prozentpunkten lässt sich die Reduktion der Straßentransportleistung in den beiden oben beschriebenen Szenarien ableiten. Diese werden als Minimum und Maximum der Wirkung des ergänzenden Ansatzes „Neue Umschlagstechnologien“ bis 2040 für die von der Maßnahme beeinflussten Marktsegmente angesetzt:



Minimum: -11 %

Maximum: -22 %

Aufgrund erforderlicher Innovationen und technologischer Entwicklungen sowie zu tätiger Investitionen wird bis 2030 nur ca. 30 % dieser Wirkung lukriert werden.

– **Zusätzliche Energieeinsparung**

Mit einer zusätzlichen Energieeinsparung (unabhängig vom Technologieumstieg und vom genannten Fahrleistungseinsparungspotenzial) kann nicht gerechnet werden.



Minimum: kein Potenzial vorhanden

Maximum: kein Potenzial vorhanden

• **Verkehrssteuerung und -leitung**

Dieses Thema deckt ein breites Spektrum an Möglichkeiten, in die Verkehrsabwicklung einzugreifen ab. Ein wesentliches Ziel ist die Erreichung von optimierten Verkehrsabläufen aus Sicht des Gesamtverkehrssystems und nicht aus Sicht der einzelnen Verkehrsteilnehmer. Damit soll die Gesamtzeit, die alle Verkehrsteilnehmer im System verbringen, reduziert werden und durch einen flüssigen Verkehrsablauf Emissionen und Ressourcenverbrauch des Verkehrs reduziert werden. Solange die Optimierung innerhalb eines Verkehrsträgers erfolgt, sind daher kaum Fahrleistungsreduktionen zu erwarten, sondern vor allem Energieeinsparungspotenzial zu erwarten sind. Einsparung können durch intelligente Verknüpfung solcher Steuerungssysteme mit Tourenoptimierungssystemen erzielt werden, wenn die Steuerungssysteme direkt in die Tourenoptimierung eingreifen. Weitaus stärkere Fahrleistungseffekte sind jedoch erst durch eine Verkehrssteuerung, die die relevanten Verkehrsträger verknüpft, erzielbar. Studien, die sich mit den potenzialen von Verkehrssteuerungssystem auseinandersetzen, beziehen sich nahezu ausschließlich auf eine Steuerung des Straßenverkehrs. So geht eine Publikation des ADAC [45] davon aus, dass eine intelligente Netzsteuerung, die das gesamte Straßenverkehrsaufkommen berücksichtigt und die Ampelanlagen optimal aufeinander abstimmt, den CO₂-Ausstoß in den Bereichen, die entsprechend gesteuert werden, um 15 Prozent senken kann.

Potenzialabschätzung:

- Einsparpotenzial Fahrleistung

Einschätzungen zu potenziellen Fahrleistungseinsparungen im Bereich Güterverkehr (sowohl bezüglich Eingriff von Systemen in die Tourenoptimierung als auch bezüglich einer verkehrsträgerübergreifenden Steuerung) sind keine bekannt. Die angeführten Reduktionspotenziale sind daher Annahme des Projektteams und gehen davon aus, dass eine etwa halb so starke Wirkung wie bei der Energiereduktion bei der Fahrleistung erzielt werden kann.



Minimum: -3 %
Maximum: -6 %

- Zusätzliche Energieeinsparung

Ausgehend von den oben angeführt CO₂-Reduktionserwartungen aus der Literatur, die im Wesentlichen auf Grund von optimierten Verkehrsabläufen, die eine Verbrauchsreduktion ermöglichen, entstehen, können diese Reduktionspotenziale auch auf die Energieeinsparung (durch Verbrauchsreduktion) übertragen werden. Da die angeführten Einsparungen insbesondere durch miteinander kommunizierenden Signal- und Lenkungseinrichtungen entstehen, können Einsparung nur dort stattfinden, wo solche existieren bzw. zukünftig durch Roadside Units direkt in die Fahrzeuge übertragen werden können. Daher sind die Einsparungspotenziale über das Gesamte Verkehrsgeschehen abzuschwächen.



Minimum: -5 %
Maximum: -10 %

- Physical Internet

Die letzten Jahre waren insbesondere aus wissenschaftlicher Sicht von enorm hohen Erwartungen an das Physical Internet hinsichtlich Umgestaltung der Logistik hin zu deutlich erhöhter ökologischer Nachhaltigkeit geprägt. So spricht beispielsweise die „Roadmap to the Physical Internet“, die im Rahmen des EU-Forschungsprojektes SENSE [46] erarbeitet wurde, von einem Fahrleistungseinsparungspotenzial von 22 %, einem CO₂-Einsparungspotenzial von 50 %, einer Effizienzsteigerung um 15 % und eine Fahrzeugauslastungserhöhung um 20 %. Andere Quellen [47] erwarten insbesondere eine deutliche Erhöhung der Auslastung der Fahrzeuge (von durchschnittlich 43 % auf 85 %).

Das Konzept für dieses weltumspannende, standardisierte System setzt sich aus etlichen Bausteinen zusammen, die, jeder für sich unverzichtbar, wesentlich zur Erreichung des übergeordneten Ziels, der Errichtung eines Physical Internet, beitragen. Fragen zum Handling der Güter (Transport, modulare Transportbehälter, Lagerstätten etc.), IT-Problemstellungen (Schnittstellen, Datenformate, Datenhoheit etc.), rechtliche und organisatorische Herausforderungen und anderes sind am Weg dorthin zu klären. Um diese Hürden zu beseitigen gibt es viele Einzelansätze in den verschiedenen Bereichen, eine akkordierte Aktion fehlt jedoch. Welche Lösungen sich in welcher Ausprägung, in welchem Tempo und mit welchen Wechselwirkungen durchsetzen werden ist aus heutiger Sicht also nicht verlässlich abschätzbar. Wesentliche Einsparungspotenziale, wie sie in den oben angeführten Arbeiten angeführt sind, können in dieser frühen Phase der Entwicklung jedenfalls noch nicht erwartet werden.

Potenzialabschätzung:

- Einsparpotenzial Fahrleistung

Ausgehend von den oben angeführten Überlegungen und der Vergleichbarkeit der Wirkung dieses vor allem den Fernverkehr betreffenden Ansatzes mit dem Ansatz der City Logistik für den Verteilverkehr werden als Minimum und Maximum der Wirkung des ergänzenden Ansatzes „Physical Internet“ bis 2040 für die von der Maßnahme beeinflussten Marktsegmente folgende Werte angesetzt:



Minimum: -8 %
Maximum: -10 %

Erste wichtige Umsetzungserfolge werden bereits bis 2030 erwartet. Davon ausgehend wird angenommen, dass 40 % der Wirkung im Jahr 2040 bereits im Jahr 2030 erreicht werden können.

- Zusätzliche Energieeinsparung

Mit einer zusätzlichen Energieeinsparung (unabhängig vom Technologieumstieg und vom genannten Fahrleistungseinsparungspotenzial) kann nicht gerechnet werden.



Minimum: kein Potenzial vorhanden
Maximum: kein Potenzial vorhanden

- Platooning

Das Truck-Platooning wurde in Holland bereits im Februar 2015 von Scania auf öffentlichen Straßen erprobt. Vier Wochen später präsentierte DAF sein Projekt "Eco Twin", bei dem auf der N 270 zwei mit Wi-Fi verbundene Lkw unterwegs waren, ohne dass der Fahrer im zweiten Fahrzeug noch beschleunigen, bremsen oder steuern musste. Die Hersteller rechneten mit einer Verbrauchsreduktion von bis zu zehn Prozent [48].

MAN hat 2019 in einem Feldversuch Platooning mit zwei Lkw über 35.000 km auf der A9 zwischen München und Nürnberg getestet. Die erhoffte Treibstoff-Ersparnis von bis zu acht Prozent stellte sich jedoch nicht ein. In der Bilanz waren es gerade einmal drei bis vier Prozent [49]. Es wurde vermutet, dass, wenn sich später einmal mehrere Lastwagen zu einem Güterzug auf Rädern eng zusammenschließen, der Spareffekt deutlich ansteigen könnte. Der Abstand zwischen den beiden Lkw betrug im beschriebenen Test 50 Meter.

Im Projekt I-AT, das 2017 von der Euregio gestartet wurde, identifizierten die Forscher einen Bereich des idealen Abstands zwischen den Zugmaschinen, bei dem – abhängig von den Gegebenheiten – die nachfolgenden Lkw vom „Saugeffekt“ des vorausfahrenden Lkw profitieren können. Dieser Effekt kann zu Kraftstoffeinsparungen von 5 bis 15 Prozent führen [50] [51] [52] [53] [54]. Wenn der Abstand zwischen den Lastwagen zu groß ist, neigen außerdem andere Verkehrsteilnehmer dazu, dazwischen einzuscheren und den Platoon zu sprengen, während bei einem zu geringen Abstand die Gefahr besteht, dass das automatische Notbremssystem aktiviert wird.

Potenzialabschätzung:

- Einsparpotenzial Fahrleistung

Durch Platooning wird die Straßentransportleistung nicht reduziert, es können nur Treibstoff- bzw. Energieeinsparungen erzielt werden.



Minimum: kein Potenzial vorhanden

Maximum: kein Potenzial vorhanden

- Zusätzliche Energieeinsparung

Wie oben angeführt weisen Studien ein Treibstoffeinsparungspotenzial von 5 % bis maximal 15 % bei jenen Fahrzeugen aus, die im Platoon fahren, Abschätzungen zur potenziellen Durchdringung von Platooning gibt es jedoch keine. Aus diesem Grund wurde diesbezüglich die Annahme getroffen, dass bis 2040 potenziell bis zu 50 % der Fahrzeugkilometer im Langstreckensegment (auf Autobahnen) im Platoon abgewickelt werden. Damit und unter der Berücksichtigung, dass das erste und das letzte Fahrzeug im Platoon weniger Einsparung erzielen können, kann in den Langstreckensegmenten mit einer Energieeinsparung von ca. 2-5 % gerechnet werden.



Minimum: -2 %

Maximum: -5 %

Noch erforderliche Weiterentwicklungen insbesondere hinsichtlich entsprechender Geschäftsmodelle, um Platooning auch mit Fahrzeugen unterschiedlicher Frächter zu ermöglichen, lassen erwarten, dass die Einsparung bis 2030 nur ungefähr 20 % der Einsparungsmöglichkeiten bis 2040 ausmachen werden.

- **Autonomes Fahren**

Der im vorigen Punkt beschriebene Ansatz „Platooning“ stellt eine erste Stufe des autonomen Fahrens dar. Im Gegensatz zu Platooning fahren autonome Fahrzeuge (Stufe 5) komplett ohne Fahrer und sind mit den anderen Fahrzeugen vernetzt und in ständigem Informationsaustausch, um die Abläufe des einzelnen Fahrzeuges und der gesamten autonomen Flotte zu optimieren. Dadurch kann der Energiebedarf des Gesamtsystems reduziert werden. Je mehr Fahrzeuge autonom und vernetzt unterwegs sind desto höher ist dieses Einsparungspotenzial. Dementsprechend hängt dieses Potenzial von der Durchdringung des Gesamtverkehrs mit autonomen Fahrzeugen ab.

Eine Studie von Fraunhofer ISI aus 2019 [55] ermittelte für zwei Szenarien („Welt des Fahrzeugbesitzes“ und „Welt der Mobilitätsdienstleistungen“) die CO₂-Reduktionspotenziale sowohl der primären (Technologieeffekte unter ceteris paribus, also ohne verkehrliche Effekte) als auch der sekundären (verkehrliche Effekte durch Kostenveränderungen etc.) Effekte. Für Lkw weist die Studie dabei für 2040 eine Reduktionspotenzial (primäre und sekundäre Effekte in Summe) von ca. 8 % bis ca. 11 % aus. Die Wirkung wird dabei fast ausschließlich über Energieeinsparung und nicht über Verkehrsleistungseinsparung erzielt.

Potenzialabschätzung:

- **Einsparpotential Fahrleistung**

Die Ergebnisse der Fraunhofer-Studie werden übernommen. Diese weisen ein nahezu nicht vorhandenes Potenzial bei der Einsparung der Fahrleistung bei Lkw aus und werden daher mit 0 % für 2030 und 2040 angesetzt.



Minimum: kein Potenzial vorhanden

Maximum: kein Potenzial vorhanden

- Zusätzliche Energieeinsparung

Folgende Ergebnisse der Fraunhofer-Studie für die Einsparung von CO₂ werden als Energieeinsparung angesetzt und für die vorliegende Abschätzung für die Wirkung in den von der Maßnahme beeinflussten Marktsegmente für 2040 übernommen:



Minimum: -8 %

Maximum: -11 %

Autonomes Fahren der Stufe 5 erfordert weitere technologische Entwicklungen. Bis 2030 wird es zwar erste Fahrzeuge geben, die zumindest Stufe 4 umsetzen, eine Durchdringung, die auch eine wirksame Vernetzung ermöglichen wird, erscheint jedoch bis 2030 kaum umsetzbar. Bis 2030 werden daher max. 20 % der erreichbaren Einsparungen erzielt werden.

Die folgende Tabelle 17 fasst die berücksichtigten Einzelwirkungen der ergänzenden Ansätze zusammen:

Tabelle 17: Reduktionspotenziale ergänzender Ansätze

Reduktionspotenziale Fahrleistung und Energie (ohne Fahrleistung)													
		City logistik		neue Umschlags-technologien		Verkehrssteuerung- und -leitung		Physical Internet		Platooning		automa-tisierte Transporte	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Fahr-leistung	2030	-5%	-6%	-3%	-7%	-2%	-3%	-3%	-4%	0%	0%	0%	0%
	2040	-8%	-10%	-11%	-22%	-3%	-6%	-8%	-10%	0%	0%	0%	0%
Energie (ohne Fahr-leistung)	2030	0%	0%	0%	0%	-3%	-5%	0%	0%	0%	-1%	-2%	-2%
	2040	0%	0%	0%	0%	-5%	-10%	0%	0%	-2%	-5%	-8%	-11%

Die angeführten Werte stellen die Reduktionspotenziale unter der Voraussetzung dar, dass jeweils nur einer der Ansätze umgesetzt wird. Werden alle Ansätze bis zum jeweiligen Zeithorizont umgesetzt, so ergeben sich Wechselwirkungen zwischen einigen dieser Ansätze, die zu berücksichtigen sind, um potenzielle Wirkungen nicht doppelt in die Gesamtbetrachtung einfließen zu lassen.

Relevante Wechselwirkungen sind:

- Platooning ist eine Vorstufe des vollständigen autonomen Fahrens. Wenn das autonome Fahren seine Wirkung entfaltet, inkludiert diese Wirkung auch die Wirkung von Platooning.
- City Logistik und Verkehrssteuerung beinhalten zum Teil ähnliche Aspekte (spezifische Telematikanwendungen sind Voraussetzung für spezifische Komponenten einer umfassenden

City Logistik). Deren Wirkungen sind daher etwas überlappend. Dies ist bei der Gesamtbetrachtung zu berücksichtigen.

- Die Umsetzung von Physical Internet (PI) benötigt unter anderem auch neue Umschlagstechnologien, um den Zugang zur Schiene zu verbessern und so das Konzept des PI auch ökologisch nachhaltig gestalten zu können. Effekte, die bereits bei der Umsetzung neuer Umschlagstechnologien erreicht werden, können bei Umsetzung von PI nicht nochmals angerechnet werden, sie werden aber durch PI-Konzepte verstärkt.
- Bei der Umsetzung von Autonomem Fahren erfolgt auch eine Vernetzung der im Verkehr befindlichen Fahrzeuge und eine Vernetzung der Fahrzeuge mit der Infrastruktur mittels intelligenter Verkehrsinfrastrukturen. Wesentliche Komponenten dieser intelligenten Verkehrsinfrastrukturen sind Verkehrssteuerungs- und -leitsysteme. Diese Systeme erzeugen ihre Wirkung auch ohne die Umsetzung des autonomen Fahrens. Werden jedoch die Wirkungen des autonomen Fahrens berücksichtigt, so sind in diesen (von der Fraunhofer-Studie – siehe oben – abgeleiteten) Wirkungen auch die des vernetzten Fahrens, das mittels intelligenter Verkehrssysteme erreicht wird, enthalten. Wirkungen durch intelligente Verkehrssysteme können in diesem Fall nicht zusätzlich berücksichtigt werden.

Um die potenziellen Wirkungen der ergänzenden Ansätze zu erhalten wurden die Informationen in Tabelle 15, Tabelle 16 und Tabelle 17 multiplikativ verknüpft. So konnten die Einzelwirkungen erarbeitet werden. Unter Berücksichtigung der angeführten Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Ansätzen und der multiplikativen Verknüpfung der Einzelwirkungen wurde eine Gesamtwirkung (hinsichtlich der Fahrleistungsreduktion und einer darüber hinaus erzielbaren Primärenergieeinsatzreduktion) in Summe über alle ergänzenden Ansätze in den Jahren 2030 und 2040 abgeschätzt. Dies erfolgte für ein Minimal- und ein Maximalszenario basierend auf den unterschiedlichen Einschätzungen in den genannten Tabellen.

Tabelle 18: Veränderung der Fahrleistung (FL) und zusätzliche Veränderung des Primärenergieeinsatzes (E) durch die Umsetzung der ergänzenden Ansätze

Veränderung der Fahrleistung (FL) und zusätzliche Veränderung des Primärenergieeinsatzes (E) durch die Umsetzung der ergänzende Ansätze			2030				2040			
			Min		Max		Min		Max	
			FL	E	FL	E	FL	E	FL	E
1	Lieferverkehr	KEP-Verteiltour innerstädtisch	-5%	-1%	-7%	-5%	-8%	-1%	-12%	-11%
2	Inlandsverkehr Kurzstrecke sehr kleine Lkw	Umzugs-Lkw	-5%	0%	-7%	-5%	-8%	0%	-12%	-10%
3	Inlandsverkehr Kurzstrecke kleine Lkw	Filialbelieferung	-5%	0%	-7%	-5%	-8%	0%	-12%	-11%
4	Inlandsverkehr Kurzstrecke große Lkw	Schotterfahren	0%	0%	-3%	-5%	0%	0%	-6%	-11%
5	Inlandsverkehr Kurzstrecke SLZ leichte Güter	Möbeltransport	0%	0%	-11%	-5%	0%	0%	-21%	-11%
6	Inlandsverkehr Kurzstrecke SLZ schwere Güter	Papiertransporte	0%	0%	-7%	-5%	0%	0%	-15%	-10%
7	Inlandverkehr Mittelstrecke ohne SLZ leichte Güter	Gemüselieferungen	0%	0%	-7%	-5%	0%	0%	-12%	-10%
8	Inlandverkehr Mittelstrecke ohne SLZ schwere Güter	Transport von Pflanzenschutzmitteln	0%	0%	-7%	-5%	0%	0%	-15%	-10%
9	Inlandverkehr Mittelstrecke SLZ leichte Güter	Autozulieferer liefert an Produzenten	0%	0%	-11%	-5%	0%	0%	-30%	-11%
10	Inlandverkehr Mittelstrecke SLZ schwere Güter	Zementlieferung	0%	0%	-11%	-5%	0%	0%	-30%	-11%
11	Inlandverkehr Langstrecke ohne SLZ	Leergebindetransport	-5%	-2%	-11%	-5%	-15%	-8%	-21%	-11%
12	Inlandverkehr Langstrecke SLZ	Fleischtransport	-5%	-2%	-11%	-5%	-15%	-8%	-30%	-11%
13	Quell/Ziel/Transitverkehr AT-Fzg	Textiltransport	-5%	-2%	-11%	-5%	-15%	-8%	-30%	-11%
14	Quell/Zielverkehr Nicht-AT-Fzg	Transport von Weißware	-5%	-2%	-11%	-5%	-15%	-8%	-30%	-11%
15	Transitverkehr nicht AT-Fzg	Sammelguttransport	-5%	-2%	-11%	-5%	-15%	-8%	-30%	-11%

5.7.2 Auswirkungen der ergänzenden Ansätze auf Fahrleistung und Primärenergiebedarf

Ausgehend von den in Tabelle 18 angeführten zu erwartenden Veränderungen der Fahrleistung und der zusätzlichen Veränderung des Energieeinsatzes (über jene Veränderung, die durch die Fahrleistungsänderung entsteht, hinaus) durch die Umsetzung der ergänzenden Ansätze (City Logistik, Umschlagstechnologien, Verkehrssteuerung und -leitung, Physical Internet, Platooning und autonomes Fahren) und den in Kapitel 4.3 angeführten Fahrleistungsprognosen je Marktsegment

ergeben sich folgende potenziellen Fahrleistungen je Use Case für das Minimal- und das Maximal-Szenario in den Jahren 2030 und 2040:

Tabelle 19: Fahrleistung bei Umsetzung ergänzender Ansätze

Fahrleistung (FL) Straßengüterverkehr 2030 und 2040 (Basis und Szenarien ergänzender Ansätze)									
Mio. Fzgkm			2018	2030			2040		
				Basis (ohne erg. Ansätze)	Min Um- setzung und Wirkung der erg. Ansätze	Max Um- setzung und Wirkung der erg. Ansätze	Basis (ohne erg. Ansätze)	Min Um- setzung und Wirkung der erg. Ansätze	Max Um- setzung und Wirkung der erg. Ansätze
1	Lieferverkehr	KEP-Verteiltour innerstädtisch	97	131	125	122	152	140	133
2	Inlandsverkehr Kurzstrecke sehr kleine Lkw	Umzugs-Lkw	36	34	32	32	33	30	29
3	Inlandsverkehr Kurzstrecke kleine Lkw	Filialbelieferung	252	252	240	235	252	232	221
4	Inlandsverkehr Kurzstrecke große Lkw	Schotterfahren	304	395	395	383	451	451	424
5	Inlandsverkehr Kurzstrecke SLZ leichte Güter	Möbeltransport	276	276	276	246	276	276	217
6	Inlandsverkehr Kurzstrecke SLZ schwere Güter	Papiertransporte	134	133	133	124	133	133	113
7	Inlandverkehr Mittelstrecke ohne SLZ leichte Güter	Gemüselieferungen	175	175	175	162	175	175	153
8	Inlandverkehr Mittelstrecke ohne SLZ schwere Güter	Transport von Pflanzenschutzmitteln	110	113	113	106	113	113	96
9	Inlandverkehr Mittelstrecke SLZ leichte Güter	Autozulieferer liefert an Produzenten	113	128	128	114	130	130	90
10	Inlandverkehr Mittelstrecke SLZ schwere Güter	Zementlieferung	71	71	71	63	71	71	49
11	Inlandverkehr Langstrecke ohne SLZ	Leergebindetransport	339	423	402	377	465	398	367
12	Inlandverkehr Langstrecke SLZ	Fleischtransport	219	231	220	205	231	197	161
13	Quell/Ziel/Transitverkehr AT- Fzg	Textiltransport	128	127	121	113	126	108	88
14	Quell/Zielverkehr Nicht-AT- Fzg	Transport von Weißware	1.176	1.673	1.592	1.485	1.937	1.655	1.349
15	Transitverkehr nicht AT-Fzg	Sammelguttransport	1.606	2.093	1.992	1.859	2.389	2.041	1.664
Gesamter Straßengüterverkehr			5.035	6.256	6.015	5.625	6.935	6.150	5.155

Unter Berücksichtigung dieser potenziellen Fahrleistungsveränderungen (durch die Umsetzung der beschriebenen ergänzenden Ansätze) sowie aufgrund der darüber hinaus gehenden zusätzlichen potenziellen Veränderung des primären Energieeinsatzes durch die ergänzenden Ansätze ergeben sich folgende Primärenergiebedarfe im Zero-Emission-Szenario (basierend auf dem ZERO-Emissionen-Technologie Einsatz je Marktsegment (siehe Kapitel 5.6)):

Tabelle 20: Primärenergiebedarf ZERO-Szenario 2030 bei Umsetzung ergänzender Ansätze

Primärenergieeinsatz im Straßengüterverkehr, ZERO-Szenario 2030 Basis und Szenarien ergänzender Ansätze								
			2018	Basis (ohne erg. Ansätze)	Min. Umsetzung und Wirkung der erg. Ansätze		Max. Umsetzung und Wirkung der erg. Ansätze	
					nur durch FL-Än- derung	zusätz- lich durch direkte Energie- ein- sparung	nur durch FL-Än- derung	zusätz- lich durch direkte Energie- ein- sparung
1	Lieferverkehr	KEP-Verteiltour innerstädtisch	102	119	113	113	111	105
2	Inlandsverkehr Kurzstrecke sehr kleine Lkw	Umzugs-Lkw	70	61	58	58	57	54
3	Inlandsverkehr Kurzstrecke kleine Lkw	Filialbelieferung	676	645	614	614	599	569
4	Inlandsverkehr Kurzstrecke große Lkw	Schotterfahren	1.031	1.334	1.334	1.334	1.294	1.229
5	Inlandsverkehr Kurzstrecke SLZ leichte Güter	Möbeltransport	1.074	1.073	1.073	1.073	957	910
6	Inlandsverkehr Kurzstrecke SLZ schwere Güter	Papiertransporte	653	652	652	652	607	577
7	Inlandverkehr Mittelstrecke ohne SLZ leichte Güter	Gemüselieferungen	492	481	481	481	447	425
8	Inlandverkehr Mittelstrecke ohne SLZ schwere Güter	Transport von Pflanzenschutzmitteln	361	375	375	375	349	332
9	Inlandverkehr Mittelstrecke SLZ leichte Güter	Autozulieferer liefert an Produzenten	480	554	554	554	492	467
10	Inlandverkehr Mittelstrecke SLZ schwere Güter	Zementlieferung	333	331	331	331	294	280
11	Inlandverkehr Langstrecke ohne SLZ	Leergebindetransport	917	1.160	1.104	1.086	1.035	983
12	Inlandverkehr Langstrecke SLZ	Fleischtransport	911	949	903	889	843	801
13	Quell/Ziel/Transitverkehr AT- Fzg	Textiltransport	516	505	480	473	448	426
14	Quell/Zielverkehr Nicht-AT- Fzg	Transport von Weißware	4.893	6.952	6.615	6.509	6.173	5.864
15	Transitverkehr nicht AT-Fzg	Sammelguttransport	6.601	8.426	8.017	7.889	7.481	7.107
Gesamter Straßengüterverkehr			19.109	23.617	22.706	22.431	21.186	20.127

Tabelle 21: Primärenergiebedarf ZERO-Szenario 2040 bei Umsetzung ergänzender Ansätze

Primärenergieeinsatz im Straßengüterverkehr, ZERO-Szenario 2040 Basis und Szenarien ergänzender Ansätze								
			2018	Basis (ohne erg. Ansätze)	Min. Umsetzung und Wirkung der erg. Ansätze		Max. Umsetzung und Wirkung der erg. Ansätze	
					nur durch FL-Än- derung	zusätz- lich durch direkte Energie- ein- sparung	nur durch FL-Än- derung	zusätz- lich durch direkte Energie- ein- sparung
1	Lieferverkehr	KEP-Verteiltour innerstädtisch	102	100	92	91	88	78
2	Inlandsverkehr Kurzstrecke sehr kleine Lkw	Umzugs-LKW	70	45	42	42	40	36
3	Inlandsverkehr Kurzstrecke kleine Lkw	Filialbelieferung	676	524	483	483	459	409
4	Inlandsverkehr Kurzstrecke große Lkw	Schotterfahren	1.031	1.545	1.545	1.545	1.452	1.293
5	Inlandsverkehr Kurzstrecke SLZ leichte Güter	Möbeltransport	1.074	1.012	1.012	1.012	798	710
6	Inlandsverkehr Kurzstrecke SLZ schwere Güter	Papiertransporte	653	663	663	663	561	505
7	Inlandverkehr Mittelstrecke ohne SLZ leichte Güter	Gemüselieferungen	492	475	475	475	416	375
8	Inlandverkehr Mittelstrecke ohne SLZ schwere Güter	Transport von Pflanzenschutzmitteln	361	376	376	376	318	286
9	Inlandverkehr Mittelstrecke SLZ leichte Güter	Autozulieferer liefert an Produzenten	480	571	571	571	397	354
10	Inlandverkehr Mittelstrecke SLZ schwere Güter	Zementlieferung	333	333	333	333	232	207
11	Inlandverkehr Langstrecke ohne SLZ	Leergebindetransport	917	1.275	1.090	1.002	1.005	895
12	Inlandverkehr Langstrecke SLZ	Fleischtransport	911	885	756	696	617	549
13	Quell/Ziel/Transitverkehr AT- Fzg	Textiltransport	516	470	401	369	327	291
14	Quell/Zielverkehr Nicht-AT- Fzg	Transport von Weißware	4.893	7.556	6.456	5.940	5.263	4.684
15	Transitverkehr nicht AT-Fzg	Sammelguttransport	6.601	8.549	7.304	6.720	5.955	5.300
Gesamter Straßengüterverkehr			19.109	24.381	21.599	20.318	17.929	15.970

Der steigende Primärenergiebedarf im ZERO-Szenario (von 2018 bis 2030 +24 % und 2040 +28 %) wird durch die Umsetzung der güterverkehrsrelevanten ergänzenden Ansätze bis 2030 nicht so hoch ausfallen (im besten Fall +5 %). Bis 2040 ist durch die Umsetzung der ergänzenden Maßnahmen eine Reduktion des Energiebedarfs um bis zu -16 % möglich.

6 Entwicklungspfade

In diesem Kapitel werden zunächst die notwendigen monetären Aufwendungen für die Implementierung der einzelnen Technologien und der zur Umsetzung benötigten Infrastruktur eruiert. Dazu wird die vorgehensweis, notwendige Annahmen und genutzten Quellen dargelegt. Die konkreten ermittelten (realen) Kostenveränderungen in den Jahren 2030 und 2040 in den beiden Szenarien (WEM und ZERO) im Vergleich zu den aktuellen Kosten werden im Detail im Anhang dargelegt.

In einem zweiten Kapitel werden die aus Sicht der relevanten Stakeholder notwendigen zusätzlichen Maßnahmen, um den für das ZERO-Szenario skizzierten Technologiemix je Use Case zu erreichen, dargelegt.

6.1 Technologie- und Infrastrukturkosten bis 2040

Damit die ökonomischen Effekte des CO₂-neutralen Straßengüterverkehrs (siehe Kapitel 5.6) abgeschätzt werden können, werden die Nutzerkosten der einzelnen Technologien je nach Use Case benötigt. Dabei werden sowohl die Kosten der Fahrzeugtechnologien als auch die benötigten Infrastrukturinvestitionen betrachtet. Alle Kosten werden exkl. Umsatzsteuer, jedoch inkl. allfälliger anderer Steuern und Abgaben nach aktuellem Steuerrecht (z. B. Mineralölsteuer) berechnet.

Da derzeit VKM-Diesel nahezu 100 % der genutzten Fahrzeuge im Straßengüterverkehr ausmachen, sind die Kosten für diese Antriebstechnologie in allen gewählten Use Cases sehr gut bekannt. Die Daten für die Kostenberechnung für VKM-Diesel wurden aus den durchschnittlichen, ermittelten Kosten aus zahlreichen Kunden- und Forschungsprojekten von Econsult bzw. aus den gesetzlichen Vorgaben der Maut [56] bzw. KFZ-Steuer [57] entnommen. Die Kraftstoffkosten wurden mit den Verbräuchen aus HBEFA [33] und den Kosten pro Liter Diesel im Jahr 2018 nach [58] berechnet. Die für diese Untersuchung relevanten und daher berücksichtigten Kostenpositionen sind:

- Investitionskosten in das Fahrzeug abzüglich des Wiederkaufswerts
- Fahrzeugversicherung
- Autobahnmaut
- KFZ-Steuer
- Kraftstoffkosten

Vernachlässigt wurden die Kosten für Personal, die von der Wahl der Antriebsart nicht berührt werden, sowie von Reparatur und Wartung, welche aufgrund ihres niedrigen Anteils an den Gesamtkosten und den geringen Unterschieden zwischen den Antriebstechnologien keinen großen Einfluss auf die Kostenbetrachtung ausüben.

Mangels verfügbarer Daten für Fahrzeuge mit alternativen Antriebstechnologien, wurde auf Basis der Kostenberechnung von VKM-Diesel für jede Technologie und jeden Use Case ein Kostenmodell entwickelt. Dieses besteht aus den oben gezeigten Kostenpositionen, wobei diese je nach Technologie weiter unterteilt sein können. In den Investitionskosten werden die Kosten für den VKM-Antrieb durch die Kosten der alternativen Antriebskomponenten (z. B. Batterie und E-Antrieb bei BEV) ersetzt. Die Energiekosten (z. B. Strom für BEV) treten an Stelle der Kraftstoffkosten. Des Weiteren werden die Infrastrukturkosten (z. B. Ladestelle für BEV) berücksichtigt, sofern erforderlich. Die Kostenabschätzung erfolgt für die Jahre 2018, 2030 und 2040.

Das Basisfahrzeug und der Aufbau aller Fahrzeuge wurde aus den Investitionskosten für VKM-Diesel abzüglich der Kosten für den VKM-Antrieb nach [59] abgeleitet und ist daher für alle Antriebsarten gleich. In der nachfolgenden Auflistung sind die wichtigsten Kostenpositionen des Kostenmodells der alternativen Antriebstechnologien sowie deren Berechnung und Datenquellen zu finden.

VKM-Gas:

- Antrieb: Wie VKM-Diesel
- Gastank: Einzelkosten aus [59] für CNG bzw. [60] für LNG, Tankvolumen berechnet aus der notwendigen Reichweite (maximale Strecke Hin- und Retour) je nach Use Case (siehe beispielsweise Tabelle 7) und dem Verbrauch aus [33], inkl. 20 % Resttankinhalt.
- Energie: Durchschnittlicher Gaspreis von fünf österreichischen Tankstellen nach [61], Verbrauch aus [33]
- Maut: Wie VKM-Diesel
- KFZ-Steuer: Wie VKM-Diesel

VKM-H2:

- Antrieb: Wie VKM-Diesel
- Wasserstofftank: Kosten aus [20], Tankvolumen berechnet aus der notwendigen Reichweite (maximale Strecke Hin- und Rückfahrt) je nach Use Case (siehe beispielsweise Tabelle 7) und dem Verbrauch aus [33], inkl. 20 % Resttankinhalt.
- Energie: Durchschnittliche Kosten für Wasserstoff aus Elektrolyse mit Windstrom in 2040 nach [62], Verbrauch aus [33]
- Maut: Wie VKM-Diesel (derzeit ist die Maut in Österreich nur für BEV oder FCEV reduziert [56])
- KFZ-Steuer: Wie VKM-Diesel (derzeit sind nur reine Elektrofahrzeuge steuerbefreit [63])
- Infrastruktur: Durchschnittliche Kosten für drei Varianten von Wasserstofftankstellen in 2030 nach [64], aufgrund weiterer Entwicklungen 10 % Kostenreduktion bis 2040 angenommen.

PHEV

- Antrieb: Wie VKM-Diesel, E-Antrieb aus [20]
- Batterie: Pack-Kosten je kWh für 2030 nach [38] (optimistisches Szenario angenommen für 2040), angenommene elektrische Reichweite von 150 km, entspricht einer Verdreifachung der Reichweite in 2018 wegen Drittelung der Batteriekosten nach [38] in diesem Zeitraum, Batteriekapazität mit der angenommenen Reichweite und dem Verbrauch aus [33] berechnet.
- Energie: Dieselpreis wie VKM, Strompreis für Gewerbe nach [65], Verbräuche aus [33]
- Maut: Wie VKM-Diesel
- KFZ-Steuer: Wie VKM-Diesel (Steuer richtet sich nach VKM-Leistung [63])
- Infrastruktur: Kosten für 11 kW Wallbox nach [66], Stromanschlusskosten nach [67]

BEV

- Antrieb: E-Antrieb aus [20]
- Batterie: Pack-Kosten je kWh für 2030 nach [38] (optimistisches Szenario angenommen für 2040), Batteriekapazität berechnet aus der notwendigen Reichweite (maximale Strecke Hin- und

Rückfahrt) je nach Use Case (siehe beispielsweise Tabelle 7) und dem Verbrauch aus [33], inkl. 20 % Resttankinhalt.

- Energie: Strompreis für Gewerbe nach [65], Verbräuche aus [33]
- Maut: Reduzierte Maut nach [56]
- KFZ-Steuer: entfällt nach [63]
- Infrastruktur: Kosten für 11 kW Wallbox nach [66], 22 kW Wallbox nach [68], 50 kW DC Ladestelle nach [69], erforderliche Ladeleistung mit Batteriekapazität und angenommener Ladedauer von maximal 8 Stunden abgeschätzt, Stromanschlusskosten nach [67]

O-EV

- Antrieb: E-Antrieb aus [20], Pantograph Durchschnitt aus [60] und [70] in 2030, aufgrund weiterer Entwicklungen 10 % Kostenreduktion bei Pantograph bis 2040 angenommen
- Batterie: Pack-Kosten je kWh für 2030 nach [38] (optimistisches Szenario angenommen für 2040), angenommene Reichweite ohne Oberleitung von 100 km, Batteriekapazität berechnet aus der angenommenen Reichweite und dem Verbrauch aus [33]
- Energie: Strompreis für Gewerbe nach [65], Verbräuche aus [33]
- Maut: Reduzierte Maut nach [56]
- KFZ-Steuer: entfällt nach [63]
- Infrastruktur: Kosten für 11 kW Wallbox nach [66] für externe Ladung berücksichtigt, Oberleitungskosten nach [70] [71] [72]

FCEV

- Antrieb: E-Antrieb aus [20], Brennstoffzelle Durchschnitt aus [20] und [73]
- Wasserstofftank: Kosten aus [20], Tankvolumen berechnet aus der notwendigen Reichweite (maximale Strecke Hin- und Rückfahrt) je nach Use Case (siehe beispielsweise Tabelle 7) und dem Verbrauch aus [33], inkl. 20 % Resttankinhalt.
- Batterie: Pack-Kosten je kWh für 2030 nach [38] (optimistisches Szenario angenommen für 2040), Batteriekapazität im Verhältnis zur Brennstoffzellenleistung nach [74] abgeschätzt
- Energie: Durchschnittliche Kosten für Wasserstoff aus Elektrolyse mit Windstrom in 2040 nach [62], Verbrauch aus [33]
- Maut: Reduzierte Maut nach [56]
- KFZ-Steuer: entfällt nach [63]
- Infrastruktur: Durchschnittliche Kosten für drei Varianten von Wasserstofftankstellen in 2030 nach [64], aufgrund weiterer Entwicklungen 10 % Kostenreduktion bis 2040 angenommen.

Alternative Kraftstoffe:

- Biokraftstoff: am Beispiel von HVO nach [75]
- E-Fuel: FT-Diesel aus PV-Strom mit Carbon-Capture, importiert aus Nord-Afrika nach [76]
- Biogas: am Beispiel von Biomethan nach [75]
- E-Gas: Methan aus PV-Strom mit Carbon-Capture, importiert aus Nord-Afrika nach [76]

Es sei an dieser Stelle nochmals erwähnt, dass die berechneten Kosten exkl. Umsatzsteuer und inkl. anderer allfälliger Steuern und Abgaben (z. B. MÖSt) berechnet wurden. Durch die starke Verlagerung von VKM-Diesel hin zu alternativen Antriebstechnologien in diesem Szenario könnte sich eine Veränderung der Steuereinnahmen ergeben.

Die Ergebnisse der Kostenberechnung sind sehr umfangreich und können hier nicht übersichtlich dargestellt werden (Kosten nach Kostenkomponenten, je Use Case und nach Szenarien). Die berechneten Kosten der Antriebstechnologien für das WEM- und ZERO- Szenario in 2030 und 2040 bezogen auf VKM-Diesel in 2018 je Use Case sind im Anhang zu finden. Folgende Highlights (siehe Tabellen im Anhang) zeigten sich im Vergleich zwischen 2018 und ZERO 2040:

- **VKM-Diesel:** Bei gleichbleibenden Fahrzeuganschaffungskosten erhöhen sich die Treibstoffkosten durch die Anwendung von Bio- und insbesondere E-Fuels, was zu einer Erhöhung der Betriebskosten bis 2030 führt. Die Betriebskosten sinken jedoch bis 2040 geringfügig unter das Niveau von 2018 (auch aufgrund der bereits vorhandenen Infrastruktur zur Distribution und der bereits ausgeiften Komponenten).
- Im Vergleich zu den aktuellen VKM-Diesel-Anschaffungskosten werden die Anschaffungskosten für **BEV** im Jahr 2040 insbesondere für größere Fahrzeuge aufgrund der benötigten Batteriekapazität deutlich höher sein. Die Energiekosten und damit auch die Betriebskosten insgesamt (trotz Infrastrukturausbau) im Jahr 2040 sind jedoch im Vergleich zu Diesel 2018 deutlich niedriger.
- **O-EV** werden im Jahr 2040 im Vergleich zu aktuellen (2018) VKM-Diesel teurer sein, jedoch aufgrund der geringeren benötigten Batteriekapazität etwas weniger als BEV kosten. Die Betriebskosten werden im Jahr 2040 ebenfalls deutlich unter den Betriebskosten der VKM 2018 aber etwas über jenen von BEV 2040 (Kosten für die Nutzung der Oberleitungsinfrastruktur) liegen.
- **FCEV:** Die Anschaffungskosten dieser Fahrzeuge werden 2040 in der Größenordnung der Oberleitungsfahrzeuge sein. Die Betriebskosten werden 2040 im Vergleich zu BEV und O-EV niedriger ausfallen.

6.2 Umsetzungsschritte zur Erreichung der CO₂-Neutralität 2040 (Backcasting)

Um die Schritte zu eruieren, die es benötigt, um 2040 CO₂-Neutralität im Güterverkehr zu erreichen, wurde im Zuge eines Stakeholder-Workshops (siehe 3.3 Stakeholderintegration) die „Backcasting“-Methode angewendet. Dabei wird ein gemeinsames Ziel definiert, wofür dann „rückwärts“ (d.h. von der Zukunft in die Gegenwart) Maßnahmen eruieren werden, um dieses Ziel schließlich zu erreichen.

Das Backcasting wurde in drei Schritte geteilt:

Schritt 1: Zuerst wurden Einschätzungen darüber gesammelt, wie ein Zielerreichungspfad im Sinne von Emissionsreduktion verlaufen kann/soll. Daraus ergibt sich das Tempo der CO₂-Emissionsreduktion.

Schritt 2: Im nächsten Schritt hatten die Stakeholder die Möglichkeit Maßnahmen und Instrumente zu identifizieren, die es braucht, um an das Ziel entlang des vorher definierten Emissionsreduktionspfades zu gelangen. Dabei wurden bei der Analyse, die Maßnahmen in drei verschiedenen Kategorien unterteilt:

- Regulierung: Command-and-Control Maßnahmen, wie zum Beispiel Verbote von gewissen Technologien (z.B. Diesel-Lkw)
- Ökonomische Instrumente: Instrumente, die auf der ökonomischen Seite eingreifen und dort Anreize oder einen Lenkungseffekt schaffen (z.B. Steuern, Subventionen).
- „Weiche“ Maßnahmen: Maßnahmen, wie Bewusstseinsbildung, Schaffung von Auszeichnungen/Labels/Preisen etc. für besonders innovative Frächter

Schritt 3: Im letzten Schritt hatten die Stakeholder die Möglichkeit etwaige Unsicherheiten, Barrieren und Risiken der Maßnahmen aus Schritt 2 zu nennen, um eine konkrete Umsetzung zu erleichtern.

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Backcasting beschrieben. An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass die gezeigten Workshop-Ergebnisse die Einschätzungen der Workshop-TeilnehmerInnen zur Erreichung des Ziels der Klimaneutralität im Güterverkehr im Jahr 2040 dokumentieren und dass diese nicht notwendigerweise mit der Einschätzung des CLEARER Projekt-Teams übereinstimmen. Alle Ergebnisse sind anonymisiert dargestellt.

Abbildung 7 zeigt den sich ergebenden Verlauf der Emissionsreduktion, basierend auf den Einschätzungen der Stakeholder. Es zeigt sich, dass das Tempo der Emissionsreduktion nach 2030 höher wird (steilerer abfallender Verlauf). Dies ist vor allem auf die langen Vorlaufzeiten in der erwarteten technologischen Entwicklung zurückzuführen. Die Abbildung zeigt ebenfalls, dass kurz/mittelfristig bei den Stakeholdern mehr Einigkeit hinsichtlich der Entwicklung besteht als langfristig bis 2040. Insbesondere um das Jahr 2035 gibt es noch sehr unterschiedliche Wahrnehmungen (breiterer Korridor). Somit kann für die letzten 5 Jahre vor 2040 das notwendige Tempo sehr unterschiedlich sein.

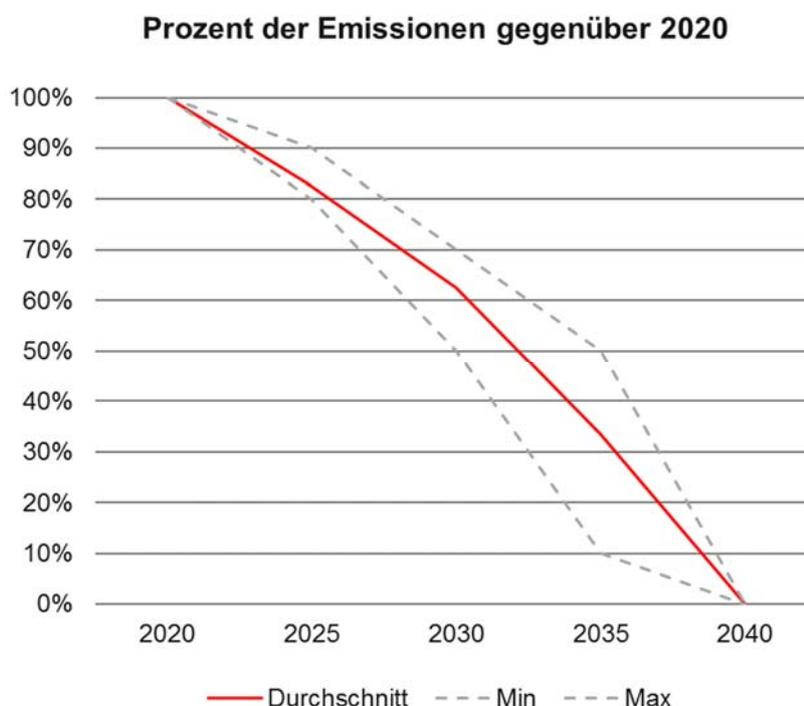


Abbildung 7: Verlauf der Emissionsreduktion des Straßengüterverkehrs gegenüber 2020, basierend auf den Einschätzungen der Stakeholder (N=4).

Um die Vorgehensweise zu veranschaulichen zeigt Tabelle 22 beispielhaft das Ergebnis des Backcastings am Beispiel eines Stakeholders.

Tabelle 22: Ausgefüllte Backcasting-Tabelle eines Stakeholders (Anmerkung: Die Inhalte entsprechen einer Meinung einer am Workshop anwesenden Person, ist jedoch anonymisiert dargestellt und soll lediglich der Veranschaulichung des Prozesses dienen).

Jahr	CO ₂ Emissionen des Güterverkehrs (in % ggü. 2020)	Maßnahmen [Bitte tragen Sie hier Maßnahmen auf Basis Ihrer Expertise ein. Ihr Transformationspfad muss nicht vollständig ausgestaltet sein.]
2040	0 %	flächendeckendes Verbot von fossilen Kraftstoffen/Energieträgern im Transportsektor
2035	10 %	
2030*	50 %	Transitverkehr und nationalen Schwerverkehr auf die Schiene verlagern (Subventionen für die Bahn, damit sie zu konkurrenzfähigen Preisen anbieten kann); Einführung von Obergrenzen für den Transport mit fossilen Treibstoffen; flächendeckender Ausbau von Tankstellen für advanced biofuels (und auch e-fuels); Auszeichnung von Frächtern mit besonders geringen CO ₂ -Emissionen pro tkm; CO ₂ -Steuer ist jetzt am höchsten, um die Umstellung zu erzwingen; Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur für FCEV
2025	80 %	innerstädtischer Lieferverkehr mit Fahrzeugen < 3,5 t muss mit BEV erfolgen; Ausbau der Ladeinfrastruktur im städtischen Bereich bzw. am Rand der Städte; Ausbau von Oberleitungen entlang der Haupttransitrouten; Anbieten von ED95 und FT-Diesel (Mischungen) entlang der Haupttransitrouten; Umsetzung von Maßnahmen zur Senkung der Fahrleistung im Bereich Güterverkehr (diese Maßnahmen werden in viele Bereiche des täglichen Lebens hinein wirken müssen, z.B. regionale Lebensmittel, kleinräumiger organisierte Produktionsketten,...); Ausweisen der CO ₂ -Emissionen bei allen Produkten im Einzelhandel (analog zu Effizienzklassen von Elektrogeräten); Abschaffung des Dieselpivilegs und Einführung einer Steuer auf fossile CO ₂ -Emissionen; Zweckbindung der Einnahmen aus der CO ₂ -Steuer für Maßnahmen, die zur weiteren Reduktion der Emissionen beitragen; Ausbau der Kapazitäten zur Produktion von Strom aus erneuerbaren forcieren
2020	100 %	Vorgabe eines verpflichtenden Pfades zum phase-out von fossilen Treibstoffen, z.B. linear von Status jetzt=100 % auf 0 % bis 2040; Investitionsförderungen für advanced biofuels Anlagen; Beschaffung der öffentlichen Hand mit Obergrenzen für CO ₂ -Emissionen in der Lieferkette, diese Obergrenzen sinken im Verlauf der Zeit; Einführung von ED95 (Ethanol mit Additiven für Dieselmotoren); Erarbeitung einer Strategie zur Senkung der Fahrleistung im Bereich Güterverkehr

In den folgenden Tabellen (Tabelle 23, Tabelle 24 und Tabelle 25) werden die aus Sicht der Stakeholder notwendigen Maßnahmen (Regulierung, Ökonomische Instrumente, „Weiche“ Maßnahmen) gezeigt. Ebenfalls ersichtlich sind die ungefähren Zeitpunkte (in 5-Jahres-Schritten), wann die jeweilige Maßnahme aus Sicht des Stakeholders gesetzt werden muss, sowie als Farbcode die Übereinstimmung innerhalb der konsultierten Stakeholder im Sinne von Mehrfachnennungen von Maßnahmen (rot=öfter genannt, grün=selten genannt). Es wird deutlich, dass die meisten Maßnahme zeitnahe implementiert werden sollten, damit der Reduktionspfad – wie in Abbildung 7 gezeigt – auch realisiert werden kann. Man sieht auch, dass viele Maßnahmen bereits „heute“ (im Jahr 2021) eingeführt werden sollten. Ersichtlich ist, dass die meisten Maßnahmen in den Bereich Regulierung fallen, danach und somit ergänzend wurden ökonomische Maßnahmen genannt.

Tabelle 23: Durch Stakeholder genannte Regulierungs-Maßnahmen und deren zeitliche Implementierung (Anmerkung: Die Inhalte entsprechen der Meinung der am Workshop anwesenden Personen)

Regulierung	2020	2025	2030	2035	2040
Vorgabe eines Verpflichtenden Pfades Phase-Out fossiler Kraftstoffe	Red				
Einführung von ED95	Green				
Verbot fossile Kraftstoffe					Green
keine Fahrbeschränkungen für alternative Antriebe		Red			
Aufbau + Verdichtung Nutzfahrzeuginfrastruktur, Ladestationen und H2-Tankstellen in Stadt und am Straßennetz und Oberleitungen an Haupttransitrouten	Green	Red	Red		
CO ₂ -freie Stadtlogistik, Zero-Emission Zustellzone, v.a. <3.5t BEV	Red	Green	Green		
Zero-Emission Infrastruktur flächendeckend vorhanden				Green	
Obergrenzen für CO ₂ -Emissionen in der Lieferkette (sinken mit Zeit)	Green				
Anbieten von ED95 u. FT-Diesel an Haupttransitrouten		Green			
Ausbau Kapazitäten zur Produktion von Strom aus erneuerbaren		Green			
Obergrenzen für Transport mit fossilen Treibstoffen			Green		
Ausbau von Tankstellen für advanced biofuels			Green		
Zulassung Lang-Lkw auf höherrangigen Straßennetz	Green				
Abschaffung des Nacht 60igers (Diesel Lkws nicht 60kmh optimiert)	Green				
Mobility Package 1: 8-Wochenrückkehrpflicht abschaffen, zu viele Leerfahrten	Green				
Abschaffung lokaler Fahrverbote die zu Umwegen führen		Green			
Ausbau des Güterverkehrs auf der Schiene, Hochleistungs-Langstrecken-Güterschienentransportnetz, modale Kopplung Straße	Red	Red			
Regulierung technischer Standards europaweit			Green		
CO ₂ -Limitierungen schrittweise sinkend bis 0 g CO ₂ /km/tonne	Green				
100 % Emissionsfreies Neuzulassungsziel für Pkw + LNF bis 3.5t		Green			
100 % Emissionsfreies Neuzulassungsziel für Kfz < 18t			Green		
100 % Emissionsfreies Neuzulassungsziel für Kfz > 18t				Green	
Elektrifizierung der Inntal- und Brennerautobahn als Teil eines transeuropäischen Korridors			Green		
Austauschprogramm für Fahrzeuge mit Erstzulassung vor 2020				Green	

Tabelle 24: Durch Stakeholder genannte ökonomische Instrumente (+ deren zeitliche Implementierung)

ökonomische Instrumente	2020	2025	2030	2035	2040
Investitionsförderung von advanced biofuels Anlagen	Green				
Reduzierung Steuerbelastung für Fzge mit alternativem Antrieb			Green		
Anreize E-Fuels			Green		
Steigerung Transportkosten Güterverkehr		Green			
Steuer auf fossile CO ₂ -Emissionen (+Zweckbindung der Einnahmen), 2030 am höchsten; Internalisierung externer Kosten	Green	Red			
Subventionen für Bahn für Verlagerung Transitverkehr			Green		
Mautbefreiung ZERO-Emission Fzge + Reduzierung CNG/LNG + Aufhebung Reduzierung für CNG/LNG 2030	Red	Green			
Anreizsystem für CNG/LNG Infrastrukturausbau		Green			
Signifikante Anreize zur Veränderung nötig		Green			
einschlägige Förderprogramme für Umstellung		Red			
Kreislaufwirtschaft forcieren, Langlebigkeit von Produkten fördern	Green				
prohibitive Besteuerung von Fahrzeugen BJ <2020				Green	
Erhöhung der MÖSt auf fossile Treibstoffe		Green			
Zuschüsse bei Austausch gegen CO ₂ -neutrales Fahrzeug				Green	

Tabelle 25: Durch Stakeholder genannte „softe“ Maßnahmen (+zeitliche Implementierung)

Softe Maßnahmen	2020	2025	2030	2035	2040
Strategie: Senkung Fahrleistung im GüV					
Ausweisen CO ₂ -Emissionen bei Produkten im Einzelhandel (wie bei Effizienzklassen Elektrogeräte)					
Auszeichnung von Frächtern mit geringen CO ₂ -Emissionen					
grenzübergreifende großvolumige Pilotprojekte implementieren, auch als Beweis für betriebswirtschaftliche Vorteile					

Die von den Stakeholdern genannten Unsicherheiten, Barrieren und Risiken sind wie folgt:

- Henne-Ei-Problem bei Infrastrukturaufbau
- Investitionsbedarfe
- langfristige Planungssicherheit
- Bereitstellung benötigter Stromanschlüsse
- Beschlussfassung EU-Parlament, Gegensatz West-/Osteuropa überwinden
- Koordinierung Bund u. Länder
- Ausbau Schienenpersonenverkehr (1-2-3 Ticket) führt zu Ressourcenverknappung für Güterverkehr
- Regulierung technischer Standards passiert europaweit möglicherweise zu spät
- Bereitstellung von kostengünstigem grünem Wasserstoff
- lange Vorlaufzeit von New-Truck Registrationsen und Einfluss auf Flotten
- keine Modelle seitens OEM verfügbar
- Rückgang der Fahrleistung mit Rückgang der Wirtschaftsleistung verbunden → Umgestaltung Wirtschaftssystem erforderlich

Zusammenfassend sind folgende Dinge deutlich geworden: Verlässliche Rahmenbedingungen und EU-weit koordinierte Maßnahmen sind aus Sicht der Stakeholder unumgänglich. Auch technologische Unsicherheiten werden von den Stakeholdern wahrgenommen, diese scheinen aber (zumindest in ihrer Anzahl) geringer als politische Barrieren/Herausforderungen zu sein.

Im Rahmen von Österreich-weiten Maßnahmen sind es vor allem regulatorische Eingriffe wie Standards und Verbote, die als notwendig erachtet werden. Ein klarer Fokus sollte weiters auf dem Aufbau und der Verdichtung von Infrastruktur (Ladesäulen, Tankstellen, Oberleitungen), sowie auf dem Ausbau des Schienengüterverkehrs liegen, was bis spätestens 2030 zu erfolgen hat. Neben regulativen Maßnahmen, wurden aber auch ökonomische Instrumente genannt, die durch relative Kostenänderungen Anreize zu einem Umstieg hin zu klimaneutralen Technologien fördern sollen. Es wurden Instrumente zur Kostensenkung (über Zuschüsse, Förderungen, Subventionen, Steuer-senkungen) aber auch zur Kostenerhöhung genannt (CO₂-Steuern, Erhöhung MÖSt.). Vor allem die Einführung einer CO₂-Steuer sowie die Mautbefreiung von klimaneutralen Fahrzeugen bis spätes-tens 2025 steht hier im Vordergrund. Weiche („softe“) begleitende Maßnahmen sind von den Stakeholdern nur in geringem Maße genannt worden, wobei die Implementierung von grenzüber-greifenden großvolumigen Pilotprojekten als sehr wichtig erscheint. Damit soll bereits heute begonnen werden. Gezeigt hat sich generell, dass der Großteil der Maßnahmen in den nächsten 5-10 Jahren implementiert werden muss, um das Ziel eines klimaneutralen Straßengüterverkehrs im relevanten Zeithorizont bis 2040 zu erreichen.

7 Effekte eines CO₂-neutralen Güterverkehrs bis 2030/2040

7.1 Kosten für die User (Straßengüterverkehrsbranche)

Als Ausgangspunkt für die Ermittlung der Kosten für transportdienstleistende Betriebe im Straßengüterverkehr sind die beschriebenen Kostendaten für einzelne Antriebsformen und Energieträger aus Kapitel 6.1 verwendet worden (siehe auch Tabelle 29 bis Tabelle 32 im Anhang). Dabei wurden aus diesen Kosten die gesamten Betriebskosten und Kapitalkosten pro Use Case errechnet und dann auf den gesamten österreichischen Straßengüterverkehrssektor (Use Cases 1-13) hochgerechnet. Des Weiteren wurden Investitionsbedarfe für Fahrzeuge und Infrastruktur abgeschätzt. Dies wurde für ein Szenario mit existierenden Maßnahmen (WEM-Baseline) sowie für ein Szenario mit CO₂-neutralem Straßengüterverkehrssektor vorgenommen (ZERO-Szenario). Die Änderungen zwischen WEM und ZERO (relative Änderungen für laufende Kosten und absolute Änderungen für Investitionsbedarfe) fanden dann Eingang in das makroökonomische Modell (siehe Abschnitt 7.2) und werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

7.1.1 Änderungen in den laufenden Kosten

Der relative Unterschied der Kapital- und Betriebskosten von ZERO-Szenario zu WEM-Baseline ist in Abbildung 8 separat für österreichische Frächter und die importierte Straßengüterverkehrsdienstleistung (Use Cases 14) dargestellt. Dabei ist zu erkennen, dass die Kapitalkosten für heimische Frächter und für importierte Dienstleistungen in einem CO₂-neutralen Straßengüterverkehrssektor (ZERO) höher sind als in einem nur teilweise transformierten Straßengüterverkehrssektor (WEM). Ein Vergleich zwischen importierter Dienstleistung und heimischen Frächtern zeigt, dass die Zunahme der Kapitalkosten der importierten Dienstleistung stärker ist, als für heimische Frächter. Das liegt daran, dass die importierte Dienstleistung vor allem Fahrzeuge beinhaltet, die über 34 Tonnen schwer sind (Eigengewicht inklusive Beladung) und mit dieser schweren Last große Distanzen zurücklegen. In diesem Segment werden die Anschaffungskosten für alternative Fahrzeuge auch im Jahr 2040 noch um einiges höher angenommen als für Dieselfahrzeuge der gleichen Kategorie. Im Vergleich dazu enthalten – wie bereits erwähnt – die heimischen Frächter die Use Cases 1-13, welche eine wesentlich breitere Fahrzeugflotte enthalten (Fahrzeuge von weniger als 3,5 Tonnen Gesamtgewicht bis zu 40 Tonnen). Kleinere alternative Fahrzeuge sind dabei im Jahr 2040 kaum teurer als konventionelle Dieselfahrzeuge.

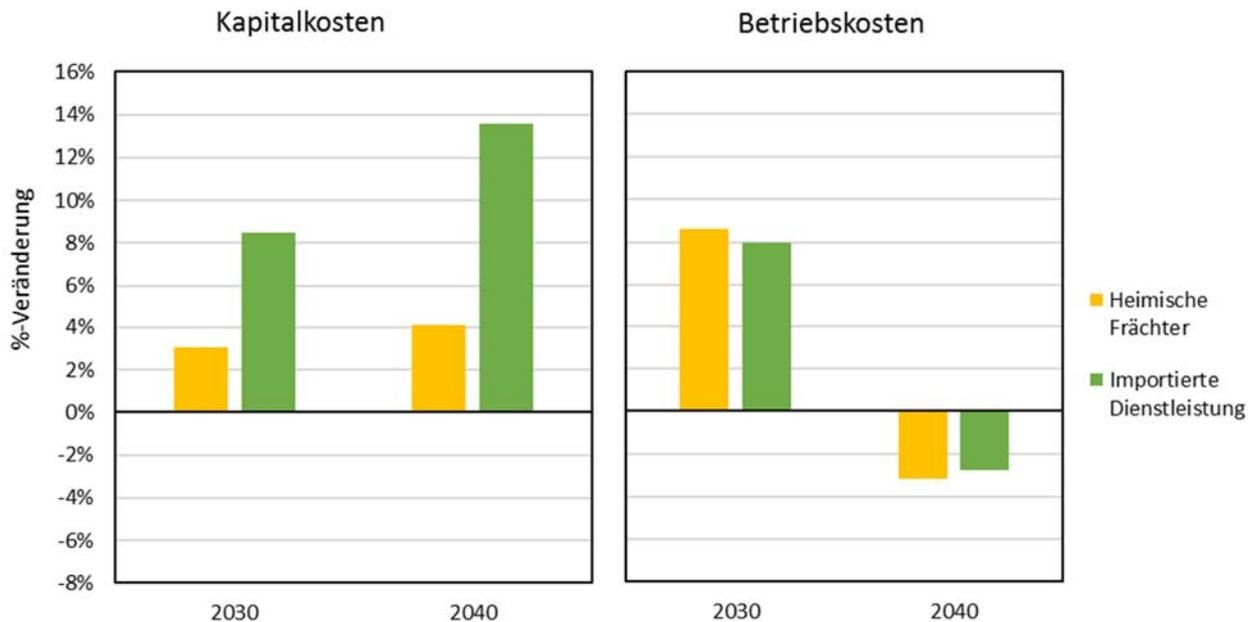


Abbildung 8: Prozentuelle Veränderung der Kapital- und Betriebskosten des Straßengüterverkehrs für heimische Frächter und importierte Dienstleistungen (ZERO versus WEM)

Bei einem Vergleich der Betriebskosten ergibt sich ein etwas anderes Bild. Hierbei ist zu erkennen, dass die Betriebskosten zunächst im Jahr 2030 für heimische Frächter sowie für die importierte Dienstleistung im ZERO-Szenario höher sind als in der WEM-Baseline. Das liegt an den höheren Kosten von synthetischen Kraftstoffen (= E-Fuel und E-Gas) im Vergleich zu Diesel. Im Jahr 2040 liegen die Betriebskosten für beide Fälle jedoch unter der WEM-Baseline. Dieser Umstand ist durch den relativ starken Rückgang der Kraftstoffkosten für Wasserstoff und dem Kostenrückgang der synthetischen Kraftstoffe erklärbar. Im Jahr 2030 steigen die Betriebskosten für die importierte Dienstleistung weniger stark an und im Jahr 2040 sinken sie weniger stark als für heimische Frächter. Der Grund für diese Entwicklungen in den Betriebskosten ist die stärkere Durchdringung mit Wasserstoff und Verdrängung von Diesel und die somit weniger starke Durchdringung von relativ teuren synthetischen Kraftstoffen in Use Case 14 im Gegensatz zu anderen Use Cases.

Aus den Betriebskosten und Kapitalkosten wurden dann die Unterschiede für die Gesamtkosten pro Tonnenkilometer errechnet. Ein Vergleich von ZERO zu WEM wird in Abbildung 9 für den gesamten Sektor gezeigt. Diese liegen im ZERO-Szenario für die heimischen Frächter im Jahr 2030 um ca. 7 % über dem Niveau der WEM-Baseline (ca. 8 % für die importierte Dienstleistung). Im Jahr 2040 sind die Gesamtkosten im ZERO-Szenario marginal geringer als in der WEM-Baseline (für heimische als auch importierte Dienstleistung). Das höhere Niveau im Jahr 2030 ist dadurch erklärbar, dass synthetische Kraftstoffe zu diesem Zeitpunkt erheblich teurer als Diesel sind. Für den höheren Anstieg bei den importierten Dienstleistungen zeigen sich die vor allem höheren Kapitalkosten verantwortlich, die hier mehr durchschlagen. Im Jahr 2040 sind die Kosten für synthetische Kraftstoffe zwar immer noch teurer als Diesel, der angenommene Kostenrückgang von Wasserstoff schlägt jedoch so stark durch, dass Frächter im ZERO-Szenario in der Gesamtsektorbetrachtung etwas günstiger fahren als im WEM-Szenario. Die Kosten der importierten Straßengüterverkehrsdienstleistung ist hierbei etwas stärker unter dem WEM-Niveau als jene der heimischen Frächter, da die Gesamtkosten bei Letzteren stärker steigen.

Die Kosten-Veränderungen pro Tonnenkilometer können jedoch je nach Use Case sehr unterschiedlich sein (siehe Abbildung 26 im Anhang). Für 2030 liegen die Kosten im ZERO Szenario für alle Use Cases über denen des WEM, jedoch mit unterschiedlicher Ausprägung. Für Use Case 8 liegen die Kosten zum Beispiel rund 10 % höher, während Use Case 4 nur eine 4 %-ige Kostenerhöhung sieht. In 2040 sieht man deutlichere Unterschiede. Die Kosten von Use Case 9 liegen beispielsweise um 5 % niedriger, Use Case 13 hingegen ist noch um rund 5 % teurer.

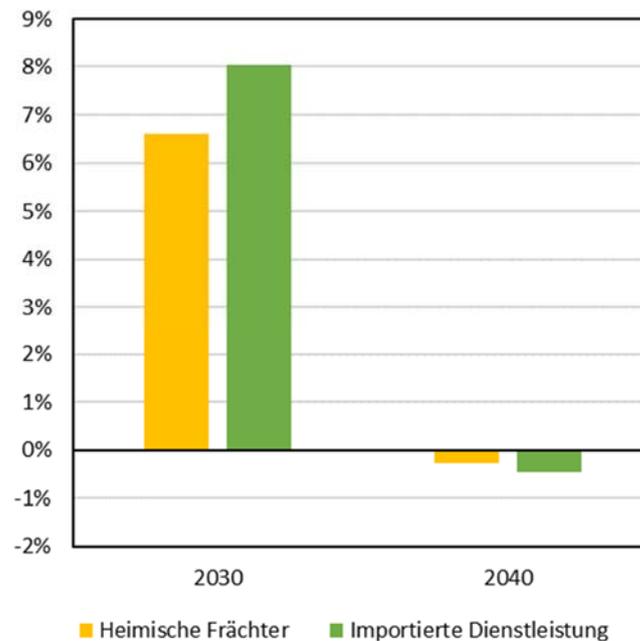


Abbildung 9: Prozentuelle Veränderung der Kosten je Tonnenkilometer im Straßengüterverkehr für heimische Frächter und importierte Dienstleistungen (ZERO versus WEM)

Die diskutierten Kostenveränderungen für die User sind Grundlage für die Berechnung eines Kosten-Markups, der im makroökonomischen Modell auf den Straßengüterverkehrssektor aufgeschlagen wurde¹, um die volkswirtschaftliche Folgewirkungen dieser Umstellung zu analysieren. Tabelle 26 zeigt die Kosten-Markups wie sie im Modell Eingang gefunden haben (die Unterschiede zwischen den Spalten WEM und ZERO decken sich mit Abbildung 9). Dabei wurde der Kosten-Markup für heimische Frächter auf den gesamten österreichischen Straßengüterverkehrssektor aufgeschlagen, wie er im Modell abgebildet ist, und der Kosten-Markup für die importierte Dienstleistung auf die im Modell abgebildeten Importe der Dienstleistung Straßengüterverkehr.

¹ Im Sinne einer Kostenerhöhung der Stückkosten allgemein; strukturelle Änderungen fanden dann über Kostenstruktur-Verschiebungen Eingang.

Tabelle 26: Kosten-Markups als Modell-Eingangsparameter für inländische Frächter und importierte Straßengüterverkehrsdienstleistungen für die Jahre 2018, 2030 und 2040

	Heimische Frächter		Importierte Dienstleistung	
	WEM	ZERO	WEM	ZERO
2018	1,00	1,00	1,00	1,00
2030	0,96	1,03	0,94	1,01
2040	0,90	0,89	0,82	0,81

Bisher wurden Veränderungen der Nutzerkosten im Sinne von Kapital und Betriebskosten und dem sich daraus ergebenden Kosten-Markups diskutiert. Innerhalb der Nutzerkosten gibt es aber auch Verschiebungen in der relativen Struktur der Ausgaben, die im Folgenden näher beschrieben werden.² Abbildung 10 zeigt die Kostenintensitäten jener Ausgaben-Komponenten, die durch den technologischen Wandel direkt beeinflusst werden (i.e. Treibstoffe und Kapital), für 2018 sowie für die WEM-Baseline und das ZERO-Szenario jeweils für 2030 und 2040. Durch den teilweisen Umstieg von Kraftstoffen und Technologien ergeben sich bereits in der WEM-Baseline strukturelle Unterschiede. Im ZERO-Szenario sind diese stärker ausgeprägt. Da der Sektor kapital- und kraftstoffintensiver wird (im Sinne von Kosten), werden die restlichen Vorleistungen, die gemäß volkswirtschaftlicher Gesamtrechnung (VGR) ebenfalls als Produktions-Inputs in den Sektor eingehen, *anteilmäßig* zurückgedrängt (nicht gezeigt). Die Input-Struktur wird demnach nicht in physischen Mengen dargestellt, sondern als Anteile der Gesamtausgaben laut VGR (d.h. relative monetäre Größen in Euro 2014).

² Diese strukturelle Verschiebung wird nur für den österreichische Straßengüterverkehrssektor berücksichtigt, da die Straßengüterverkehrssektoren von anderen Ländern im makroökonomischen Modell nicht explizit abgebildet sind, sondern als allgemeine, in ihrer Struktur nicht genauer spezifizierte, Importströme in der Datengrundlage (d.h. volkswirtschaftliche Gesamtrechnung; VGR).

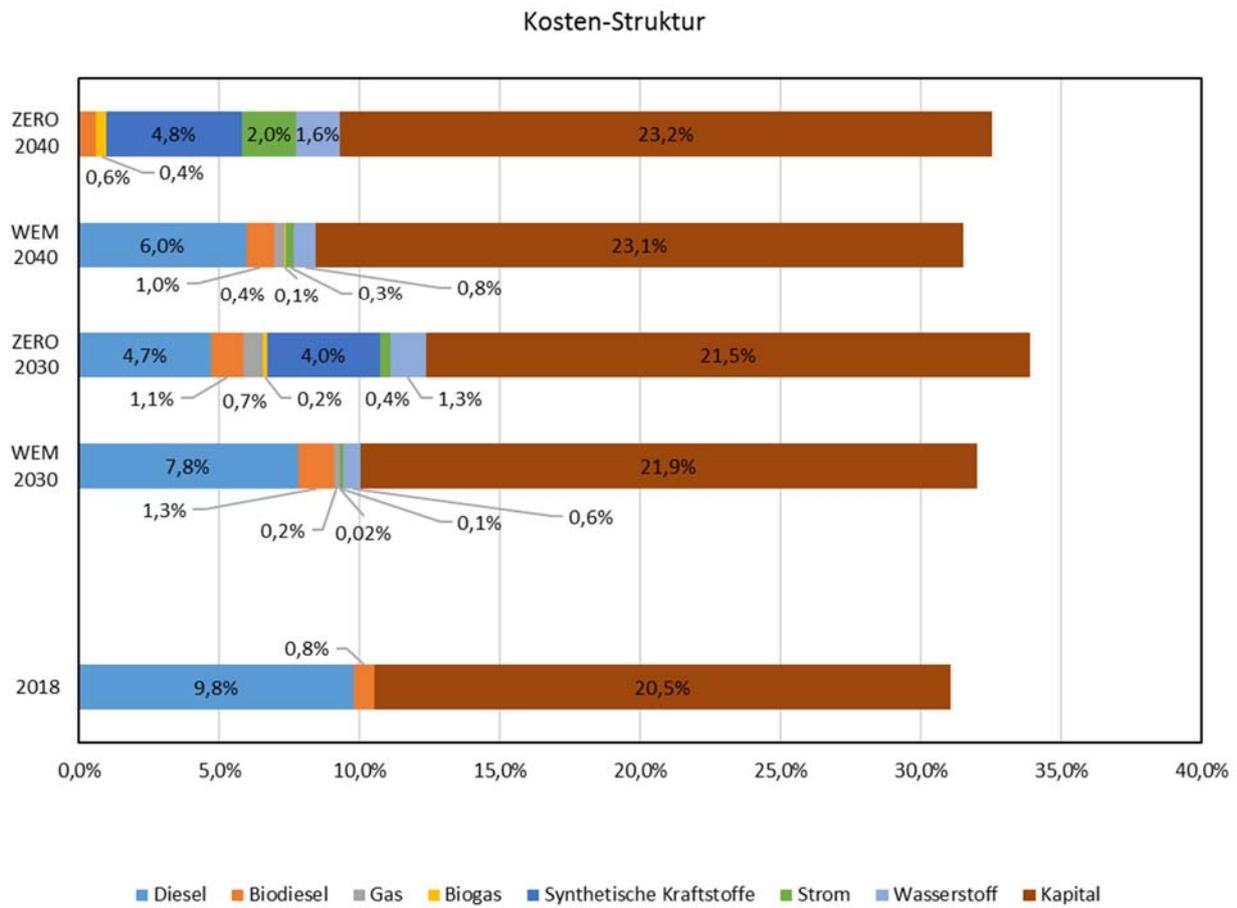


Abbildung 10: Kosten-Struktur im Straßengüterverkehrssektor der für diese Analyse relevanten Vorleistungen und Kraftstoffe für die WEM-Baseline und das ZERO-Szenario in den Jahren 2018, 2030 und 2040 in %-Anteilen

Die Inputstruktur des Startjahres 2018 zeigt den übermäßig hohen Anteil von fossilem Diesel und den geringen Anteil von Biodiesel. Im Jahr 2030 ergibt sich schon in der WEM-Baseline ein strukturell anderes Bild. Man sieht einen geringen relativen Rückgang von Diesel und einen Anstieg der anderen Kraftstoffe (in ihrer technologischen Ausprägung Antriebsform-Kraftstoff-Kombinationen). Der monetär relevanteste alternative Kraftstoff in der WEM-Baseline ist Wasserstoff. Auch ist erkennbar, dass der Sektor aufgrund der teureren alternativen Fahrzeuge kapitalintensiver wird. Für das ZERO-Szenario erkennt man im gleichen Jahr (2030) einen stärkeren Rückgang von Diesel. Außerdem haben hier alle alternativen Kraftstoffe einen höheren Kostenanteil. Der monetär relevanteste Anteil bei den Kraftstoffen im Jahr 2030 sind die synthetischen Kraftstoffe, rückführbar zu deren hohen Kosten. Fossiles Gas stellt zudem im ZERO-Szenario in 2030 eine stärkere Übergangsrolle dar als in der WEM-Baseline. Durch den Rückgang von Diesel Verbrennungskraftmaschinen, sinkt auch der Anteil von Biodiesel, trotz höherem Anteil innerhalb der Diesel Technologie (siehe Tabelle 12).

Im Jahr 2040 sinkt der Anteil von Diesel weiter, hat in der WEM-Baseline aber weiterhin einen substantiellen Kostenanteil. Durch die teilweise Transformation im WEM Szenario steigen auch die Anteile von allen alternativen Kraftstoffen weiter. Auch der Anteil von Kapital ist im Jahr 2040 höher als im Jahr 2030. Im ZERO-Szenario wird im Jahr 2040 kein fossiler Diesel und kein Gas mehr im Straßengüterverkehr verwendet. Da der Marktanteil von VKM Diesel weiter zurückgeht, sinkt auch

die Relevanz von Biodiesel im Vergleich zu ZERO 2030. Der Kostenanteil von Biogas ist trotzdem etwas höher. Dies liegt daran, dass Gasfahrzeuge mit Biogas und E-Gas fahren. Der monetäre Anteil an synthetischen Kraftstoffen steigt von 2030 bis 2040 zwar an, jedoch nur ganz leicht. Das kann anhand der angenommenen Kostenrückgänge bei den synthetischen Kraftstoffen zwischen 2030 und 2040 erklärt werden. Der Anstieg bei Strom liegt vor allem an der starken Durchdringung von Oberleitungsfahrzeugen im Jahr 2040. Außerdem sinken die Kraftstoffkosten je Energieeinheit für Wasserstoff, was in Summe dazu führt, dass Strom im Jahr 2040 einen höheren Kostenanteil im Straßengüterverkehrssektor als Wasserstoff hat. Auch der Input von Kapital steigt stark an, da im ZERO-Szenario der Straßengüterverkehrssektor noch kapitalintensiver wird. Ein Vergleich von ZERO 2040 mit WEM 2040 zeigt, dass alle alternativen Kraftstoffe bis auf Biodiesel einen höheren Kostenanteil im Straßengüterverkehrssektor aufweisen.

7.1.2 Investitionsbedarfe

Neben den Betriebs- und Kapitalkosten der Nutzung von Güterfahrzeugen sind auch gesamtwirtschaftliche Infrastruktur-Investitionen notwendig, die eben diese Nutzung ermöglichen. Diese wurden im Projekt abgeschätzt. Abgesehen von der allgemeinen Straßeninfrastruktur, sind dies in den betrachteten Szenarien vor allem Investitionen in Fahrzeuge, BEV-Ladestellen, H₂-Tankstellen und Oberleitungsinfrastruktur. Aufbauend auf den erarbeiteten Use-Case-Matrizen, wurden die entsprechenden Investitionsbedarfe ermittelt, die im Folgenden für die beiden Jahre 2030 und 2040 für die Szenarien WEM und ZERO dargelegt werden. Diese wurden zudem in Abstimmung mit Stakeholdern ermittelt.

In der volkswirtschaftlichen Modellierung werden die zusätzlichen Gesamtinvestitionen für die Transformation des Straßengüterverkehrs (Fahrzeuge und Infrastruktur) berücksichtigt³. Diese werden in Abbildung 11 für die WEM-Baseline und das ZERO-Szenario für 2030 und 2040 dargestellt, jeweils als tatsächlicher Investitionsbedarf im jeweiligen Jahr („Schnappschüsse“)⁴. Hierbei ist zu erkennen, dass der Investitionsbedarf für die Fahrzeuge um einiges höher ist als jener für die Infrastruktur. Außerdem ist ersichtlich, dass im ZERO-Szenario höhere Investitionen getätigt werden müssen (gesamt 2030 um rund 15 % mehr, 2040 um rund 18 % mehr als in der WEM-Baseline).

Auch im Vergleich zu 2018 sieht man in beiden Szenarien einen Anstieg. Der Grund dafür ist der für beide Szenarien die hinterlegte Fahrleistungsprognose, die in Tabelle 4 dargelegt wird. Der höhere Investitionsbedarf im ZERO-Szenario gegenüber der WEM-Baseline ist durch die höheren Anschaffungskosten von Fahrzeugen alternativer Technologien sowie den höheren Investitionsbedarf für die Infrastruktur im ZERO-Szenario erklärbar. Wenn man nur den Investitionsbedarf für die Fahrzeuge betrachtet, sieht man, dass der Unterschied zwischen ZERO und WEM in 2030 rund 3 % beträgt und dieser im Jahr 2040 auf lediglich 1 % sinkt. Dies liegt daran, dass die Anschaffungskosten von Fahrzeugen alternativer Technologien durch die unterstellten Technologiekostenentwicklungen zurückgehen. Dabei sind vor allem die Kostenrückgänge von O-EV und FCEV von Bedeutung, da diese zwei Technologien in den Marktsegmenten mit großer Fahrleistung zum Einsatz kommen.

³ Im Gegensatz zu den laufenden Kosten, wo eine relative Kostenänderung im Sektor für die makroökonomische Analyse ausreicht, sind auf der Investitionsseite absolute Größen ausschlaggebend.

⁴ Es ist darauf hinzuweisen, dass je nach konkreter Ausgestaltung des Pfades bis 2040, die Investitionsbedarfe in 2030/2040 in ihrer Höhe variieren können. Die hier dargestellten Werte ergeben sich aus der Annahmen linearer Interpolation.

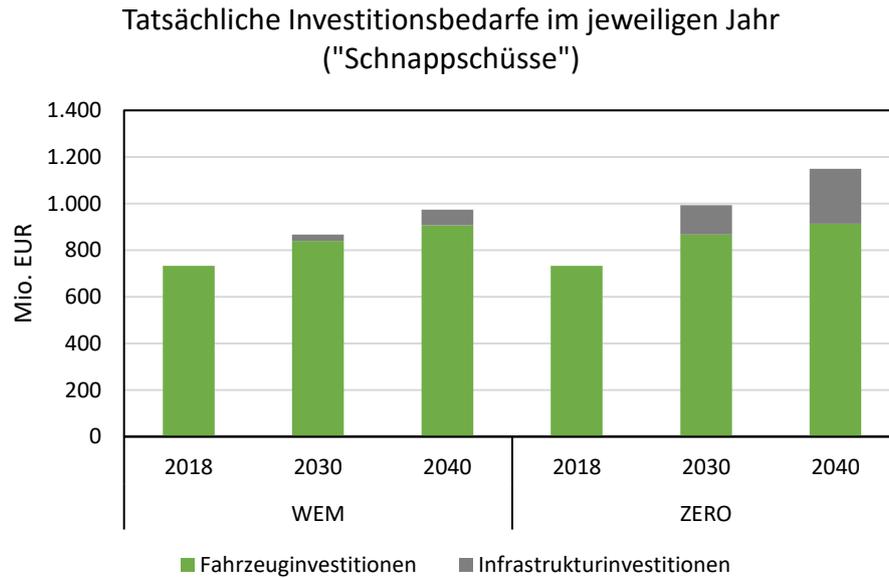


Abbildung 11: Fahrzeug- und Infrastrukturinvestitionsbedarf für die Jahre 2018, 2030 und 2040 für die WEM-Baseline und das ZERO-Szenario

Abbildung 12 zeigt die Investitionsbedarfe für WEM und ZERO für die genannten Infrastrukturkategorien getrennt; wieder für 2030 und 2040 jeweils als tatsächlicher Investitionsbedarf im jeweiligen Jahr („Schnappschuss“). Die benötigten Infrastrukturinvestitionen sind für das ZERO-Szenario bedeutend höher als für die WEM-Baseline, da mehr Ladestellen für Batterieelektrische Fahrzeuge und Wasserstoff-Tankstellen für H₂-betriebene Verbrennungskraftmaschinen und Brennstoffzellen-Fahrzeuge benötigt werden. Außerdem kommt die Oberleitungstechnologie nur im ZERO-Szenario zum Einsatz. Die gesamten Infrastrukturinvestitionen belaufen sich im Jahr 2040 im ZERO-Szenario auf ungefähr 235 Millionen Euro.

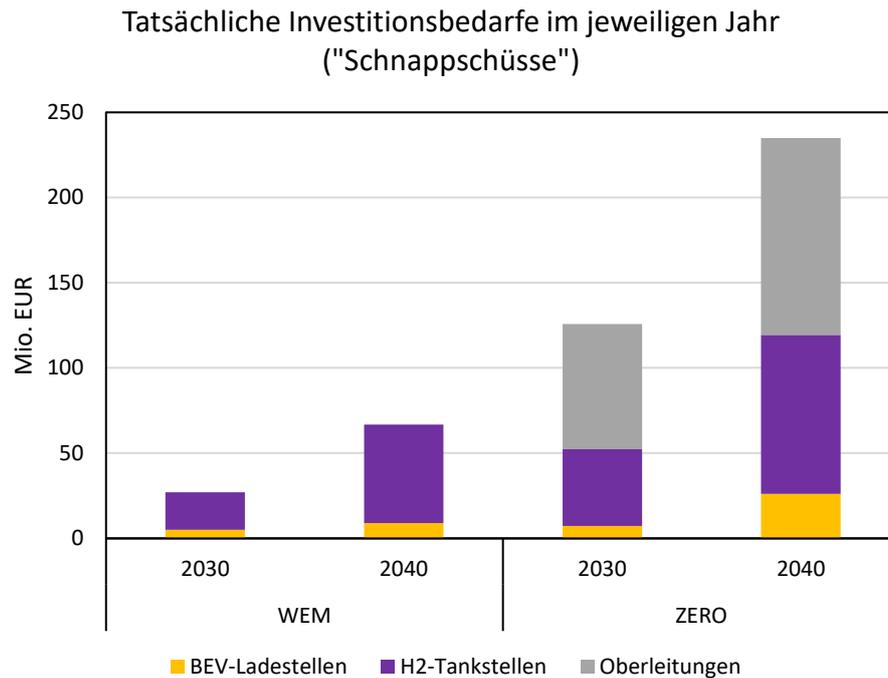


Abbildung 12: Benötigte Infrastrukturinvestitionen nach Technologie für 2030 und 2040 für WEM-Baseline und ZERO-Szenario

Aus den Investitionsbedarfen für die Infrastruktur wurde in der Folge ein weiterer Kosten-Markup errechnet. Dieser entspricht der jährlichen Abschreibung inklusive Verzinsung und wird im makroökonomischen Modell als zusätzliche Kapitalausgabe für den energiebereitstellenden Sektor (Stromsektor) angewendet. Demnach weist dieser Ansatz die Infrastrukturausgaben dem Stromsektor zu, welcher die dadurch entstandenen zusätzlichen Kosten auf alle Wirtschaftsakteure im Sinne von höheren Preisen weitergibt. Der Stromsektor beschränkt sich in dieser Abbildung somit nicht ausschließlich auf die Erzeugung, Übertragung und Verteilung von Elektrizität, sondern tritt als umfassender Dienstleister auf. Derselbe Kosten-Markup wird auch auf importierten Strom angewendet, da durch die Errichtung derselben Infrastruktur in benachbarten Ländern derselbe Effekt angenommen wird. Aus einer volkswirtschaftlichen Perspektive würde andernfalls der teurere heimische Strom übermäßig durch erhöhte Stromimporte ersetzt werden.

7.2 Makroökonomische Effekte

7.2.1 Makroökonomisches Modell

Um die makroökonomischen Auswirkungen des Umstiegs von WEM auf ZERO zu bewerten, wird ein angewandtes allgemeines Gleichgewichtsmodell („Computable General Equilibrium“ CGE-Modell) verwendet. Generell basiert ein CGE-Modell auf einer Input-Output-Tabelle, die die Wirtschaft als monetäre Ströme zwischen Agenten (d.h. Produzenten und Konsumenten) darstellt, typischerweise auf jährlicher Basis. Die Zahlungen und das Einkommen eines Agenten werden als entsprechende Spalten und Zeilen dargestellt, was bedeutet, dass jede Zelle der Matrix explizit eine Transaktion zwischen zwei Agenten zeigt. Bei Gleichheit von Spaltensummen und Zeilensummen, werden somit alle produzierten Outputs an anderer Stelle im Wirtschaftssystem absorbiert, was bedeutet, dass die Ökonomie ausgeglichen (oder im „Gleichgewicht“) ist und alle Märkte geräumt

sind (Angebot = Nachfrage). Innerhalb dieses makroökonomischen Rahmens erzeugen die Produzenten kostenminimierend ihren Output (mittels optimaler Kombination von Faktoren (typischerweise Arbeit und Kapital) und Vorleistungen gemäß einer bestimmten Produktionsfunktion). Die Konsumenten maximieren ihren Nutzen aus Konsum von Gütern und Dienstleistungen entsprechend einer spezifizierten nutzenbasierten Konsumfunktion und sind durch ihr Faktoreinkommen (Löhne und Kapitalrenten) budgetär beschränkt. Der aktuelle Zustand der Wirtschaft wird somit als ein Fließgleichgewicht dargestellt, das sogenannte "Benchmark-Gleichgewicht". Wenn dieses Benchmark-Gleichgewicht gestört wird (z. B. durch eine technologische Änderung), optimieren die Agenten unter neuen Bedingungen, was zu endogenen Änderungen der relativen Preise sowie der angebotenen und nachgefragten Mengen führt. Diese Anpassungen erfolgen so lange, bis sich ein neues Gleichgewicht einstellt, in dem erneut alle Märkte geräumt sind. Durch den Vergleich von Modellvariablen vor und nach der Störung des Ausgangsgleichgewichts ist es möglich, makroökonomische Effekte zu isolieren (siehe [77] für eine umfassende Beschreibung der Funktionsweise von CGE-Modellen). CGE-Modelle sind daher gut geeignet, um langfristige gesamtwirtschaftliche Effekte zu analysieren, die durch einen lokale (z.B. sektorale) Änderungen ausgelöst werden.

Das hier angewandte CGE-Modell basiert auf [78] und [79], welches Österreich als „kleine offene Volkswirtschaft“ abbildet. Dies heißt, dass es Importe und Exporte gibt, Preise auf internationalen Märkten durch Änderungen im Außenhandel Österreichs jedoch nicht beeinflussbar sind, und Österreich somit die Eigenschaft einer „kleinen offenen Volkswirtschaft“ hat. Besonderes Augenmerk liegt im Modell auf der Auflösung des Landverkehrssektors: Der ursprüngliche Landverkehrssektor der österreichischen Input-Output-Tabelle wird wie folgt disaggregiert: Einen Sektor für Straßengüterverkehr, zwei Sektoren für Schienenverkehrsdienstleistungen (für Güter- und für Personenverkehr), einen Sektor für den öffentlichen Personennahverkehr, drei Verkehrsinfrastruktur-bereitstellende Sektoren (je für Straße, Schiene und für den übrigen Verkehr), und einen Sektor, der die übrigen Landverkehrsdienstleistungen erbringt (z.B. Taxibetrieb, Fernbusse, Transport über Pipelines etc.). Der motorisierte Individualverkehr (MIV) des repräsentativen privaten Haushalts ist ebenfalls separat enthalten. Alle Wirtschaftssektoren benötigen neben anderen Vorleistungen ein Transportdienstleistungsaggregat als Input, um zu produzieren, in das unter anderem auch die Dienstleistung aus dem Straßengüterverkehrssektor eingeht.

Um das gesamtwirtschaftliche CGE Modell mit den sehr detaillierten Kosteninformationen und eruierten Entwicklungspfaden aus CLEARER zu verbinden, wurden die Technologie-UseCase-Matrizen auf einen gesamten Straßengüterverkehrssektor hochaggregiert, wie in Kapitel 7.1.1 beschrieben, und anschließend auf den im Modell vorhandenen Straßengüterverkehrssektor angewandt.

7.2.2 Makroökonomische Ergebnisse

Die Ergebnisse der makroökonomischen Analyse werden im Folgenden dargestellt. Dabei wurde im Hauptlauf die (in dieser Modellklasse übliche) Annahme getroffen, dass sich die Wirtschaft in einer Vollauslastungsphase befindet und die zusätzlichen Investitionen, die für die Anschaffung der Fahrzeuge und benötigte Infrastruktur in der WEM-Baseline und im ZERO-Szenario gemacht werden, andere Investitionen verdrängen. Die gesamtwirtschaftlichen Investitionen ändern sich demnach zunächst durch einen Umstieg von WEM auf ZERO nur in ihrer Struktur, jedoch nicht in ihrer Höhe. In Sensitivitätsanalysen wurde diese Annahme anschließend verändert und es wurde

unterstellt, dass zusätzliche Investitionen entweder über erhöhtes Sparen (und demnach Rückgängen im Konsum) finanziert werden oder diese neuen Investitionen brachliegende Kapazitäten aktivieren (und demnach weder Konsum noch andere Investitionen verdrängt werden). Wenn nicht anders beschrieben, stellen die gezeigten Ergebnisse immer die Veränderung ZERO relativ zu WEM-Szenario dar.

Preis- und Outputveränderung im Straßengüterverkehrssektor

Abbildung 13 zeigt für den gesamten Straßengüterverkehrssektor in Österreich, wie sich der entsprechende Preis und der Output (i.e. Mengeneffekt) dieser Dienstleistung ändern (ZERO versus WEM). Die Preiseffekte spiegeln die Input-Daten (Kosten-Markups) wider, liegen aber auf Grund von endogenen indirekten Effekten im Modell, nicht am genau selben Niveau. Der Preis im ZERO-Szenario liegt im Jahr 2030 um ca. 4 % höher als in der WEM-Baseline. Im Jahr 2040 gibt es dann so gut wie keinen Preisunterschied mehr, da die Technologiekosten sinken.

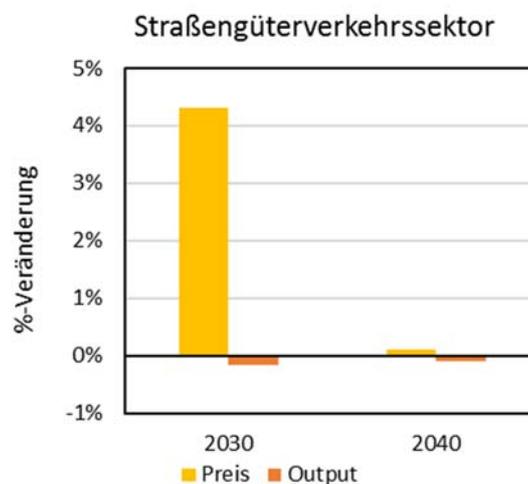


Abbildung 13: Preis- und Outputänderung im Straßengüterverkehrssektor (ZERO versus WEM)

Der Output dieses Sektors ändert sich kaum (Nachfrageelastizität liegt nahe Null), da trotz der Preisänderungen im Straßengüterverkehrssektor, diese Dienstleistung nach wie vor ein essentieller Bestandteil wirtschaftlicher Aktivitäten ist und ein Umstieg zu einer anderen Technologie (zum Beispiel auf die Schiene) nur beschränkt möglich ist. Es kommt daher im Aggregat des gesamten Straßengüterverkehrssektors nur zu einem leichten Rückgang im Output (ca. 0,2 % in 2030 und 0,1% in 2040).

Sektorale Effekte

Neben dem Straßengüterverkehrssektor sind 80 weitere Sektoren in der verwendeten Input-Output Tabelle (und somit auch im CGE Modell) spezifiziert, die durch Änderungen im Straßengüterverkehr und sektoraler Verflechtungen indirekt betroffen sind. Abbildung 14 zeigt die Preis- und Outputniveauänderung für alle Sektoren für 2030 und 2040 zwischen WEM und ZERO, wobei die vier wichtigsten Sektoren (Straßengüterverkehrssektor, Fossile Energiebereitstellung (inkludiert Diesel), Strom- und Gassektor) separat und alle anderen Sektoren der Wirtschaft in größere Gruppen zusammengefasst wurden.

Wie beschrieben beträgt der Preisanstieg im Jahr 2030 im Straßengüterverkehrssektor ca. 4 %. Dieser Preisanstieg löst leicht negative gesamtwirtschaftliche Effekte aus, da die Wirtschaft mit

höheren Kosten konfrontiert ist. Dies führt wiederum zu geringerer Nachfrage und somit auch zu Preisrückgängen in anderen Wirtschaftssektoren. Diese preislichen Rückgänge liegen unter rund 1 %. Bei einem Blick auf das Outputniveau sieht man, dass der Output der fossilen Energieerzeugung (inkludiert Diesel) um ca. ein halbes Prozent zurückgeht und der Output im Stromsektor um rund 1 % steigt. Dies liegt an der Transformation von Diesel-Lkws zu Lkws mit alternativen Antrieben, wobei im Stromsektor vor allem BEV, FCEV und O-EV Fahrzeuge von Bedeutung sind. Der Gas-Sektor hat 2030 im ZERO-Szenario einen höheren Output, da Gas in manchen Marktsegmenten als Übergangstechnologie dient (siehe auch Strukturverschiebung in Kapitel 7.1.1). Der Rückgang in der Bereitstellung von öffentlichen Dienstleistungen im Jahr 2030 kommt vor allem durch den allgemeinen Rückgang wirtschaftlicher Aktivität in dieser Zeitscheibe.

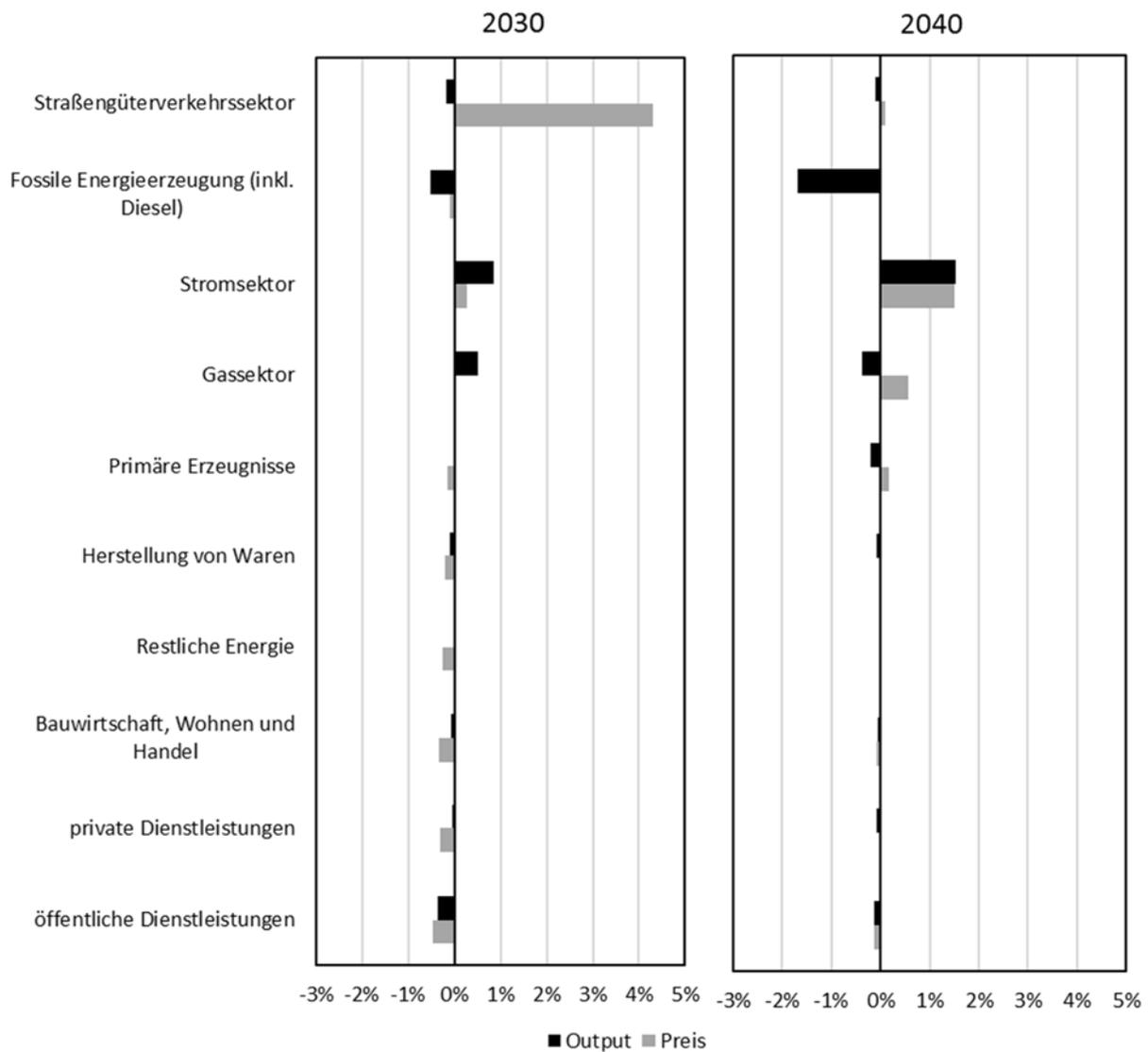


Abbildung 14: Preis- und Outputänderungen der Sektoren (ZERO versus WEM)

Betrachtet man das Jahr 2040, geht der Output der fossilen Energiebereitstellung (Diesel) weiter zurück und der von Gas liegt im ZERO-Szenario nun unter dem der WEM-Baseline, da Gas dann nicht mehr als Treibstoff eingesetzt wird (siehe auch Strukturverschiebung in Kapitel 7.1.1). Dafür

steigt der Output im Stromsektor weiter an, da die Elektrifizierung (und der Einsatz von strombasiertem Wasserstoff) voranschreitet. Der Preis von Strom steigt einerseits durch erhöhte Nachfrage aber auch durch die Kosten der zusätzlich notwendigen Infrastruktur. Da sich in 2040 der relative Kostennachteil (gegenüber WEM) des Straßengüterverkehrssektors durch technologischen Fortschritt wieder auflöst, und auch die Wirtschaftsleistung wieder nahezu auf das WEM Niveau zurückkehrt, ändern sich 2040 die Umsätze der anderen Sektoren kaum.

Veränderung des Bruttoinlandsprodukts (BIP)

Abbildung 15 zeigt die Veränderung des BIP in Prozent zwischen ZERO und WEM. Hierbei ist zu erkennen, dass das BIP im Jahr 2030 im ZERO-Szenario um etwa 0,5 % niedriger ist als in der WEM-Baseline, dieser Effekt aber nur temporär im Übergang der Transformation spürbar wird und sich die Wirtschaftsleistung bis 2040 wieder dem WEM-Szenario annähert.

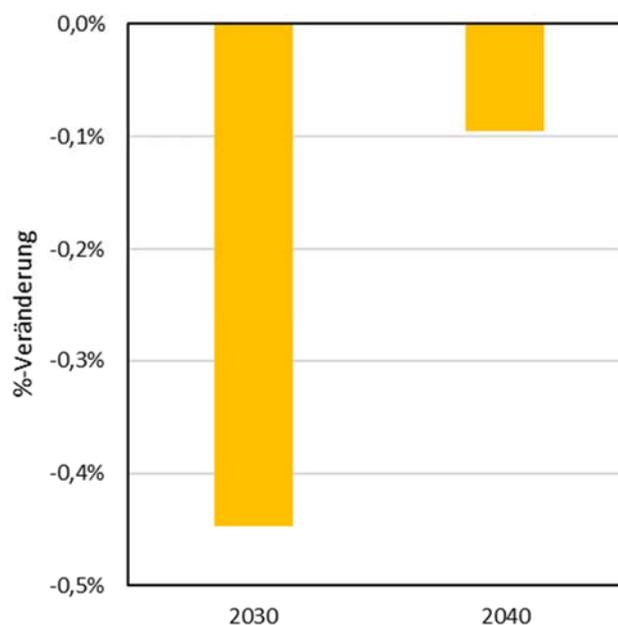


Abbildung 15: Veränderung des Bruttoinlandsproduktes (ZERO versus WEM)

Der Haupttreiber für diesen Effekt sind die höheren Kosten pro Tonnenkilometer und der damit einhergehende gesamtwirtschaftliche Produktivitätsverlust, welcher dann in einem höheren Preisniveau des Straßengüterverkehrssektors im ZERO-Szenario resultiert. Zudem haben auch die höheren Infrastrukturkosten (im Sinne von Kapitalkosten) im ZERO-Szenario und die Importe von synthetischen Kraftstoffen einen Einfluss. Im Jahr 2040 ist das BIP annähernd auf demselben Niveau wie in der WEM-Baseline und liegt nur mehr 0,1 % darunter.

Schätzt man die makroökonomischen Effekte über 2040 hinaus qualitativ ab, kann folgendes gesagt werden: Da im ZERO Szenario in 2040 die Kosten pro Tonnenkilometer bereits unter jenen des WEM liegen (siehe Abbildung 9), sind die leicht negativen BIP Effekte im Jahr 2040 primär auf das leicht geringere Wachstum in den Jahren davor zurückzuführen. Ab 2040 – bzw. jenem Zeitpunkt, zu welchem die Kosten im ZERO kleiner sind als im WEM Szenario – kann man aber von höherer gesamtwirtschaftlicher Produktivität ausgehen und somit auch von stärkerem Wachstum im ZERO Szenario, also einem Aufholen in der gesamtwirtschaftlichen Wertschöpfung (BIP). Demnach wird sich in der langen Frist (bis 2050) ein positiver BIP Effekt ergeben, welcher durch potenzielle weitere Kostensenkungen und Lerneffekte weiter verstärkt werden würde.

Wohlfahrtseffekte

In der makroökonomischen Analyse ist es nicht nur interessant die Effekte auf das BIP zu betrachten, sondern auch zu analysieren, wie sich die Wohlfahrt durch eine Transformation des Straßengüterverkehrssektors entwickelt. Wohlfahrtseffekte im engeren Sinn beschreiben die Veränderungen der Konsummöglichkeiten (bei veränderten Preisen und Einkommen), und umfassen zwei Aspekte: einerseits den privaten Konsum, welcher Wohlfahrt stiftet, und andererseits den Konsum der öffentlichen Hand, welcher als öffentliche Dienstleistungen in die gesamtwirtschaftliche Wohlfahrt eingeht. Nach der Analyse der Veränderung der Wohlfahrt im engeren Sinn gehen wir auf jene im weiteren Sinn ein. Abbildung 16 (links) zeigt die Veränderung des öffentlichen Konsums und die Veränderung des privaten Konsums (Mengeneffekte). Dabei sieht man, dass der Konsum im Jahr 2030 stärker negativ beeinflusst ist als im Jahr 2040. Außerdem ist die Veränderung im öffentlichen Konsum deutlich stärker negativ ausgeprägt als im privaten Konsum. Man sieht also, dass die öffentliche Hand stärker von der Transformation betroffen ist. Der stärkere Rückgang im Konsum der öffentlichen Hand kann dadurch erklärt werden, dass es insgesamt zu einer Verlagerung weg von höher besteuerten Gütern, Dienstleistungen und Faktoren (insbesondere Arbeit) kommt, wodurch öffentliche Budgeteinnahmen zurückgehen und somit von öffentlicher Seite weniger konsumiert werden kann.

Die Auswirkungen auf die gesamte Wohlfahrt ist somit die Kombination aus privatem und öffentlichem Konsum. Da beide, privater Konsum und öffentlicher Konsum, im ZERO-Szenario leicht niedriger sind als in der WEM-Baseline, ergibt sich auch für die gesamte Wohlfahrt ein leichter Rückgang (siehe Abbildung 16, rechts). Auch hier sieht man wieder den Effekt, dass im Jahr 2030 der Effekt stärker negativ ausgeprägt ist als im Jahr 2040, was vor allem an den höheren Kosten für alternative Treibstoffe im Jahr 2030 liegt. Die Wohlfahrtseffekte sind sehr begrenzt und das Wohlfahrtsniveau liegt 2030 (2040) circa 0,2 % (0,1 %) unter dem Niveau der WEM-Baseline.

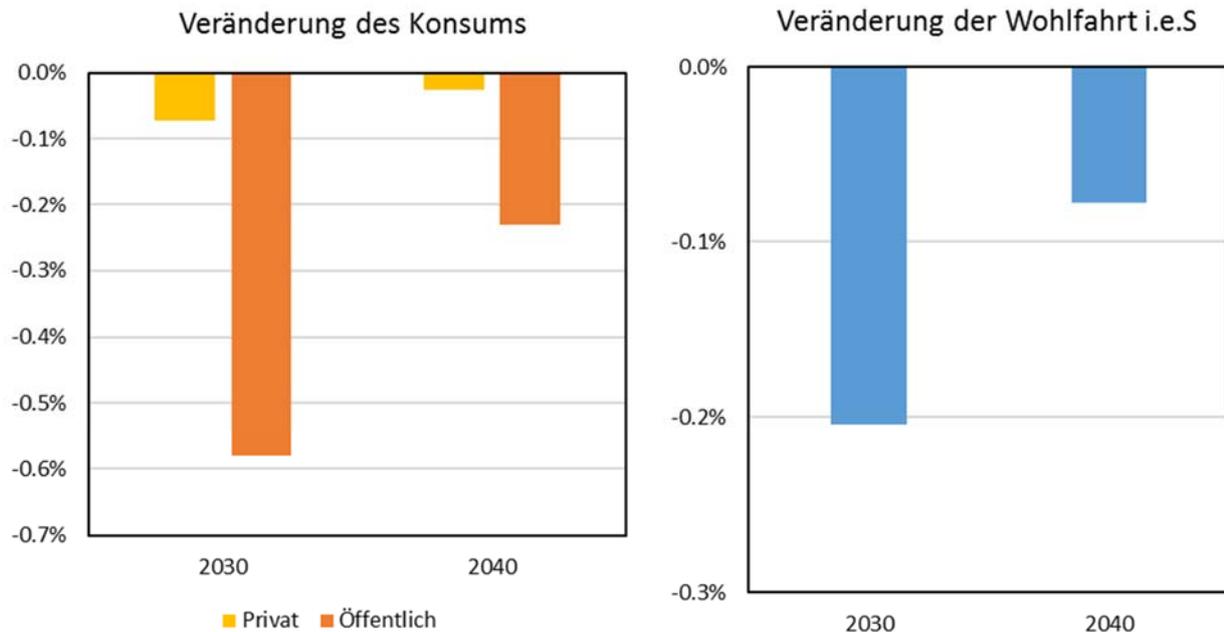


Abbildung 16: Links: Veränderung des Konsums der privaten Haushalte und der öffentlichen Hand. Rechts: Veränderung der Wohlfahrt im engeren Sinn (d.h. Konsummöglichkeiten) (Jeweils ZERO versus WEM)

Der eigentliche Grund für die Zero-Emissions-Politik ist die Erhöhung der Wohlfahrt durch Vermeidung von Klimaschäden. Dieser Wohlfahrtszugewinn ist in der Wohlfahrtsmessung im engeren Sinn (der sich nur auf die marktlichen Konsummöglichkeiten bezieht) als auch im BIP jedoch nicht abgebildet. Es gibt neben den verringerten Treibhausgasemissionen auch Co-Benefits (wie verringerte Gesundheitsschäden durch bessere Luftqualität) und andere ökonomische Vorteile (siehe [1]).

Um den Aspekt des Nutzens der CO₂-Reduktion⁵ ebenfalls sichtbar zu machen, wurde ein Wohlfahrtsindikator im weiteren Sinn errechnet. Dieser basiert auf dem engeren Wohlfahrtsmaß (materielle Konsummöglichkeiten), es werden jedoch noch monetär bewertete Nutzen der CO₂-Reduktion des jeweiligen Jahres hinzugerechnet. Dazu wurden Abschätzungen in einer 3-stufigen Skala (niedrig, mittel, hoch) wie folgt verwendet: Für die niedrige Schranke des Werts einer Tonne CO₂ wird der derzeitige EU ETS Preis verwendet (40 EUR/tCO₂, jeweils gleich für 2030 und 2040). Als mittlere Bewertungsgröße wurden Werte der IIASA SSP Datenbank verwendet [80]. Diese Werte spiegeln Modell-basierte CO₂ Bewertungen wider, die kompatibel mit dem Paris-Ziel sind; konkret in 2030: 110 EUR/tCO₂, in 2040: 200 EUR/tCO₂. Für eine hohe Bewertung wurden die Werte der SSP Datenbank um 50 % erhöht. Diese Werte sind konsistent mit der Literatur und Empfehlungen wie zum Beispiel die der Scientists-for-Future oder der High-Level Commission on Carbon Pricing [81].

Die sich daraus ergebenden und treffsichereren Wohlfahrtseffekte sind in Abbildung 17 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die langfristigen Wohlfahrtseffekte (2040 und darüber hinaus) bei erwartbaren CO₂-Emissions-Bewertungen (>100 EUR/tCO₂ im Jahr 2040) positiv sind, nämlich um bis zu +0,2%, und demnach die Nutzen der Emissionsreduktion die Kosten klar überwiegen. An dieser Stelle ist

⁵ Im Sinne von zukünftig reduzierten Schäden, die auf heutiges Niveau abgezinst werden; oder analog der Schaden, den eine emittierte Tonne CO₂ anrichten würde. Dies bezeichnet man auch als „Social Costs of Carbon“.

noch zu erwähnen, dass andere Co-Benefits, wie etwa Gesundheitseffekte durch bessere Luftqualität, noch nicht berücksichtigt sind.

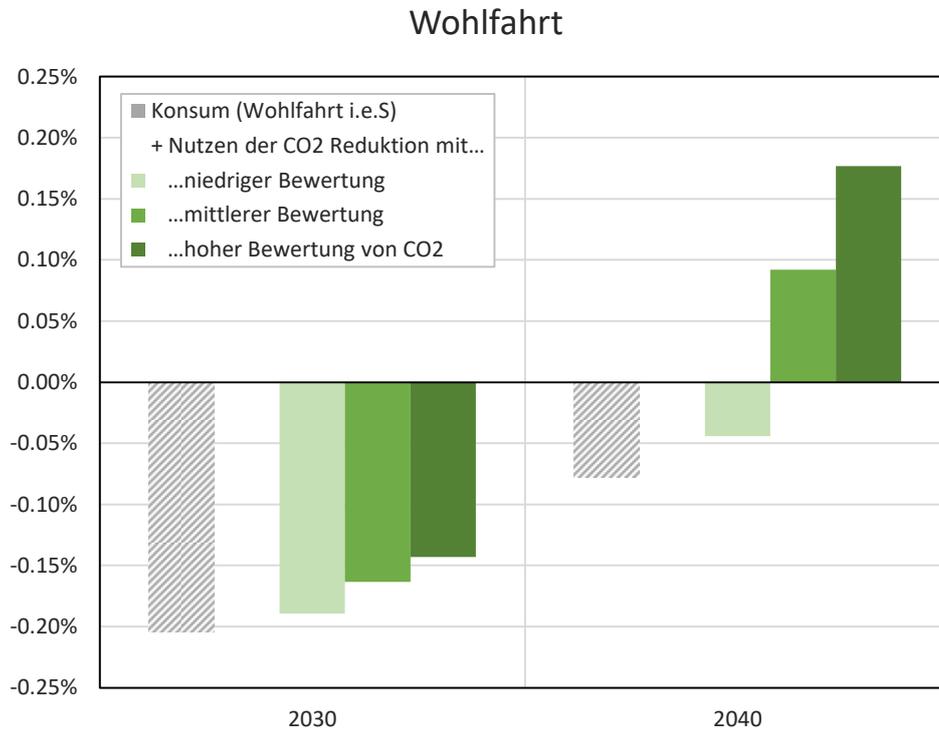


Abbildung 17: Veränderung des Konsums (= Wohlfahrt im engeren Sinn) und der Wohlfahrt im weiteren Sinn (unter Berücksichtigung der Nutzen der CO₂-Reduktion mit niedriger, mittlerer und hoher Bewertung; ZERO versus WEM)

Einnahmerrückgänge der Mineralölsteuer

Im Folgenden werden die öffentlichen Einnahmen durch die Mineralölsteuer (MÖSt) näher beleuchtet. Dabei wird Kraftstoffexport, wie schon in Kapitel 4 beschrieben, nicht betrachtet. Konkret ist die Berechnungsgrundlage – laut Systemgrenze, wie sie im Projekt gezogen wurde – die Fahrleistung, die auf Österreichs Straßen von Lkw zurückgelegt wird. Die Einnahmen aus der MÖSt, werden durch den Einsatz von alternativen Technologien im Straßengüterverkehrssektor geringer werden. Abbildung 18 zeigt eine Abschätzung der Staatseinnahmen aus der MÖSt durch Lkw-Verkehr auf Österreichs Straßen im Jahr 2018, 2030 und 2040 für die WEM-Baseline und das ZERO-Szenario. Im Jahr 2018, wo die Technologien für WEM und ZERO noch genau gleich aufgeteilt sind, wurden vom Staat ca. 650 Millionen Euro aus der MÖSt aus dem Lkw-Verkehr auf Österreichs Straßen eingenommen. Dies entspricht einem Anteil von ca. 15 % der gesamten MÖSt-Einnahmen im Jahr 2018, und circa 0,5 % der gesamten Steuereinnahmen. Erkennbar ist, dass durch den Technologieumstieg im ZERO-Szenario im Jahr 2030 die MÖSt Einnahmen durch Lkw-Verkehr auf Österreichs Straßen auf 530 Mio. Euro sinken und dann in 2040 zur Gänze versiegen. Auch in der WEM-Baseline sinkt die MÖSt, trotz Zunahme der Fahrleistung, und erreicht 2040 nur mehr 530 Millionen Euro. Im Jahr 2030 sind die Auswirkungen somit weniger umfassend und das Niveau von 2018 kann nahezu gehalten werden. Dies allerdings nur, da angenommen wurde, dass synthetische Kraftstoffe im Jahr 2030 wie Diesel behandelt werden und auch besteuert werden. Die Angaben für 2030 und 2040 basieren auf Preisen von 2018. Die MÖSt des Lkw-Verkehrs auf

Österreichs Straßen der WEM-Baseline beträgt im Jahr 2040 anteilmäßig 0,3 % des gesamten Staatshaushalts, ein Anteil, welcher im ZERO-Szenario dementsprechend wegfallen würde.

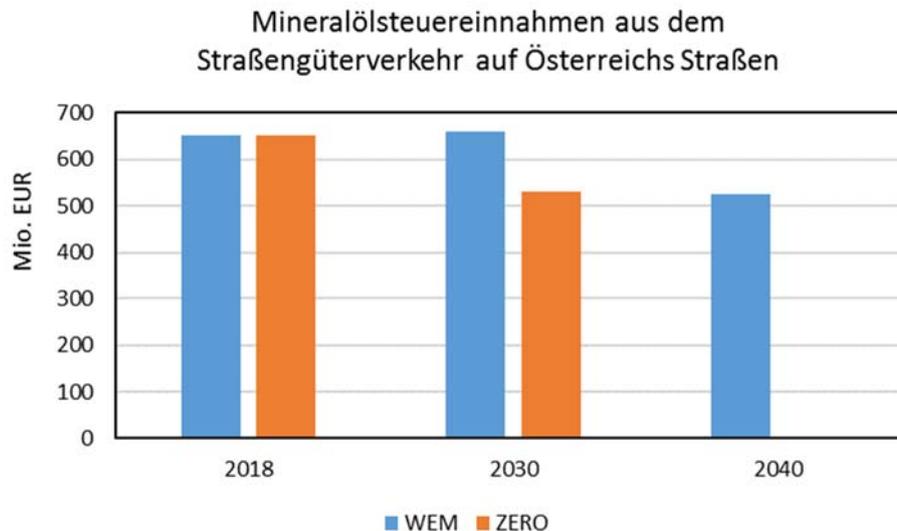


Abbildung 18: Einnahmen der Mineralölsteuer aus dem Straßengüterverkehrssektor auf Österreichs Straßen in Millionen Euro in den Jahren 2018, 2030 und 2040 für die WEM-Baseline und das ZERO-Szenario. Berechnungsgrundlage ist die Fahrleistung, die auf Österreichs Straßen von Lkw zurückgelegt wird (d.h. ohne Berücksichtigung des im Ausland verfahrenen Kraftstoffs).

Sensitivitätsanalysen

Für die makroökonomischen Effekte wurden drei Sensitivitätsanalysen durchgeführt: Erstens wurde der Effekt von möglichen globalen Effizienzsteigerungen und Lerneffekten im Bereich von Straßengüterverkehrstechnologien untersucht. Zweitens wurde variiert, wie mit zusätzlichen Investitionen umgegangen wird. Es wurde analysiert, welche Auswirkungen die zusätzlichen Investitionen bei konsumreduzierendem Sparen hätten, anstatt einer Verdrängung anderer Investitionen. Drittens wurde analysiert, welche Auswirkungen die Annahme von Unterauslastung von Kapazitäten hätte, sich die Wirtschaft also nicht in einer Boom-Phase (mit Vollausslastung) befindet, sondern in einer rezessiven Phase mit freien Produktionskapazitäten. In diesem Fall sind Verdrängungseffekte weniger schlagend (weder von Konsum noch von anderen Investitionen), sondern die zusätzlichen Investitionen aktivieren die nicht benutzten Kapazitäten und wirken somit stimulierend (dies entspricht Keynes'ianischem Denken). Für alle drei Sensitivitätsanalysen und den Hauptlauf sind in Abbildung 19 die Effekte auf BIP und Wohlfahrt dargestellt. Diese werden im Folgenden näher beschrieben.

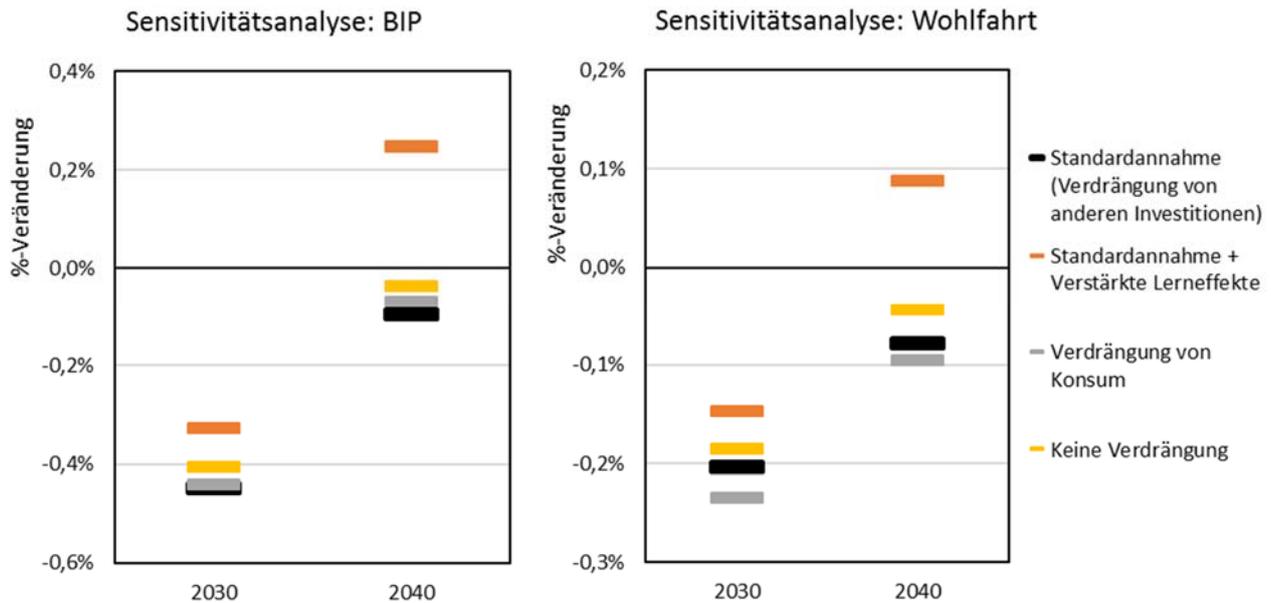


Abbildung 19: Sensitivitätsanalysen für BIP und Wohlfahrtseffekte im engeren Sinn (jeweils ZERO versus WEM)

Sensitivitätsanalyse 1: Verstärkte Lerneffekte im ZERO-Szenario

Die ergänzenden Ansätze (Kapitel 5.7) und die dort beschriebenen Maßnahmen motivieren die Einführung einer potenziellen Kosteneffizienzsteigerung. Hierbei wurde unterstellt, dass im ZERO-Szenario klimaneutrale Straßengüterverkehrstechnologien global vermehrt zum Einsatz kommen und diese durch Lerneffekte schneller billiger werden als im WEM-Szenario. Angenommen wurde, dass im Jahr (2030) 2040 die Kosteneffizienz um (2,7 %) 5 % höher liegt (d. h. (2,7 %) 5 % weniger Kosten bei gleichem Output). Der orange Strich in Abbildung 19 zeigt, dass eine solch leichte Steigerung der Kosteneffizienz in diesem Sektor relativ stark positive makroökonomische Auswirkungen hat. Die BIP-Effekte sind im Jahr 2030 zwar nach wie vor negativ, jedoch weniger stark als im Hauptlauf. Im Jahr 2040 liegt das BIP im ZERO-Szenario sogar um 0,2 % über dem BIP der WEM-Baseline. Die Wohlfahrtsveränderungen im engeren Sinn sind ähnlich. Die Auswirkungen einer geringen Effizienzsteigerung von 5 % im Jahr 2040 (entspricht einer zusätzlichen Kosteneffizienzsteigerung von 0,2 % p.a.) hat also relativ starke positive Auswirkungen auf das BIP und die Wohlfahrt.

Sensitivitätsanalyse 2: Verdrängung von Konsum anstatt anderer Investitionen

Da in einer vollausgelasteten Wirtschaft nicht eindeutig gesagt werden kann, ob neue Investitionen andere Investitionen oder (über erhöhtes Sparen) den Konsum verdrängen, sind beide Fälle analysiert worden. Der graue Strich in Abbildung 19 zeigt, welche BIP- und Wohlfahrtseffekte im Fall von Konsumverdrängung entstehen. Da Konsum verdrängt wird, liegen die Wohlfahrtseffekte leicht unter jenen des Hauptlaufs. Dafür ist der BIP-Effekt leicht positiver als im Originallauf, weil in dieser Modellvariante die Ersparnis und somit auch die Investitionen höher liegen und mehr Kapitalstock aufgebaut wird, was einen langfristigen positiven Effekt auf das BIP hat.

Sensitivitätsanalyse 3: Keine Verdrängung, dafür Nutzung von ungenutzten Kapazitäten

Im Fall, wo weder Konsum noch andere Investitionen verdrängt werden, wird angenommen, dass die Wirtschaft freie Kapazitäten hat, die nicht verwendet werden (sich also in Unterauslastung

befindet). Dies ist vor allem in rezessiven Phasen der Fall. Der gelbe Strich in Abbildung 19 zeigt, dass das BIP- und die Wohlfahrtseffekte weniger stark negativ sind, da die Wirtschaft stimuliert werden kann (und somit auch Einkommen und Konsum steigen). Im Jahr 2040 liegt in diesem Fall das BIP und die Wohlfahrt beinahe auf dem gleichen Niveau wie in der WEM-Baseline.

Ein Vergleich der vier Analysen zeigt, dass durch Kosteneffizienzsteigerung im Straßengüterverkehrssektor der positivste Effekt von allen Analysen erzielt wird, gemessen in Wohlfahrt und auch BIP. In einer Wirtschaft, die sich in Unterauslastung befindet, sind die Umstellungen im Straßengüterverkehr (ZERO im Vergleich zu WEM) mit schwächeren negativen BIP- und Wohlfahrtseffekte verbunden. Die Wohlfahrtseffekte sind bei Finanzierung durch erhöhtes Sparen (d. h. Konsumverdrängung) am stärksten negativ. Die Verdrängung von anderen Investitionen führt zum ausgeprägtesten, aber dennoch schwachen, negativen BIP Effekt. Ein Pfad zur vollständigen Dekarbonisierung des Straßengüterverkehrssektors bewirkt langfristig (2040) je nach Annahme auf makroökonomischer Ebene somit einen schwachen negativen bis leicht positiven BIP-Effekt zwischen -0,1 bis +0.2 % (siehe Abbildung 19).

7.2.3 Qualitative Abschätzung der makroökonomischen Wirkung ergänzender Ansätze

Die in Abschnitt 5.2 beschriebenen ergänzenden organisatorischen und technologischen Ansätze (City Logistik, neue Umschlagstechnologien, Verkehrssteuerung- und -leitung, Physical Internet, Platooning sowie automatisierte Transporte) können auf Grund derer Komplexität und der vielen Unsicherheiten im Rahmen des Projekts nicht quantitativ ökonomisch bewertet werden. Es wurde jedoch eine qualitative Abschätzung zur makroökonomischen Wirkung dieser Ansätze vorgenommen, die in Tabelle 27 zusammengefasst ist.

In einem ersten Schritt wurde abgeschätzt, wie kostenintensiv (unter Berücksichtigung von OPEX und CAPEX) die einzelnen Maßnahmen sind. Der Ansatz Physical Internet wurde am kostenintensivsten eingeschätzt, gefolgt von City Logistik, neue Umschlagstechnologien und automatisierte Transporte. Am wenigsten kostenintensiv erscheinen die Ansätze Verkehrssteuerung- und -leitung sowie Platooning (siehe Zeile CAPEX+OPEX-Intensität in Tabelle 27).

In einem zweiten Schritt wurde für jeden der Ansätze abgeschätzt, welche Wirtschaftssektoren durch einen Ausbau bzw. die Einführung der Ansätze potenziell profitieren würden (im Sinne von erhöhter Nachfrage); dargestellt in Tabelle 27 als 0 oder 1. Besonderen Stimulus würden demgemäß die Sektoren „Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen, elektrischen Ausrüstungen“ und „Erbringung von Dienstleistungen der Informationstechnologie + Informationsdienstleistungen“ erfahren (siehe Spalte „Summe je Sektor“ in Tabelle 27), da diese Sektoren für alle der genannten Ansätze wichtig sind. Betrachtet man in welcher Breite die einzelnen Ansätze wirken (siehe Zeile „Summe je Ansatz“ in Tabelle 27), wird ersichtlich, dass „neue Umschlagstechnologien“, „Physical Internet“ und „City Logistik“ eine besonders breite Wirkung auf die verschiedenen Wirtschaftssektoren haben.

In einem dritten und letzten Schritt wurden die potenziellen direkten sektoralen Stimuli („Summe je Sektor“) mit Input-Output (IO) Multiplikatoren⁶ der Statistik Austria [82] verschnitten, um auf eine drei-

⁶ IO Multiplikatoren zeigen, wie stark die indirekten heimischen makroökonomischen Effekte einer Nachfrageerhöhung sind. Bei einem Multiplikator von beispielsweise 2,48, werden für jeden Euro zusätzlicher Nachfrage zusätzlich 1,48 EUR an indirekter Nachfrage generiert.

skalige gesamthafte Wirkungsabschätzung zu kommen (Spalte „Wirkung“ in Tabelle 27). Jene Sektoren, wo ein starker gesamtwirtschaftlicher Stimulus zu erwarten ist, sind mit einem grünen Kreis gekennzeichnet, jene mit mittlerer Wirkung in gelb, jene mit schwacher/keiner Wirkung in grau. Diese decken sich in vielen Fällen mit den sektoralen Stimuli, jedoch wird auch ersichtlich, dass es in manchen Fällen durch relativ hohe Import-Anteile zu schwächeren indirekten Effekten kommt (z.B. der Sektor „Großhandel und Einzelhandel“ erwartet einen starken Stimulus [5 in Spalte „Summe je Sektor“], der indirekte Effekt ist aber auf Grund des geringen IO Multiplikators i.H.v. 1,81 schwächer).

Tabelle 27: Qualitative Abschätzung der makroökonomischen Wirkung ergänzender Ansätze

		City logistik	neue Umschla gs- technolo gien	Verkehrs- steuerun g- und - leitung	Physical Internet	Platoonin g	automa- tisierte Transpor te	Summe je Sektor	IO Multiplika tor	Wirkung
NACE Sektor	CAPEX+ OPEX- Intensität	2	2	1	3	1	2			
LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, FISCHEREI	A	0	0	0	0	0	0	0	2.48	●
BERGBAU UND GEWINNUNG VON STEINEN UND ERDEN	B	0	0	0	0	0	0	0	2.09	●
Herstellung von Nahrungs und Futtermitteln, Getränke und Tabakwaren, textilien, Kleidung, Lederwaren	C10 - 15	0	0	0	0	0	0	0	2.96	●
Herstellung von Holz, Flecht, Korb und Korkwaren (ohne Möbel)	C16	0	0	0	0	0	0	0	2.98	●
Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus, Druckerzeugnissen, Vervielfältigung von bespielten Ton, Bild und Datenträgern	C17 - 18	0	0	0	0	0	0	0	2.79	●
Kokerei und Mineralölverarbeitung	C19	0	0	0	0	0	0	0	2.83	●
Herstellung von chemischen Erzeugnissen, Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen	C20 - 21	0	0	0	0	0	0	0	3.21	●
Herstellung von Gummi und Kunststoffwaren	C22	1	0	0	1	0	0	2	2.98	●
Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	C23	0	0	0	0	0	0	0	2.60	●
Metallerzeugung und bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen	C24 - 25	0	0	1	0	0	0	1	2.85	●
Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen, elektrischen Ausrüstungen	C26 - 27	1	1	1	1	1	1	6	2.50	●
Maschinenbau	C28	0	1	0	0	0	0	1	2.74	●
Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen	C29	1	1	0	0	1	1	4	3.26	●
Sonstiger Fahrzeugbau	C30	1	1	0	1	0	1	4	2.82	●
Herstellung von Möbeln und sonstigen Waren	C31_32	0	0	0	0	0	0	0	2.62	●
Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen	C33	0	1	1	0	1	1	4	2.41	●
ENERGIEVERSORGUNG	D	1	1	1	1	0	0	4	2.60	●
BAU	F	0	1	1	0	0	0	2	2.56	●
Handel mit Kraftfahrzeugen, Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen	G45	1	0	0	1	1	1	4	2.28	●
Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen) und Einzelhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)	G46 - 47	1	1	1	1	0	1	5	1.81	●
Landverkehr und Transport in Rohrfernleitungen	H49	über Fahrleistung abgedeckt						0	-	●
Schifffahrt	H50	0	1	0	1	0	0	2	2.46	●
Luftfahrt	H51	0	1	0	1	0	0	2	3.07	●
Lagerei sowie Erbringung von sonstigen Dienstleistungen für den Verkehr	H52	1	1	0	1	0	0	3	1.76	●
Post, Kurier und Expressdienste	H53	über Fahrleistung abgedeckt						0	-	●
Beherbergung	I	0	0	0	0	0	0	0	1.86	●
Verlagswesen, Herstellung, Verleih und Vertrieb von Filmen und Fernsehprogrammen, Kinos, Tonstudios und Verlegen von Musik	J58 - 60	0	0	0	0	0	0	0	2.37	●
Telekommunikation	J61	1	0	1	1	0	1	4	2.22	●
Erbringung von Dienstleistungen der Informationstechnologie + Informationsdienstleistungen	J62_63	1	1	1	1	1	1	6	1.95	●
ERBRINGUNG VON FINANZ- UND VERSICHERUNGSDIENSTLEISTUNGEN	K	0	0	0	0	0	0	0	2.22	●
ERBRINGUNG VON FREIBERUFLICHEN, WISSENSCHAFTLICHEN UND TECHNISCHEN DIENSTLEISTUNGEN und SONSTIGEN WIRTSCHAFTLICHEN DIENSTLEISTUNGEN	M+N	0	0	0	0	0	0	0	1.80	●
OFFENTLICHE VERWALTUNG, VERTEIDIGUNG; SOZIALVERSICHERUNG, ERZIEHUNG UND UNTERRICHT, GESUNDHEITS- UND SOZIALWESEN	O+P+Q	0	0	0	0	0	0	0	1.57	●
KUNST, UNTERHALTUNG UND ERHOLUNG und SONSTIGEN DIENSTLEISTUNGEN	R+S	0	0	0	0	0	0	0	1.77	●
T PRIVATE HAUSHALTE MIT HAUSPERSONAL; HERSTELLUNG VON WAREN UND ERBRINGUNG VON DIENSTLEISTUNGEN DURCH PRIVATE HAUSHALTE FÜR DEN EIGENBEDARF OHNE AUSGEPRÄGTEN SCHWERPUNKT	T	0	0	0	0	0	0	0	1.31	●
U EXTERRITORIALE ORGANISATIONEN UND KÖRPERSCHAFTEN	U	0	0	0	0	0	0	0	-	●
Summe je Ansatz		10	12	8	11	5	8			

7.3 Ökologische Effekte

Durch die unterschiedlichen Annahmen in den untersuchten Szenarien WEM bzw. ZERO ergeben sich verschiedene ökologische Effekte im Jahr 2030 bzw. 2040. Die Ergebnisse für die CO₂-Emissionen, auf denen der Fokus dieser Studie liegt, sind in Abbildung 20 für die beiden Szenarien in den Jahren 2030 und 2040 sowie deren Ausgangspunkt im Jahr 2018 dargestellt. Zusätzlich sind die Umsetzung und Wirkung der ergänzenden Ansätze aus Kapitel 5.7 für jedes Szenario abgebildet.

Um die Effekte einer technologischen Umstellung im Straßengüterverkehr bestmöglich zu isolieren, wurden weder bei der Entwicklung des ZERO-Szenarios noch bei der Ableitung der Szenarien zu den ergänzenden Ansätzen Veränderungen von politische Maßnahmen (Pricing, Verbote u.ä.) simuliert. Entsprechende notwendige politische Rahmenbedingungen und deren verkehrliche Wirkung (wie z.B. eine Modal Split Veränderung durch Verbote oder deutliche Pricing-Akzente) sind daher nicht abgebildet. Dies ist Aufgabe von Verkehrsmodellierungen.

Im **WEM-Szenario** ergibt sich eine Reduktion der CO₂-Emissionen von 6 % im Jahr 2030 bzw. 24 % im Jahr 2040. Dies ist auf die Reduktion des Kraftstoffverbrauchs bei VKM-Diesel und dem verstärkten Einsatz von alternativen Antriebstechnologien sowie regenerativen Kraftstoffen zurückzuführen. Dadurch wird die erwartete Erhöhung der Fahrleistung bis 2040 von ca. 40 % (siehe Kapitel 4.3) mehr als kompensiert. Durch die ergänzenden Ansätze kann eine weitere signifikante CO₂-Reduktion erzielt werden, was auf die Reduktion der Fahrleistung und daher des Endenergiebedarfs zurückzuführen ist.

Das CO₂-Neutral Szenario führt durch die Zielgröße von null direkten CO₂-Emissionen in 2040 zu einer deutlich höheren CO₂-Reduktion als das WEM-Szenario. Durch die langsame Änderung der bestehenden Flotte fällt die Reduktion bis 2030 niedriger aus als bis 2040. Die Ergebnisse in diesem Szenario decken sich sehr gut mit der Einschätzung der Stakeholder, wie in Kapitel 6.2 ausgeführt. Die weitere Reduktion durch ergänzende Ansätze fällt in diesem Szenario aufgrund der bereits starken Verringerung der Emissionen durch alternative Antriebe und Kraftstoffe geringer aus. Da für die Klimawirksamkeit nicht nur der Endwert von null CO₂-Emissionen im Jahr 2040 relevant ist, sondern auch die kumulierte Emission bis 2040, können die ergänzenden Ansätze auch in diesem Szenario einen signifikanten Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten.

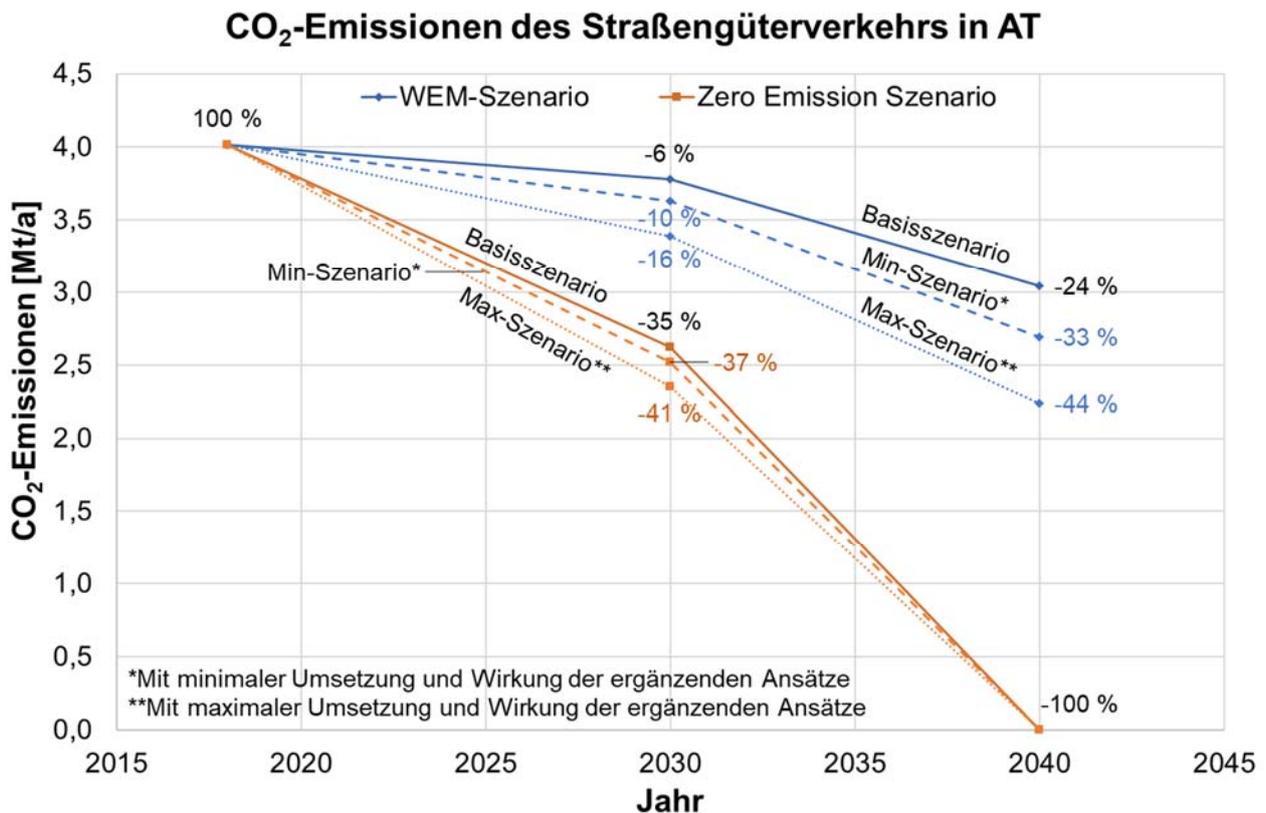


Abbildung 20: CO₂-Emissionen des Straßengüterverkehrs in AT in verschiedenen Szenarien (lineare Interpolation zwischen 2018 und 2030 sowie 2030 und 2040)

Eine weitere ökologische Kenngröße ist der Endenergiebedarf des Straßengüterverkehrs, welcher für die beiden Szenarien ebenfalls ausgewertet wurde. Die Ergebnisse sind in Abbildung 21 zu sehen. Es ist zu erkennen, dass sich durch die Erhöhung der Fahrleistung (siehe 4.3) zunächst ein Anstieg des Endenergiebedarfs ergibt, welcher durch die Zunahme effizienterer Technologien je nach Szenario unterschiedlich stark kompensiert wird. Durch die langsame Änderung der Flotte verzögert sich diese Reduktion und ist erst 2040 deutlich erkennbar. Die maximale Reduktion wird im CO₂-Neutral Szenario erzielt, was auf den geringeren Endenergiebedarf der eingesetzten BEV, O-EV und FCEV zurückzuführen ist. Diese fällt mit 9 % jedoch sehr gering aus, sodass im Basisszenario 2040 nahezu der gleiche Endenergiebedarf wie im Jahr 2018 erforderlich ist. Durch ergänzende Ansätze, wie in Kapitel 5.7 dargelegt, kann eine signifikante Reduktion der Fahrleistung und damit des Endenergiebedarfs erzielt werden. Diese wirkt sich wie oben erwähnt positiv auf die Erreichung der Klimaziele aus. Zusätzlich besteht durch eine Reduktion des Endenergiebedarfs die Möglichkeit weniger erneuerbare Energie erzeugen zu müssen oder die bestehende erneuerbare Energie kann in anderen Anwendungen fossile Energie ersetzen. Dadurch könnte eine weitere CO₂-Reduktion erzielt werden, welche in dieser Studie nicht untersucht wurde.

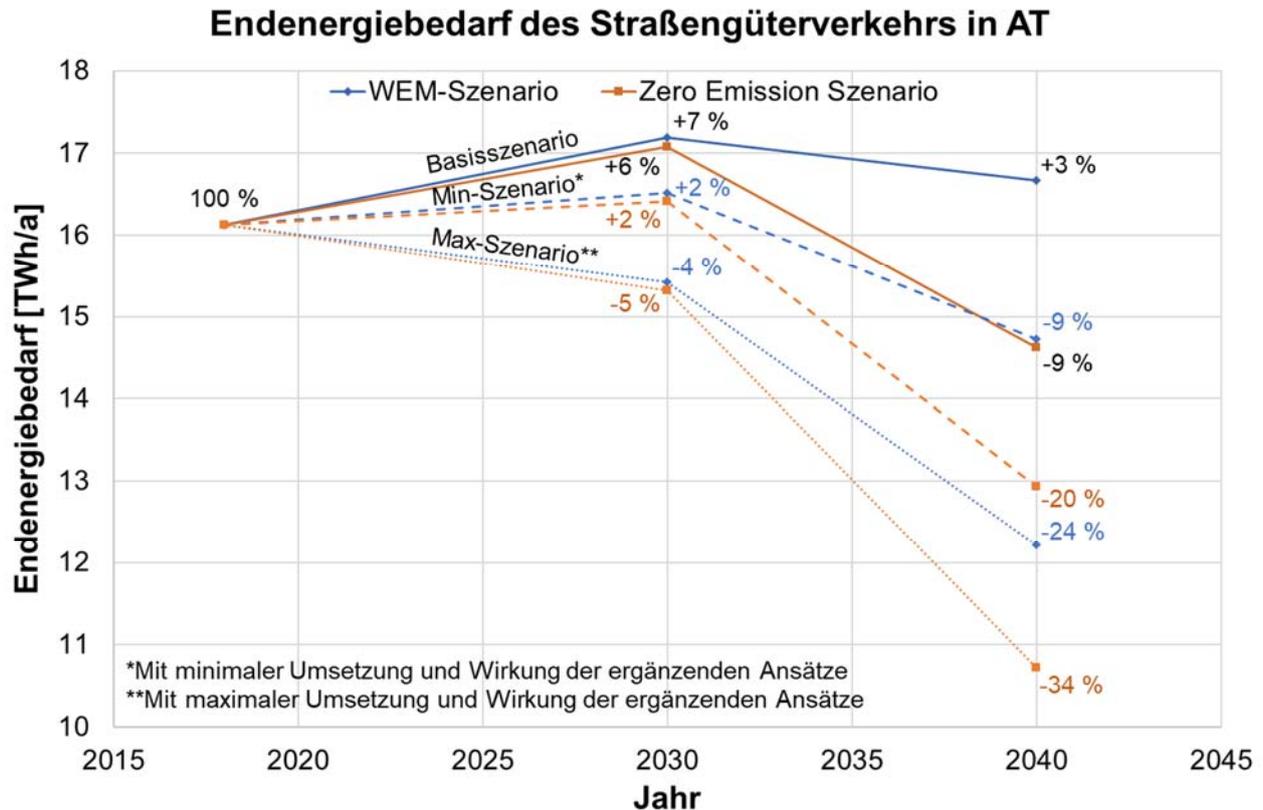


Abbildung 21: Endenergiebedarf des Straßengüterverkehrs in AT in verschiedenen Szenarien (lineare Interpolation zwischen 2018 und 2030 sowie 2030 und 2040)

Wie bereits erwähnt, decken die **in dieser Arbeit untersuchten direkten CO₂-Emissionen nur die Auspuffemissionen im Betrieb der Fahrzeuge** ab. Es wird darauf hingewiesen, dass sich durch den verstärkten Einsatz von alternativen Antrieben und Kraftstoffen eine **Verlagerung der Emissionen** von der Straße zur Fahrzeugherstellung und -entsorgung bzw. Energiebereitstellung ergibt. Diese Emissionen können in einer **Ökobilanz bzw. Lebenszyklusanalyse** untersucht werden, was **nicht Teil dieser Studie** ist.

Weitere ökologische Kenngrößen des Straßenverkehrs sind die Schadstoffemissionen, insbesondere Stickoxide NO_x, welche für die NO₂-Luftqualität von großer Relevanz sind. Die NO_x-Emissionen wurden in dieser Studie nicht untersucht, es wird jedoch durch den Einsatz von VKM mit modernsten Abgasnachbehandlungssystemen sowie elektrifizierten Antrieben eine deutliche Reduktion der NO_x-Emissionen in den nächsten Jahren erwartet. Untersuchungen in [83] gehen davon aus, dass der Einfluss von VKM-Fahrzeugen auf die NO₂-Luftqualität zukünftig nahezu vernachlässigbar sein wird.

7.4 Notwendige (technologische) Verbesserungen zur Zielerreichung

Das Ziel des ZERO-Szenarios ist die Darstellung eines möglichen Weges zur Erreichung von null CO₂-Emissionen im Jahr 2040. Damit dieses Ziel erreicht werden kann, wurde bei der Erstellung der Technologie-UseCase-Matrix eine Reihe von Annahmen getroffen, welche in Kapitel 5.6 zu finden sind. Der Kostenberechnung in Kapitel 6.1 liegen ebenfalls Annahmen sowie verschiedene Eingangsdaten zu Grunde. Ebenfalls ist an dieser Stelle zu erwähnen, dass es, neben den technologischen Verbesserungen, auch einen klaren politischen und gesellschaftlichen Willen

braucht, um die Transition einzuleiten und um langfristig sicherzustellen, dass es zu einem flächendeckenden Einsatz klimaneutraler Technologien im Güterverkehr kommt. Dazu sind entsprechende (ökonomische) Instrumente einzusetzen (siehe Abschnitt 6.2). In beiden Betrachtungen werden (technologische) Entwicklungen vorausgesetzt, damit das vorgestellte ZERO-Szenario möglich ist, welche an dieser Stelle kurz zusammengefasst werden:

- Europaweite Zielsetzung der Klimaneutralität im Straßengüterverkehr im Jahr 2040
- Die soziale Akzeptanz zum Ausbau von notwendiger Infrastruktur (z.B. Oberleitungen) ist gegeben
- Die Regulierung technischer Standards für die alternativen Technologien ist europaweit einheitlich
- Aufbau von Rahmenbedingungen für Nutzer, die den verstärkten Einsatz alternativer Antriebe und Kraftstoffe (wirtschaftlich) ermöglichen
- Wasserstoffinfrastruktur ist bis 2030 flächendeckend (Europa-weit) ausgebaut
- Oberleitungsinfrastruktur auf den Hauptverkehrsachsen ist bis 2040 ausgebaut
- Jedes BEV verfügt über eine Ladestelle am eigenen Stellplatz oder am Verladeort
- Das Stromnetz ist ausreichend ausgebaut oder ein ggf. erforderliches Lademanagement ist vorhanden
- VKM-Gas, BEV und FCEV Modelle sind in hoher Stückzahl ab spätestens 2025 verfügbar
- Die Verfügbarkeit von O-EV in ausreichender Stückzahl in ganz Europa ist ab spätestens 2027 gegeben und wird bis 2035 deutlich ausgebaut
- Erneuerbarer Strom ist in ausreichender Menge (inkl. erforderlicher Speicherung) verfügbar (in Abstimmung mit Elektrifizierung anderer Wirtschaftssektoren)
- Die Verfügbarkeit von regenerativen Kraftstoffen ist gewährleistet
- Die Verfügbarkeit von Energieimporten ist gewährleistet
- Weiterentwicklung aller Antriebs- und Fahrzeugtechnologien hinsichtlich Energieeffizienz, Energie- und Leistungsdichte sowie Kosten (Batterie, Tanksysteme, E-Antrieb, Brennstoffzelle, VKM-Komponenten, Gesamtfahrzeug etc.)
- Kostenreduktion bei der Errichtung und dem Betrieb von Ladestellen, Wasserstofftankstellen und der Oberleitungsinfrastruktur
- Verbesserung der Energie- und Kosteneffizienz bei der Herstellung regenerativer Kraftstoffe

7.5 Evaluierung der Umsetzbarkeit

Die österreichische Fahrzeugflotte umfasste im Straßengüterverkehr 2018 knapp 500.000 Fahrzeuge, wobei ein Anteil von 85 % auf leichte Nutzfahrzeuge entfiel. Lkw über 12 Tonnen und Sattelzugfahrzeuge umfassten rund 62.000 Fahrzeuge, der Rest fiel in die Kategorie N2, Klein-Lkw. [84] Wie hoch der Anteil der leichten Nutzfahrzeuge ist, die dem Güterverkehr zugerechnet werden können, ist nicht abschätzbar, da wesentliche Teile auch auf Handwerkerfahrzeuge und weitere Verwendungszwecke entfallen.

Der Großteil sowohl des durch den Straßengüterverkehr verursachten CO₂ Ausstoßes als auch der zurückgelegten Fahrzeugkilometer war bei der Gruppe der schweren Lkw zu verzeichnen:

Tabelle 28: Verteilung der CO₂-Emissionen und Fahrzeugkilometer je Fahrzeugklasse

Jahr 2018	LNF	Klein-Lkw	Lkw > 12 t + Sattelzugfahrzeuge
	N1	N2	N3
Anteil an durch den Straßen- güterverkehr verursachten CO ₂ -Emissionen	1 %	3 %	96 %
Anteil an von österr. Lkw in Österreich zurückgelegten Fahrzeugkilometern	4 %	4 %	92 %

Während Fahrzeuge bis 3,5 Tonnen 2018 durchschnittlich etwas mehr als 0,20 kg CO₂/Fahrzeugkilometer ausstießen, liegt der Wert bei großen Lkw und Sattel-/Lastzügen bei rd. 0,75 kg CO₂/Fahrzeugkilometer. Um das Null-Emissionsziel 2040 zu erreichen, müsste diese Fahrzeuggruppe bereits 2030 das Niveau der Klein-Lkw im Szenario WEM erreicht haben.

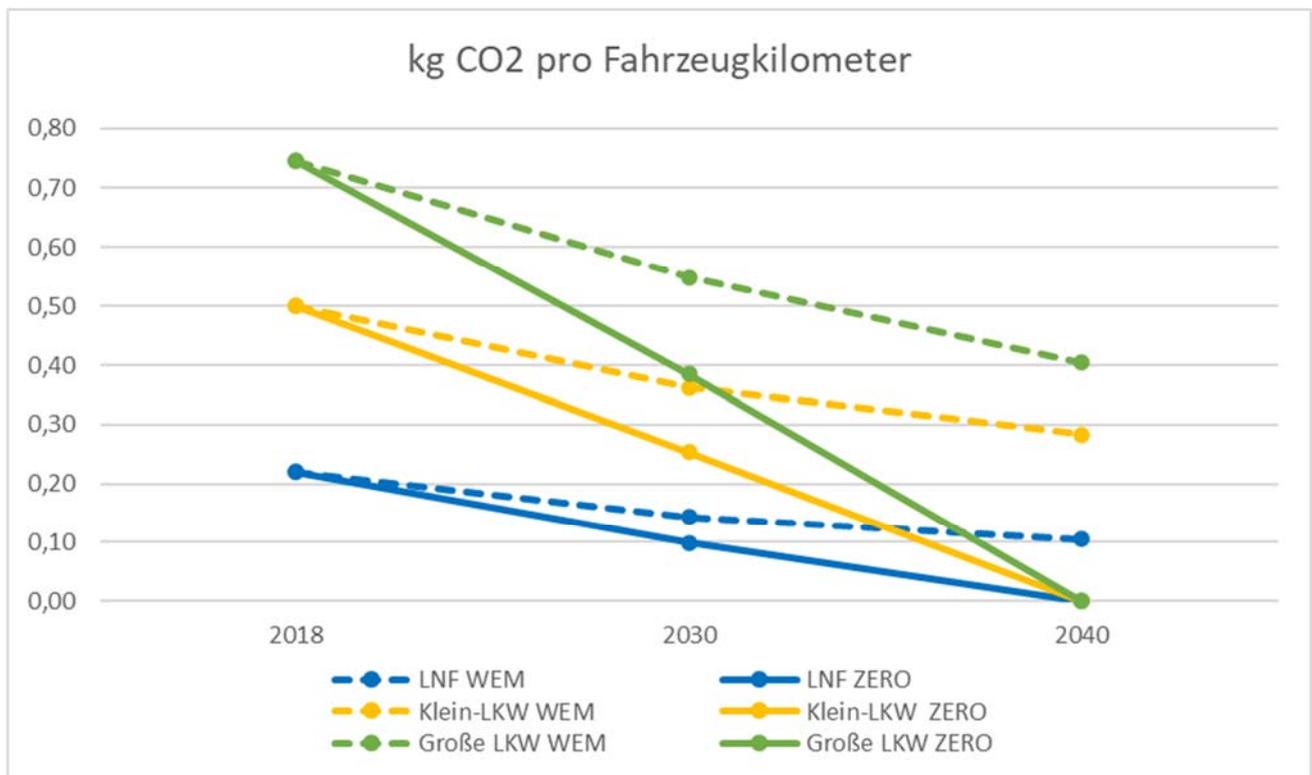


Abbildung 22: Vergleich der Fahrzeugklassen beim CO₂ Ausstoß je Kilometer (eigene Abbildung)

In der Berechnung pro Kilometer ist ein Ansteigen der im Straßengüterverkehr von österreichischen Lkw im Inland zurückgelegten Fahrzeugkilometer um 16 % zwischen 2018 und 2040 mitberücksichtigt. Prognosen für Europa gehen von einer Zunahme der Nachfrage im gesamten Güterverkehr (alle Verkehrsarten) von insgesamt 30 % bis zum Jahr 2030 aus. [85]

Aus obigen Darstellungen lässt sich ableiten, dass Maßnahmen im Segment der schweren Lkw den größten Effekt erzielen können.

Trotz des großen Hebels der schweren Lkw, ist die Entwicklung bei den leichten Nutzfahrzeugen am weitesten fortgeschritten. Ihre Umstellung auf Elektroantrieb wurde u.a. durch Steuerungsmaßnahmen wie die EU-Richtlinie über die Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge (2019/1161) unterstützt, welche öffentliche Auftraggeber ab Mitte 2021 verpflichtet, beim Kauf von Fahrzeugen der Klasse N1 einen Fokus auf die Energie- und Umweltauswirkungen der angeschafften Fahrzeuge zu legen [86]. Der Kauf von E-Fahrzeugen liegt hier nahe, da deren Verfügbarkeit am Markt kurzfristig am höchsten ist.

Die Veränderung startet jedoch von einem sehr niedrigen Niveau: 2020 waren in Österreich knapp über 3.400 Elektrolastkraftwagen der Klasse N1 zugelassen. [87] Nichtsdestotrotz sprechen Studien von einem erwarteten Anteil der BEV-Lkw im Bereich der leichten Nutzfahrzeuge in Europa im Jahr 2030 von 30 % und im Jahr 2035 von 54 % [88], wie in Abbildung 23 dargestellt.

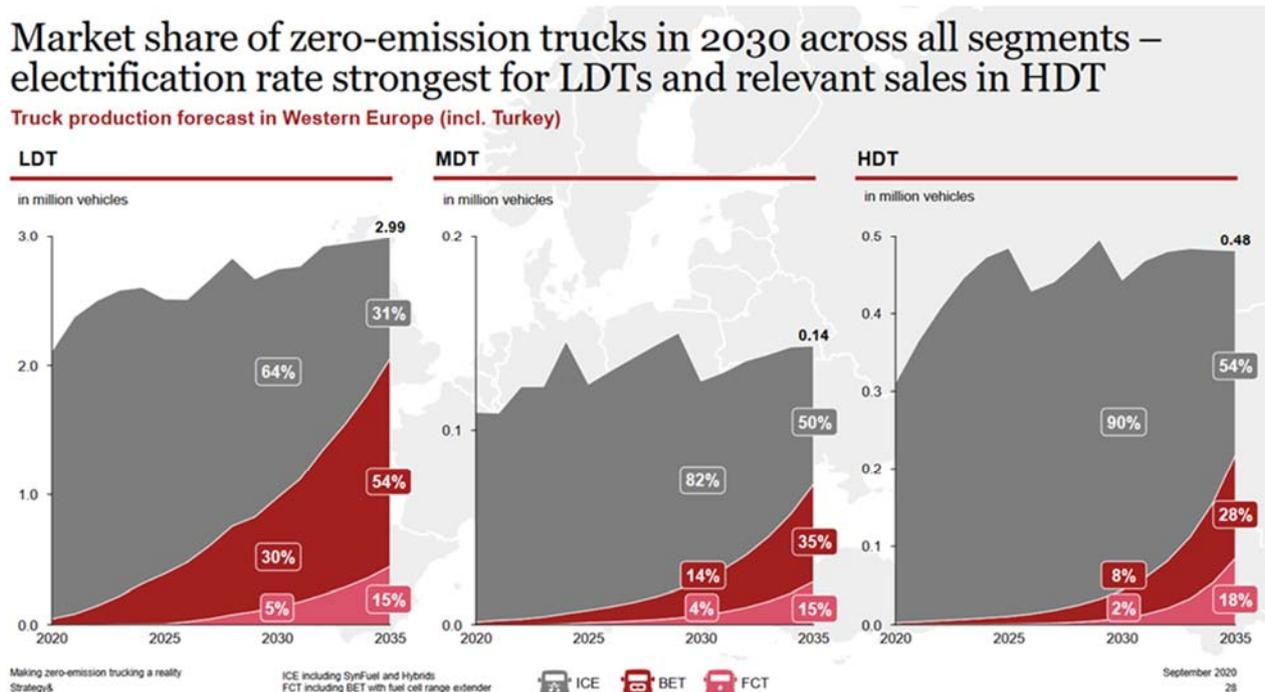


Abbildung 23: Prognostizierte Marktanteile der Antriebsarten nach Lkw-Klassen in Westeuropa inkl. Türkei [7]

Gasbetriebene Fahrzeuge (LNG, CNG, LPG) spielten in der Einschätzung der Stakeholder keine oder nur eine untergeordnete Rolle.

⁷ ICE = internal combustion engine (Antrieb mit Verbrennungsmotor), BET=Battery electric truck, FCT=Fuel cell truck

Die Logistikwirtschaft sieht sich also in der Frage der zukünftigen Antriebe und Verwendungsmöglichkeiten einer großen Zahl an Unsicherheiten gegenüber. Erste Flottenumstellungen zu leichten Nutzfahrzeugen mit Elektroantrieb, beispielsweise bei der österreichischen Post, sind zwar mittlerweile im Gange und die Serienfertigung hat in diesem Segment begonnen, Fahrzeuge sind jedoch nicht ausreichend verfügbar und Erkenntnisse aus dem langjährigen Betrieb fehlen. Noch nicht so weit fortgeschritten ist die Entwicklung bei Wasserstoff-Lkw, die bis dato nur in Tests eingesetzt werden und deren Serienproduktion erst bevorsteht. Die „Decarbonising Road Freight Studie“ [89] von Shell aus dem Jahr 2021 rechnet damit, dass der batterieelektrische Antrieb in den nächsten 3 Jahren Einzug in die Flotte der mittleren und großen Lkw halten wird und erwartet die erste tragfähige kommerzielle Anwendung von FCEV-Fahrzeugen um das Jahr 2025. Auf Grundlage der aktuellen Wissensbasis können Logistikverantwortliche die Vor- und Nachteile der Technologien für den eigenen Anwendungsfall daher noch nicht ausreichend bewerten und einordnen.

Ein größerer Fahrzeugmarkt existiert aktuell weder im Neu- noch im Gebrauchtwagen-Bereich. Die Veränderung der Preise über die Jahre ist daher schwer einschätzbar, ebenso wie die Beurteilbarkeit der Wiederverkaufswerte und -möglichkeiten von gebrauchten Fahrzeugen nicht gegeben ist, was eine faktenbasierte Investitionsentscheidung und die Berechnung der Total Costs of Ownership von vielen Annahmen und Variablen abhängig macht. Bei einer Befragung von 70 Personen, mehrheitlich Geschäftsführer von größtenteils mittelständischen Fuhrunternehmen in Deutschland, gab es Einigkeit darüber, dass die Gesamtkosten über den Lebenszyklus hinweg sowie die Zuverlässigkeit der Technologie im Hinblick auf die ökonomischen Anforderungen besonders wichtig sind. In anderen Bereichen zeichnete sich ein etwas differenzierteres Bild (siehe Abbildung 24). [90]

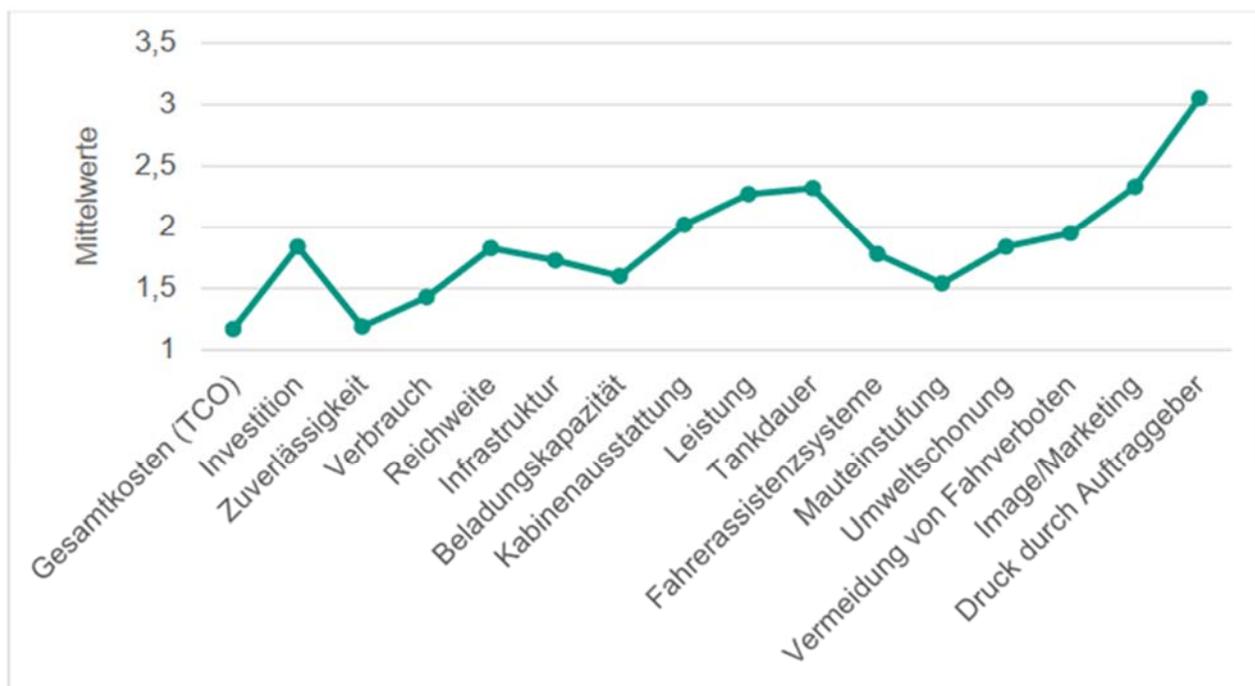


Abbildung 24: Mittelwerte der Relevanz der Nutzeranforderungen [90]

Eine weitere Frage, die die Logistikverantwortlichen beschäftigt, ist die der Energiezufuhr: Zur Technologie passende Tank- oder Ladestellen sind teilweise noch nicht oder in zu geringer Dichte vorhanden, im Wasserstoff-Bereich verfügt Österreich über aktuell 6 Tankstellen. [91] Aktuell ist es üblich, dass Fuhrparkbetreiber eigene Tankstellen betreiben. Diese ermöglicht es ihnen, von Preisen

für Großverbraucher zu profitieren. Der eigene Betrieb einer Wasserstofftankstelle wirft eine Vielzahl neuer Fragen (Versorgung, Kosten, rechtliche Vorgaben, Sicherheit etc.) auf. Und auch der Betrieb einer Elektro-Fahrzeugflotte, bedarf erheblicher Investitionen in die Lade- und Netzwerk-Infrastruktur, um den Strombedarf decken zu können, vor allem in Spitzenzeiten.

Je nach Antriebsart und Einsatzbereich können Tankdauer und Reichweiten - ebenso zum Thema werden. So fordern die meisten Nutzer eine durchschnittliche Fahrleistung von 400 bis 800 km. Da dies mit heutigen alternativen Antrieben nur begrenzt vereinbar ist [90], ist davon auszugehen, dass die Nutzung alternativer Fahrzeuge mit einer organisatorischen Änderung des Transportablaufs einhergehen wird.

Unklar sind auch die zukünftige Ausgestaltung der rechtlichen Rahmenbedingungen und der Besteuerung von Lkw mit alternativen Antrieben, allfällige abweichende Mauteinstufungen, Ausgestaltung von Förderungen seitens der öffentlichen Hand oder die Entwicklung der Energiepreise sowie der Umfang der Verfügbarkeit der Energie. Die schwierige Abschätzung all dieser Rahmenbedingungen sorgt dafür, dass Unternehmen der Transportwirtschaft sich an den aktuell verfügbaren, kostenseitig kalkulierbaren und technologisch ausgereiften State-of-the-art-Angeboten am Markt orientieren und eine Flottenerneuerung daher oftmals nur zögerlich in Umsetzung kommt.

8 Erkenntnisse

8.1 Zusammenfassung der wesentlichen Erkenntnisse

Der für das Erreichen eines CO₂-neutralen Straßengüterverkehr notwendige Technologiemix wird sich in Abhängigkeit spezifischer Einsatzbedingungen unterscheiden. In Summe über die gesamte auf Österreichs Straßen erbrachte Gütertransportleistung werden sich die relevanten Technologien im Jahr 2040 aus heutiger Sicht wie folgt aufteilen:

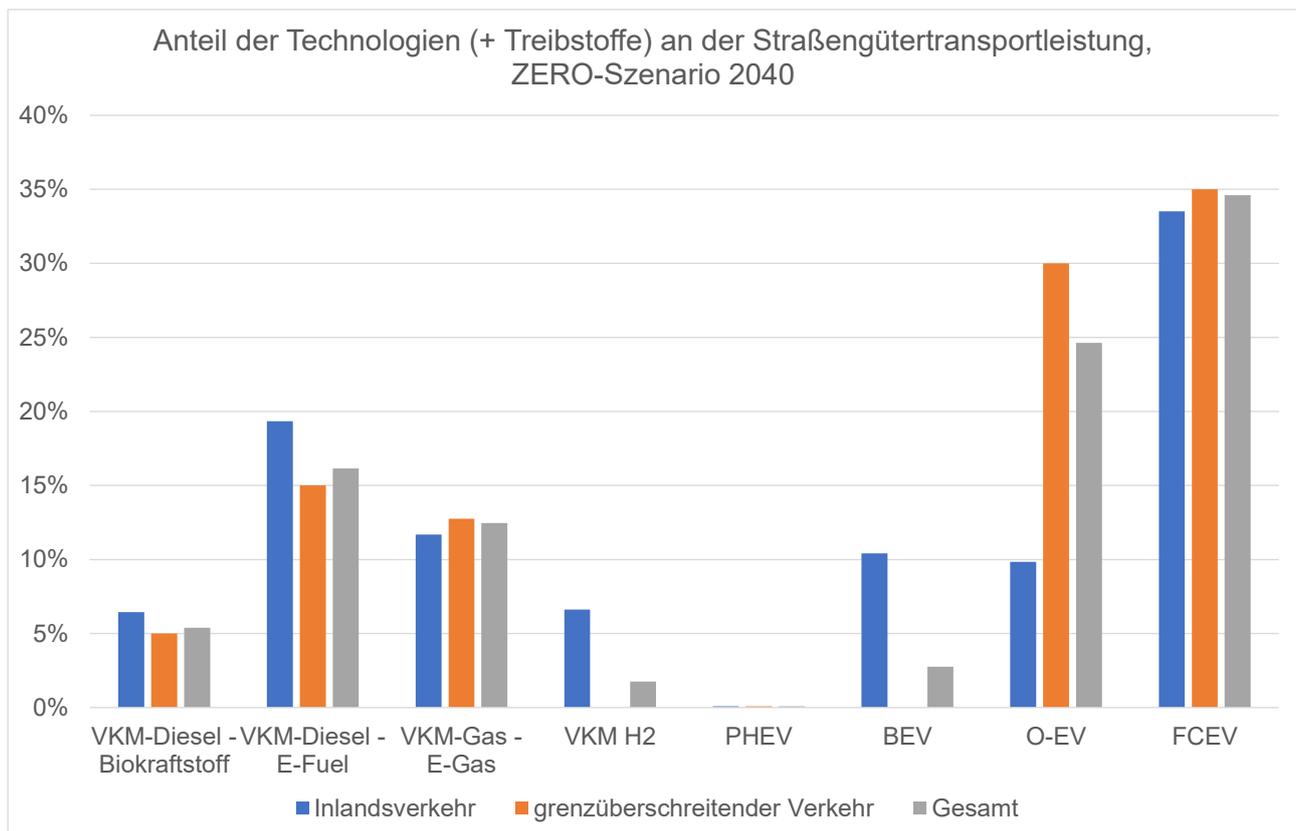


Abbildung 25: Anteil der Technologien (+ Treibstoffe) an der Straßengütertransportleistung, ZERO-Szenario 2040

Fahrten mit langen Fahrtweiten haben eben aufgrund dieser langen Fahrtweiten einen hohen Anteil an der gesamten Transportleistung. Dies wird noch dadurch verstärkt, dass diese Fahrten überwiegend mit großen Fahrzeugen und damit höherer Transportkapazität durchgeführt werden. Diese langen Fahrten werden vor allem die Oberleitung oder FCEV nutzen. Dementsprechend hoch ist der Anteil dieser beiden Technologien auch an der gesamte Straßengütertransportleistung. BEV spielen nur im Inlandsverkehr mit kurzen Fahrtweiten eine Rolle. Dort haben sie zwar hohe Anteile, durch die kurzen Fahrtweiten ergibt sich aber ein insgesamt geringer Anteil dieser Technologie an der Transportleistung. Verbrennungsmotoren (betrieben mit Biokraftstoffen oder E-Fuels) spielen in allen Marktsegmenten eine gewisse Rolle. Je früher es Vorgaben zum Verbot der Neuzulassung von Lkw mit Verbrennungsmotoren geben wird, desto geringer wird der Anteil der Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren bis 2040 ausfallen. Aktuell sind ca. 40% der zugelassenen Lkw (ab N2) zum Teil deutlich älter als 10 Jahre. Dementsprechend werden 2040 noch VKM-Lkw in einem hohen Ausmaß im Betriebs sein (wenn nicht unmittelbar in den nächsten Jahren eine Zulassungsverbot ausgesprochen wird und der Austausch zeitnah startet). Diese Fahrzeuge müssen können nur

mittels Bio-Diesel oder E-Fuels ZERO-tauglich eingesetzt werden. Dies ist die Hauptursache für den Anteil an VKM-Transportleistung auch im ZERO-Szenario 2040.

Neben dieser Einschätzung zum Technologiemix ergeben sich aus den Arbeiten zu CLEARER **wesentliche weitere Erkenntnisse**, die es bezüglich der Entwicklung des Straßengüterverkehrssektors hin zu einer CO₂-neutralen Abwicklung zu beachten gilt:

- Zur Erreichung der Klimaneutralität im Straßengüterverkehr im Jahr 2040 ist eine europaweite Zielsetzung und Umsetzung von Maßnahmen essenziell
- Nur durch den Ausbau der Infrastruktur für Elektro- (BEV und PHEV), Wasserstoff- bzw. Oberleitungsfahrzeuge können sich diese am Markt durchsetzen und einen wesentlichen Beitrag zur CO₂-Reduktion erzielen
- Die Voraussetzung für die Erreichung der Klimaziele bis 2040 ist die Verfügbarkeit regenerativer elektrischer Energie (inkl. erforderlichem Verteilnetz und Speicherung) sowie erneuerbarer Kraftstoffe (Wasserstoff, Bio- und E-Fuels), was ggf. durch Importe erzielt werden muss
- Die Weiterentwicklung aller Antriebs- und Fahrzeugtechnologien hinsichtlich Energieeffizienz, Energie- und Leistungsdichte sowie Kosten ist für die CO₂-Reduktion im Straßengüterverkehr ausschlaggebend (F&E-Bedarf siehe Kapitel 8.2)
- Um die technologischen Entwicklungen, die für eine Transformation des Straßengüterverkehrssektors nötig sind, zu erreichen, sind klare politische Rahmenbedingungen und entsprechende Anreizsysteme nötig.
- Ein Pfad zur vollständigen Defossilisierung des Straßengüterverkehrssektors bewirkt im Jahr 2040 – je nach Annahme auf makroökonomischer Ebene, insbesondere je nach wirtschaftlicher Auslastung – einen schwach negativen oder leicht positiven BIP-Effekt zwischen -0,1 bis +0.2 %. Während des Übergangs (2030) sind diese Effekte, aufgrund bei deren Einführung noch mit höherem Kostenunterschied wirksamen klimaneutralen Technologien, stärker negativ und bewegen sich zwischen -0,5 und -0,3 %. Schätzt man die makroökonomischen Effekte über 2040 hinaus qualitativ ab, ergäbe sich auf Grund erwartbarer Entwicklungen in der langen Frist (bis 2050 und darüber hinaus) ein positiver BIP Effekt, welcher durch potentielle weitere Kostensenkungen und Lerneffekte weiter verstärkt werden würde. Berücksichtigt man die potentiellen zukünftigen Schäden durch Klimawandel und bewertet die Einsparung der CO₂ Emissionen aus dem Straßengüterverkehr mit üblichen und erwartbaren Preisen, stellt sich im Jahr 2040 ein klar positiver Wohlfahrtseffekt durch die Defossilisierung des Straßengüterverkehrs ein.
- Sektorale Gewinner (im Sinne von höheren Umsätzen) werden sein: der Stromsektor, sowie im Übergang der Gas-Sektor. Sektorale Verlierer werden sein: der fossile Energiebereitstellungssektor (Diesel) und langfristig auch der Gas-Sektor. Der Straßengüterverkehrssektor selbst ist – trotz temporärer Preiserhöhungen – nur marginal betroffen, da es auf der Nachfrageseite nur schwer möglich ist diese Dienstleistung zu substituieren, wonach der Output des Sektors weitgehend unverändert bleibt.
- Die öffentliche Hand wird mit Einnahmenverlusten aus der Mineralölsteuer konfrontiert sein, die in 2040 circa 0,3 % der gesamten Steuereinnahmen ausmachen (basierend auf Lkw-Diesel-Verbrauch am Österreichischen Straßennetz).

- Die ergänzenden Ansätze erfordern einerseits technologischen Weiterentwicklung aber vor allem organisatorischen Rahmenbedingungen, die die relevanten Player dazu bewegen, diese Ansätze zu nutzen bzw. in ihre Betriebsabläufe zu integrieren. Dazu müssen auch die entsprechenden ordnungs- und finanzpolitische Rahmen gesetzt werden. Nur so ist es möglich, die angeführten maximalen Fahrleistungseinsparung auch zu erzielen.
- Die möglichen Fahrleistungseinsparungspotenziale tragen wesentlich dazu bei, den Energiebedarf des Transportsystems zu reduzieren und die Notwendigkeit, Energie für den Transportsektor zu importieren, zu reduzieren.
- Außerdem können die ergänzenden Ansätze dazu beitragen, im Fall einer Nichterreichung von Null Emissionen (sollte bis 2040 noch nicht der komplette Umstieg von VKM-Diesel gelungen sein) einen signifikanten Beitrag zur Reduktion der CO₂-Emissionen zu leisten.
- Je früher ein politischer Rahmen gesetzt wird, der Verfügbarkeit und Nachfrage von BEV, O-EV und FCEV deutlich erhöht, desto geringer wird der Bestand an VKM bis 2040 sein und desto weniger wird der Einsatz von E-Fuels notwendig sein.
- Der aufgezeigte Technologiemitmix für das ZERO-Szenario 2040 stellt einen möglichen und realistischen Mix zur Erreichung der Klima-Ziele, jedoch keine Handlungsempfehlung dar.

8.2 Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Um die angestrebten und notwendigen Technologie-Anteile im ZERO-Szenario in den Marktsegmenten und möglichst auch das Maximalszenario hinsichtlich der ergänzenden Ansätze erreichen zu können, ist es notwendig **in allen Bereichen enorme Anstrengungen** zu überwinden und **notwendige Entwicklungen** voranzutreiben. Dies betrifft, wie in Kapitel 7.4 skizziert neben den technologischen Weiterentwicklungen auch entsprechende organisatorische, rechtliche und wirtschaftliche Entwicklungen, um einen entsprechenden Umsetzungsrahmen zu bieten.

Dabei ist es auch wichtig, im Bereich der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten entsprechende Akzente zu setzen, dies dazu beitragen existierende Unsicherheiten und Barrieren zu reduzieren.

Hinsichtlich der technologischen Entwicklung bezüglich Antriebe und Treibstoffe ist insbesondere folgender Forschungs- und Entwicklungsbedarf abzudecken:

- VKM-Diesel
 - Elektrifizierung des Antriebsstrangs (Hybridisierung) zur Rekuperation und damit Fahrverbrauchssenkung
 - Wirkungsgradsteigerung des Gesamtantriebs durch folgende Maßnahmen:
 - Steigerung thermodynamischer Wirkungsgrad (Verbrennung, Wärmeisolierung Brennraum, Nutzung alternativer Kraftstoffe zur Optimierung des Betriebs etc.)
 - Waste Heat Recovery
 - Downsizing und erhöhte Elektrifizierung (bis hin zu Seriellen Hybrid/Einpunkt Betrieb des Motors)
- VKM-Gas
 - Elektrifizierung des Antriebsstrangs (Hybridisierung)
 - Wirkungsgradsteigerung des Gesamtantriebs (ähnlich VKM-Diesel: Verdichtungserhöhung, Abmagerung und neue NOx Nachbehandlung etc.)

- Gas-Direkteinblasung
- VKM-H₂
 - Elektrifizierung des Antriebsstrangs (Hybridisierung)
 - Wirkungsgradsteigerung des Gesamtantriebs (Direkteinblasung in den Brennraum und damit höhere Verdichtung, H₂-SCR System und thermodynamische Optimierung/schnelle Verbrennung etc.)
 - Kostenreduktion und Erhöhung der gravimetrischen Energiedichte beim Wasserstoff-Tanksystem (z. B. durch neue H₂-Speicherlösungen)
- PHEV
 - Verbesserung der Betriebsstrategie zur Effizienzsteigerung und Emissionsreduktion
 - Erhöhung der Batteriekapazität bzw. der elektrischen Reichweite/Nutzung jeweils neuester Batterietechnik, Fahrstreckenangepasste Rekuperation/Systemauslegung
 - E-Antriebskomponenten siehe BEV
- BEV
 - Kostenreduktion bei allen Antriebskomponenten, insbesondere der Batterie
 - Erhöhung der Energiedichte der Batterie
 - Erhöhung der Leistungsdichte des E-Antriebs
 - Effizienzsteigerung von E-Maschine und Inverter in allen Kennfeldbereichen (Si Technologie)
 - Effizienzsteigerung durch Reduktion der Verluste der Nebenverbraucher (z.B. Thermomanagement oder nutzungsangepasste Zuschaltung)
 - Steigerung des Ladewirkungsgrades in allen Leistungsbereichen (insbesondere niedrigste und höchste Leistungen)
- OEV
 - Kostenreduktion des Pantographen (z. B. durch Skaleneffekte bei breiter Ausrollung)
 - E-Antriebskomponenten siehe BEV
- FCEV
 - Kostenreduktion und Erhöhung der grav. Energiedichte beim Wasserstoff-Tanksystem (analog VKM-H₂)
 - Lebensdauersteigerung und Kostenreduktion bei der Brennstoffzelle
 - Verringerung der Anfälligkeit auf chemische Verunreinigungen des Wasserstoffes, damit deutliche Kostensenkungen bei der H₂ Herstellung und Aufbereitung
 - Reduktion der Verluste durch Nebenverbraucher (wie Kompressor und Thermomanagement)
 - E-Antriebskomponenten siehe BEV
- Verbesserungen am Gesamtfahrzeug (alle Antriebe)
 - Reduktion des Luftwiderstands durch erweiterte aerodynamische Lösungen
 - Zusätzliche Fahrzeugfreiheiten zum Zwecke Effizienz: Beispielsweise max. Länge des Fahrzeuges bei gleichem Ladevolumen zur Reduktion des cw-Werts
 - Reduktion des Rollwiderstands der Reifen und der Reibung im Antriebsstrang, wie Hochdruckreifen oder neue Reifentechnologien
 - Leichtbaulösungen zur Erhöhung der Nutzlast oder Effizienzsteigerung

- Erweiterte Fahrerassistenzsysteme bzw. autonomes Fahren zur Steigerung der Sicherheit und insbesondere Effizienz der Fahrzeugnutzung
- Energieträger und Infrastruktur
 - Kostenreduktion und Effizienzsteigerung bei der Herstellung von Wasserstoff, E-Fuels und Advanced Biofuels
 - Reduktion der Kosten von Wasserstoff-Tankstellen sowie der Ladeinfrastruktur – Skaleneffekte, technische Vereinfachungen, Verringerung der geforderten H₂ Reinheit (siehe FCEV Verbesserungen)
- O-EV

Testbetriebe auf unterschiedlichen Straßenabschnitten (überwiegend Autobahnabschnitte) in Deutschland und Schweden haben gezeigt, dass sowohl die infrastrukturseitigen als auch die fahrzeugseitigen Technologien existieren und funktionsfähig sind. Detailbereiche die zu klären sind, sind beispielsweise das Vorgehen bei zu erwartenden Eislasten (ist ein Beheizen des Fahrdrabtes notwendig?), potenzielle Sicherheitsprobleme bei der Ausstattung von Tunnels mit Oberleitung und Lösungen, sollten solche relevant sein, die Umsetzung des Querens von Schilderbrücken, Mautgantries und Überführungsobjekten (Lösungen für geeignete Einrichtungen zum Schutz von Berührungen). Darüber hinaus ist eine Analyse des österreichischen Autobahnnetzes hinsichtlich Umsetzbarkeit des Systems entlang der Streckenabschnitte erforderlich. Dabei sind jene Streckenabschnitte zu identifizieren, die nicht für die Umsetzung geeignet sind. Darüber hinaus sind im internationalen Kontext Standardisierungen sowohl infrastruktur- als auch fahrzeugseitig notwendig. Außerdem sind entsprechende Abrechnungssysteme zu entwickeln, die eine Staatenübergreifende Abrechnung über eine Stelle ermöglicht. [70] [71] [72] [92]

Hinsichtlich der **ergänzenden Ansätze**, die zur Reduktion der Straßenverkehrsleistung beitragen sollen und damit den Energiebedarf reduzieren können ist insbesondere folgender Forschungs- und Entwicklungsbedarf abzudecken, um letztendlich die skizzierten maximal möglichen Fahrleistungsreduktionspotenziale und fahrleistungsunabhängigen Energieverbrauchsreduktionspotenziale auch erzielen zu können:

- City Logistik / Smart Urban Logistics

In den wachsenden Städten treffen zahlreiche unterschiedliche Interessen, Bedürfnisse und Entwicklungen aufeinander. Logistikdienstleister versuchen, unter Berücksichtigung ihrer wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, sich bestmöglich darauf einzustellen. Ihre strategischen Entscheidungen beruhen neben der eigenen Einschätzung auf der Kenntnis der aktuellen und kommenden Rahmenbedingungen. Langfristige, verlässliche und klar terminierte Planung seitens der Städte und Gesetzgeber beeinflussen die Entscheidungen der Logistikdienstleister daher nachhaltig.

Neben der Schaffung strategischer Rahmenbedingungen kann die öffentliche Hand die Logistikdienstleister auch im täglichen Einsatz bei ihren Anstrengungen zur CO₂-Reduktion unterstützen. Die Berücksichtigung der Bedürfnisse der Logistikdienstleister im städtischen Raum wie z.B. das Zur-Verfügung-Stellen von Logistikflächen, die verstärkte Einrichtung von Ladezonen oder anderen Vorteile für den Lieferverkehr verbessern den Verkehrsfluss und verkürzen die Wege.

Logistikdienstleister stehen unter einem hohen Kostendruck und so halten sie neben anderen auch die Fuhrparkkosten so niedrig wie möglich oder lagern sie durch den Einsatz von Sub-Unternehmern an diese aus. Fahrzeuge mit alternativem Antrieb sind bei Preis, Verfügbarkeit und Eignung den konventionellen Antrieben unterlegen, wobei bei elektrisch betriebenen kleinen Nutzfahrzeugen bereits ein Aufholen zu beobachten ist. Nur wenn der Einsatz von Alternativantrieben wirtschaftlich abbildbar ist, werden diese auch genutzt werden.

Ein wesentlicher Stolperstein in der City Logistik ist die mangelnde Kooperationsbereitschaft zwischen den Logistikdienstleistern. Eine Bündelung von Güterströmen oder die unternehmensübergreifende Nutzung von Laderaum (Pooling) existieren nur in seltenen Ausnahmefällen. Die Weiter- und Bekanntgabe sensibler Daten, Haftungs- und Vergütungsfragen, der Verlust von direktem Kundenkontakt, Marketingnachteile, gegenseitige Abhängigkeiten, ungleiche Machtverteilung u.a.m. sind dafür ausschlaggebend. Zwar versucht jeder Logistiker individuell die eigene Leistung durch Routenplanung, Minimierung der Stopp-Zeiten und bestmöglichen Personaleinsatz zu optimieren, eine gesamthafte Optimierung der Logistikströme in der Stadt fehlt jedoch. Entsprechende Anreize, externe Faktoren, Fristigkeiten sowie Vorteile und Nutzen für alle Teilnehmer an Kooperationen können diese jedoch begünstigen.

- Neue Umschlagstechnologien

Aufgrund der hohen Distanzen und der daraus folgenden hohen Verkehrsleistung im Langstreckenverkehr bringt eine Abwicklung von Transporten auf der Schiene einen entsprechend positiven Beitrag zur Reduktion der CO₂-Emissionen im Güterverkehr. Dabei wird natürlich das Thema der Verlagerung von Güterverkehr auf die Schiene adressiert, andererseits ist aber auch zu berücksichtigen, dass aufgrund des insgesamt steigenden Güterverkehrsaufkommens schon per se wesentliche Zuwächse im Schienengüterverkehr erforderlich sind, um den aktuellen Modal Split aufrecht halten zu können. Die zukünftigen Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte sind dabei auf die folgenden Themenschwerpunkte zu richten: [93, p. 39 ff.]

- Telematiksysteme und Sensorik für Lokalisierung, Kennzeichnung und Zustandsüberwachung
- Leichtbau von Waggons und Behältern
- Lärmarme und -mindernde Bauweisen von Terminalinfrastruktur (inkl. Umschlagstechnologien) und Rollmaterial
- Terminalorganisation und -services
- Reefer-Container
- Verstärkte Integration von (nicht kranbaren) Sattelanhängern in den KV
- Innovative Services im KV
- Informations- und Kommunikationstechnologie IKT
- Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen

Hinzu kommt, dass auch Bemühungen erforderlich sind, um die bestehenden Schienengüterverkehre weiterhin auf der Schiene zu halten, vor allem wenn diese einem starken Konkurrenzdruck durch die Straße ausgesetzt sind. Infrastrukturelle Kapazitätsengpässe für den Schienengüterverkehr sind ebenso zu berücksichtigen, vor allem in Konkurrenz zum glücklicherweise massiv steigenden Personen(Nah-)Verkehr auf der Schiene. Vor diesem Hintergrund besteht aktuell und auch in Zukunft weiterhin ein hoher Forschungs- und Entwicklungsbedarf, um die aus heutiger Sicht notwendigen Entwicklungen initiieren und positiv

vorantreiben zu können. Die zunehmende Verwendung intermodaler Transportgefäße und eine anhaltende Containerisierung von Gütern rückt hier vor allem die Umschlagstechnologien in den Vordergrund, um möglichst allen Unternehmen einen effizienten und neutralen Zugang zum System Schiene zu ermöglichen.

- Verkehrssteuerung- und -leitung

Im Personenverkehr gibt es bereits erste Systeme, die über Informationsbereitstellung direkt an das Fahrzeuge verkehrsträgerübergreifende Empfehlungen ausführen (ohne jedoch verpflichtenden Charakter zu haben). Für den Güterverkehr sind solche verkehrsträgerübergreifenden Informationsangebote, die während der Fahrt Änderungen vorschlagen, nicht angedacht. Dies ist durch die großteils notwendigen längerfristigen Planungen der Transportabwicklung (samt entsprechender Buchungsabwicklung) begründet. Forschungen, die sich mit der Möglichkeit, kurzfristig auch verkehrsträgerübergreifend in die Transportabwicklung einzugreifen, um so die beste Lösung für das Gesamtsystem zu generieren, beschäftigen, sind notwendig, um zukünftig eine verkehrsträgerübergreifende Verkehrssteuerung auch im Güterverkehr zumindest in bestimmten Marktsegmenten zu etablieren.

- Physical Internet [94]

Das Konzept besteht aus mehreren Bausteinen, deren Zusammenspiel wesentlich für die Erreichung der Vision des Physical Internet beitragen:

Wie bereits früher beschrieben ist auch hier die Kooperation zwischen teilweise konkurrierenden Unternehmen notwendig. Die dabei entstehenden Hürden wurden bereits angesprochen, ebenso Ansätze, wie diese vermieden werden können. Sollten Kooperationen nicht möglich sein, kann jedoch zumindest die gemeinsame Nutzung von Netzwerkstrukturen (nach dem theoretischen Ansatz der „Shared-Supply-Networks“) durch verschiedenen, kompetitiven Unternehmen Vorteile und Einsparungspotenziale bringen, die sich auch auf Emissionen, Kraftstoffverbrauch oder Menge der eingesetzten Lkw im Straßengüterverkehr positiv auswirken.

Ladungsträger werden intelligenter und kommunizieren miteinander. Standards, eine gemeinsame „Sprache“, die von allen Akteuren verwendet werden, und aufeinander abgestimmte IT-Systeme sind Voraussetzungen dafür. Doch dies ist nur ein wichtiger Teilbereich in der IT-Infrastruktur, die das Physical Internet benötigt: eine permanente globale Verbindung, Cloud Computing und damit einhergehend die Klärung von Datenschutzfragen und weiteren sicherheitsrelevanten Themen sind wesentlich für den Aufbau des Physical Internets.

Da durch die Fragmentierung der Transporte Umschlagsvorgänge häufiger werden, ist die Entwicklung und allgemeine Verwendung standardisierter Transporteinheiten unabdingbar. Sie müssen so gestaltet sein, dass sie modular und stapelbar sind und ein weitgehend automatisiertes Handling möglich wird.

Da die Verwendung der Verkehrsträger dynamisch in Echtzeit disponiert wird, haben die Logistikdienstleister die Freiheit, die Transportart flexibel zu wählen. So können sie einen effizienten und nachhaltigen Warenfluss gewährleisten und flexibel auf unerwartete Gegebenheiten reagieren. Das Prinzip der Synchronmodalität verbindet die Verkehrsträger miteinander indem je nach Anforderung und Kapazitäten Transporte auf Straße, Schiene oder am Binnengewässer transportiert werden bzw. Behinderungen eines Verkehrsträgers kurzfristig auf einen anderen ausgewichen wird.

Bei all den Veränderungen, welches das Physical Internet bedingt, darf keinesfalls der Faktor Mensch außer Acht gelassen werden. Die Zusammenarbeit zwischen den Akteuren wird sich wesentlich verändern ebenso wie ihre Rollen in der Supply Chain. Planungen werden kurzfristiger und proaktive Eingriffe in mögliche Produktions- oder Absatzschwierigkeiten müssen durch die Integration der Logistikdienstleister in die Planungen der Produzenten möglich gemacht werden. Mitarbeiter in Logistikdienstleistungen müssen also frühzeitig in die Entwicklung des Physical Internets eingebunden werden, um Akzeptanz für die Veränderungen zu schaffen und Ängste abzubauen.

- Platooning

Die Technologie zum reibungslosen Funktionieren des Platoonings (mehrere Fahrzeuge folgen einem herkömmlich gefahrenen Fahrzeug ohne Lenkereingriff durch eine elektronische Kupplung) wurden von diversen Lkw-Herstellern entwickelt und erfolgreich erprobt. Für eine praktikable Umsetzung, die ein Koppeln mehrerer Lkw von unterschiedlichen Herstellern und Frachtunternehmen ermöglicht, sind jedoch noch einige weiterführende Entwicklungen notwendig. So ist es notwendig ein unabhängiges Protokoll mit dem es möglich wird, Kolonnen von Lkw verschiedener Hersteller zu bilden, zu entwickeln. Darüber hinaus sind Betreiberlösungen zu entwickeln, die es ermöglichen, Fahrzeuge unterschiedlicher Frachtunternehmen zu koppeln und ein entsprechendes Abrechnungssystem dazu zu finden (da die Fahrzeuge im Konvoi unterschiedlich vom Platoon profitieren). Zudem fehlen noch ausreichend sichere Konzepte, um gegen Hackerangriffe immun zu sein. [29] [95]

- Automatisierte Transporte

Nahezu alle Fahrzeughersteller entwickeln Systeme zur Umsetzung des autonomen Fahrens. Dabei spielen viele Komponenten eine wesentliche Rolle zur Umsetzung. Bis zum Erreichen von Level 5 und darüber hinaus einer Vernetzung der Fahrzeuge, um das Gesamtsystem zu optimieren und damit Energieeinsparungen im hohen Maße zu lukrieren, sind demnach noch unzählige Forschungsaktivitäten in den Bereichen Sensorik, V2I- und V2V-Kommunikation, Lokalisierung, Kommunikation mit anderen nicht automatisierten Verkehrsteilnehmern (noch nicht ausgerüstete Fahrzeuge, Radfahrer, Fußgänger) und weiteren Bereichen notwendig. Begleitet muss diese Entwicklung mit der Anpassung des rechtlichen Rahmens werden. Auch dazu sind geeignete Entwicklungsaktivitäten notwendig, die zu den unterschiedlichen Stadien der Automatisierung im Verkehr entsprechende rechtliche Anpassungen schaffen, die die Entwicklung nicht behindern aber immer eine sichere Abwicklung des Verkehrs ermöglichen. [96] [55]

Darüber empfiehlt es sich, Sensitivitätsanalysen hinsichtlich der zukünftigen Kosten der Technologien – auch unter Berücksichtigung von unterschiedlichen Annahmen bezüglich der Entwicklung des ordnungs- und finanzpolitischen Rahmens vorzunehmen. Damit kann aufgezeigt werden, welchen Einfluss unterschiedliche Kostenentwicklungen auf den Technologiemarkt, auf die Userkosten und auf die makroökonomischen Effekte haben können. Dies ermöglicht es, Bandbreiten und die Reagibilität aufzuzeigen. Insbesondere die Verteilung der Transportleistung im Langstreckenverkehr zwischen O-EV und FCEV ist sehr stark von der Entwicklung der Kosten dieser beiden Systeme und damit den Kosten für die User abhängig. Das in CLEARER erarbeitete Konzept und die dahinterstehenden Rechenmodelle ermöglichen es, entsprechende Sensitivitätsanalyse auch umzusetzen.

Abkürzungsverzeichnis

ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club
AP	Arbeitspaket
AT	Österreich
BEV	Battery Electric Vehicles
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BJ	Baujahr
BMK	Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
CAPEX	Capital Expenditures (Investitionsausgaben)
CGE	Computable General Equilibrium
CNG	Compressed Natural Gas (Erdgas)
E	Primärenergieeinsatz
ED95	95-prozentiges Bioethanol
ESR	Effort-Sharing-Regulation
ETS	Emission trading system (Emissionshandelssystem)
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle (Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge)
FL	Fahrleistung
FT-Diesel	Fischer-Tropsch Diesel
Fzg	Fahrzeug
GüV	Güterverkehr
HBEFA	Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs
HVO	Hydrotreated Vegetable Oils (Hydrierte Pflanzenöle)
hzG	Höchstzulässiges Gesamtgewicht
IO	Input-Output
IVS	Intelligente Verkehrssysteme
KEP	Kurier, Express, Paket
Kfz	Kraftfahrzeug
kt	1.000 Tonnen
KV	Kombinierter Verkehr
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
LNF	Leichtes Nutzfahrzeug

LNG	Liquid Natural Gas (Flüssigerdgas)
LPG	Liquefied Petroleum Gas (Autogas)
Max	Maximum
Min	Minimum
MÖSt	Mineralölsteuer
NDC	Nationally determined contributions
NST	Nomenclature Uniforme de Marchandises pour les Statistiques de Transport Einheitliches Güterverzeichnis für die Verkehrsstatistik
OEM	Original Equipment Manufacturer
O-EV	Elektrische Fahrzeuge mit Oberleitung
OPEX	Operational Expenditures (laufende Aufwendungen)
p.a.	pro Jahr
PHEV	Plug-In Hybridfahrzeuge
PI	Physical Internet
PV	Photovoltaik
SLZ	Sattel- und Lastzug
SNF	Schweres Nutzfahrzeug
t	Tonnen
TEN-T	Transeuropäisches Netzwerk – Transport
tkm	Tonnenkilometer
UC	Use Case
VDA	Verband der Automobilindustrie
VGR	volkswirtschaftliche Gesamtrechnung
VKM	Verbrennungskraftmaschine
VMÖ	Verkehrsmodell Österreich
VPÖ	Verkehrsprognose Österreich
WEM	With Existing Measures
WP	Work Package

Literaturverzeichnis

- [1] K. W. Steininger, B. Bednar-Friedl, N. Knittel, G. Kirchengast, S. Nabernegg, K. Williges, R. Mestel, H.-P. Hutter und Kenner, „Klimapolitik in Österreich: Innovationschance Coronakrise und die Kosten des Nicht-Handelns,“ Weger Center Verlag, Graz, 2020.
- [2] Umweltbundesamt, *Sachstandsbericht Mobilität, Abb. 1: Entwicklung der Treibhausgasemissionen, des Szenar WEM17 und Ziele (ohne EH) bis 2050, S. 11*, Wien, 2019.
- [3] *branchenradar.com*, [Online]. Available: <https://www.branchenradar.com/>. [Zugriff am 03 2021].
- [4] Herry Consult, *diverse Gespräche mit Paketdienstleistern, 2015 - 2020*.
- [5] Herry Consult GmbH, Wegener Center im Auftrag der Ämter der Bundesländer (nicht veröffentlicht), Auswirkungen eiflächendeckenden Lkw und Einnahmenschätzung, Wien, 2016.
- [6] Statistik Asutria, *Straßengüterverkehr Österreichischer Unternehmen 2018 (Statcube-Auswertungen)*.
- [7] BMK, *CAFTA - Alpenquerender Güterverkehr in Österreich, 2009, 2015*.
- [8] *Rail freight forward, 30 by 2030, 2019*.
- [9] *Capacity for Rail, Requirements toward the freight system of 2030-2050, Deliverable 21.2, (Final) Submission de 24/02/2017, gefördert im Rahmen des EU-FP7. 2017, 2017*.
- [10] Capros P. und A. De Vita, *EU Reference Scenario 2016, Energy, transport and GHG emissions Trends to 20. commissioned by Directorate-General for Energy, the Directorate-General for Climate Action. 2016, 2016*.
- [11] United Nations, „United Nations Treaty Collection. Paris Agreement.,“ 11 03 2021. [Online]. Availat https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVII-7-d&chapter=27&clang=_en. [Zug am 11 03 2021].
- [12] UNFCCC, „Paris Agreement,“ in *Conference of the Parties*, Paris, 2016.
- [13] Europäische Union, *Update of the NDC of the European Union and its Member States.*, Europäische Union, 2020.
- [14] Europäische Kommission, „Ein europäischer Grüner Deal: Erster klimaneutraler Kontinent werden.,“ 2021. [Onlin Available: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de. [Zugriff am 11 03 2021].
- [15] Verordnung (EU) 2019/631 des europäischen Parlaments und des Rates, 17 04 2019. [Online]. Available: <https://elex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0631&from=EN>. [Zugriff am 2020 10 02].
- [16] Verordnung (EU) 2019/1242 des europäischen Parlaments und des Rates, 20 06 2019. [Online]. Available: <https://elex.europa.eu/legal-content/de/TXT/?uri=CELEX%3A32019R1242>. [Zugriff am 22 02 2021].
- [17] Richtlinie (EU) 2018/2001 des europäischen Parlaments und des Rates, 11 12 2018. [Online]. Available: <https://elex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>. [Zugriff am 25 01 2020].

- [18] S. S. u. N. W. Claudia Kemfert, „CO₂-Bepreisung im Wärme- und Verkehrssektor: Erweiterung des Emissionshand löst aktuelles Klimaschutzproblem nicht.“ Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin, 2019.
- [19] Regierungsprogramm, *Regierungsprogramm 2020-2024*, 2020.
- [20] Sala, A., Bruckmüller, T. et al: E-MAPP 2 - E-Mobility – Austrian Production Potential, Qualification and Training need 2020. [Online]. Available: https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/6/2020_E-MAPP_FhA_TU_SMP_v2.3.pdf. [Zugriff am 22 01 2021].
- [21] FIS - Forschungsinformationssystem, „Ziele von City-Logistik-Konzepten,“ Technische Universität Hamburg, 27 2020. [Online]. Available: <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/293106/>. [Zugriff am 12 01 2021].
- [22] J. Ilona, „Kombinierter Verkehr (KV): Beispiele alternativer Umschlagtechniken - eurotransport,“ 10 12 2020. [Online]. Available: <https://www.eurotransport.de/artikel/kombinierter-verkehr-kv-beispiele-alternativer-umschlagtechnik-11175351.html>. [Zugriff am 12 01 2021].
- [23] kombibus.de, [Online]. [Zugriff am 03 2021].
- [24] fr.de: Güterbim in Frankfurt, [Online]. Available: <https://www.fr.de/frankfurt/nach-guetertram-kommt-frankfurt-u-bal-dran-13735579.html>. [Zugriff am 03 2021].
- [25] startupvalley.news.de: checkrobin, [Online]. Available: <https://www.startupvalley.news/de/checkrobin-vergleichsplattform-fuer-paketdienste/>. [Zugriff am 03 2021].
- [26] M. Rapp, *VERKEHRS-TELEMATIK (ITS-CH 2012), Leitbild für die Schweiz im Jahre 2012, S. 17*, Bern, 2005.
- [27] Friedrich-Ebert-Stiftung, *Telematik im Verkehr: Probleme und Perspektiven; eine Tagung der Friedrich-Ebert-Stiftung am 12. Dezember 1995*, Mannheim, 1995.
- [28] DR. THOMAS + PARTNER GmbH & Co. KG, „Physical Internet - Logistik KNOWHOW,“ 09 04 2015. [Online]. Available: <https://logistikknowhow.com/materialfluss-und-transport/physical-internet/>. [Zugriff am 13 01 2021].
- [29] VDA Verband der Automobilindustrie, „Platooning - Innovation im Güterverkehr - VDA,“ [Online]. Available: <https://www.vda.de/de/themen/innovation-und-technik/automatisiertes-fahren/platooning.html>. [Zugriff am 09 10 2021].
- [30] H. Flämig, *Autonome Fahrzeuge und autonomes Fahren im Bereich des Gütertransports, in: Maurer M./Gerd J.C./Lenz, B./Winner H. (Hrsg.); Autonomes Fahren – Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte, S. 3*, 2015.
- [31] S. Altenburg, H.-P. Kienzler und A. Auf der Maur, „Einführung von Automatisierungsfunktionen in der Pkw-Flotte Prognos AG, Basel, 2018.
- [32] S. Knieps, „Lkw der Zukunft: Ohne Verbrenner und autonom?,“ 17 10 2019. [Online]. Available: <https://www.wiwo.de/unternehmen/auto/studie-zur-zukunft-der-nutzfahrzeuge-auch-lkw-fahren-bald-elektrisch-und-autonom/25118484-all.html>. [Zugriff am 18 12 2020].
- [33] Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA 4.1), Bern, Schweiz: INFRAS, 2019.
- [34] Statistik Austria: Fahrzeugbestand nach dem Jahr der Erstzulassung nach Fahrzeugtype und Kraftstoffart, Wien, 20

- [35] Winter, R.: Biokraftstoffe im Verkehrssektor 2019, Wien: Hrsg.: Bundesministeriums für Nachhaltigkeit und Tourismus 2019.
- [36] Daimler Truck AG: Startschuss für „H2Accelerate“: beteiligte Unternehmen wollen emissionsfreien Wasserstoff-Lösung gemeinsam zum Durchbruch verhelfen, 15.12.2020. [Online]. Available: <https://media.daimler.com/marsMediaSite/ko/de/48445607>. [Zugriff am 22.01.2021].
- [37] Plötz, P., Moll, C., et al: Real-world usage of plug-in hybrid electric vehicles: Fuel consumption, electric driving, and CO₂ emissions, The International Council on Clean Transportation (ICCT), 2020.
- [38] Stapelbroek, M.: Battery Development from Cell Chemistry to Pack Testing, Aachen, Online: 4th International Future Mobility Conference Zero CO₂ Mobility, 2020.
- [39] Shell: Decarbonising Road Freight: Getting into Gear, 2021. [Online]. Available: www.shell.com/DecarbonisingRoadFreight#MakeTheFuture. [Zugriff am 22.02.2021].
- [40] Lichtblau, G., Heinfellner, H., Angelini, A.: Pathways to a Zero Carbon Transport Sector, Workshop, Validierung möglicher Entwicklungspfade für einen weitgehend dekarbonisierten Verkehrssektor, Online: Umweltbundesamt Österreich, 2020.
- [41] Umweltbundesamt, Sachstandsbericht Mobilität, Wien, 2018.
- [42] pwc.de: Kompetenz Intermodale Automatisierte Mobilität, 03.2021. [Online]. Available: <https://www.pwc.de/de/transport-logistik/pwc-studie-aufbruch-auf-der-letzten-meile.pdf>.
- [43] Fraunhofer IML, Technische Universität Hamburg-Harburg, Integrierte Maßnahmen zur Verlagerung von Straßengüterverkehren auf den Kombinierten Verkehr und den Schienengüterverkehr, Dortmund, 2019.
- [44] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg: Verlagerungspotenzial auf den Schienengüterverkehr in Deutschland, Berlin, 2016.
- [45] ADAC, Emissionen senken – Mobilität erhalten, 2017.
- [46] cordis.europa.eu: EU-Forschungsprojekt SENSE, 03.2021. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/769967/de>.
- [47] Matusiewicz, „Logistics of the Future - Physical Internet and Its Practicality,“ *Transport Journal, Volume 59, Number 2*, pp. 200-214, 2020.
- [48] eurotransport.de: Geringerer CO₂-Ausstoß - Das Potenzial von Platooning, 03.2021. [Online]. Available: <https://www.eurotransport.de/artikel/geringerer-co2-ausstoss-das-potenzial-von-platooning-7285000.html>.
- [49] automobil-industrie.vogel.de: Platooning Testergebnisse, [Online]. Available: <https://www.automobil-industrie.vogel.de/platooning-man-stellt-testergebnisse-vor-a-886756/>. [Zugriff am 03.2021].
- [50] „ACEA - What are the benefits of truck platooning?“, 20156. [Online]. Available: <https://www.acea.be/news/article/what-are-the-benefits-of-truck-platooning>.
- [51] ACEA, *What is truck platooning?*, 2017.

- [52] S. o. M. M. a. Traders, „Society of Motor Manufacturers and Traders (SMMT),“ 2020. [Online]. Available: <https://www.smmt.co.uk/2020/06/has-truck-platooning-hit-the-end-of-the-road/>.
- [53] Automobilindustrie, „Automobilindustrie,“ 2019. [Online]. Available: <https://www.automobil-industrie.vogel.de/platooniman-stellt-testergebnisse-vor-a-886756/>.
- [54] Eurotransport, „eurotransport.de,“ 2016. [Online]. Available: <https://www.eurotransport.de/artikel/geringerer-ausstoss-das-potenzial-von-platooning-7285000.html>.
- [55] Fraunhofer ISI, Fraunhofer IML, PTV, TU Hamburg-Harburg, M-Five, Energie- und Treibhausgaswirkungen c automatisierten und vernetzen Fahrens im Straßenverkehr, Karlsruhe, 2019.
- [56] Wirtschaftskammer Österreich: Lkw-Maut in Österreich, 15 12 2020. [Online]. Available: <https://www.wko.at/service/verkehr-betriebsstandort/LKW-Maut-Oesterreich-GO-Box.html>. [Zugriff am 24 02 2021].
- [57] Bundesministerium für Finanzen: Kraftfahrzeugsteuer - Steuersatz, 02 03 2020. [Online]. Available: <https://www.bmf.gv.at/themen/stuern/kraftfahrzeuge/kraftfahrzeugsteuer/steuersatz-kfzst.html>. [Zugriff am 24 2021].
- [58] Statista.de: Durchschnittlicher Preis für einen Liter Diesel in Österreich nach Kostenanteil von 2003 bis 2019 , Dezember 2020. [Online]. Available: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/796411/umfrage/durchschnittlicher-preis-fu-einen-liter-diesel-in-oesterreich-nach-kostenanteil/>. [Zugriff am 24 02 2021].
- [59] Özdemir, E.: The Future Role of Alternative Powertrains and Fuels in the German Transport Sector, Dissertation Stuttgart: Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart, 2012.
- [60] Kühnel, S., Hacker, F., Görz, W.: Oberleitungs-Lkw im Kontext weiterer Antriebs- und Energieversorgungsoptionen den Straßengüterfernverkehr, Berlin: Institut für angewandte Ökologie, 2018.
- [61] Gas24.de: Überblick über sämtliche Erdgastankstellen in Österreich, [Online]. Available: <https://www.gas24.de/cms/202-0-erdgastankstellen-in-oesterreich.html>. [Zugriff am 25 11 2020].
- [62] International Renewable Energy Agency (IRENA): Hydrogen: A renewable energy perspective, Tokyo, Japan: Report prepared for the 2nd Hydrogen Energy Ministerial Meeting, 2019.
- [63] Bundesministerium für Finanzen: Kraftfahrzeugsteuer - Steuerbefreiungen, 02 03 2020. [Online]. Available: <https://www.bmf.gv.at/themen/stuern/kraftfahrzeuge/kraftfahrzeugsteuer/steuerbefreiungen-kfzst.html>. [Zugriff am 02 2021].
- [64] Hall, D., Lutsey, N.: Estimating the Infrastructure Needs and Costs for the Launch of Zero-Emission Trucks, Washington DC: International Council on Clean Transportation (ICCT), 2019.
- [65] E-Control: Strompreise für Gewerbe in Österreich , Oktober 2020. [Online]. Available: <https://www.control.at/documents/1785851/1811582/Gewerbe+Preismonitor+AKTUELL.pdf/0a085141-6d48-1dc8-d53a-e4c86d2a2a98?t=1551805650830>. [Zugriff am 25 11 2020].
- [66] The Mobility House: ABL Wallbox eMH1 1W1101 mit Kabel 11 kW Typ 2, [Online]. Available: https://www.mobilityhouse.com/de_de/abl-wallbox-emh1-1w1101.html. [Zugriff am 25 11 2020].

- [67] Linz Netz: Strom-Preisblatt, [Online]. Available: https://www.linznetz.at/media/linz_netz_website/netz_dokumente/Strom-Preisblatt.pdf. [Zugriff am 25 11 2020].
- [68] Alles-mit-Stecker.de: Mennekes Wallbox 1344202 AMTRON Xtra 22 C2, [Online]. Available: <https://www.alles-n-stecker.de/Installationsmaterial/Steckverbindungen/Mennekes-Wallbox-1344202-AMTRON-Xtra-22-C2::361988.html?MODsId=nhdjk3aavaopreuldkras305fi>. [Zugriff am 26 11 2020].
- [69] Bruckmüller, T., Tober, W., Fasthuber, D.: Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge: Bedarf, Kosten und Auswirkungen : die Energieversorgung in Österreich bis 2030, Herausgeber: ÖVK, Wien, Juni 2019.
- [70] Wietschel, M., Stütz, S., et al: Machbarkeitsstudie zur Ermittlung der Potentiale des Hybrid-Oberleitungs-Lkw, Karlsruhe Hrsg: Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur (BMVI), 2017.
- [71] D. Ainalis, C. Thorne und D. Cebon, Decarbonising the UK's Long-Haul Road, 2020.
- [72] R. Stanek, THE ELECTRIC TRUCKS; THE FUTURE TRADE-OFF BETWEEN REGULATORY NECESSITY TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY?, electrive.net conference, 2020.
- [73] Burke, A., Sinha, A.: Technology, Sustainability, and Marketing of Battery Electric and Hydrogen Fuel Cell Medium-Duty and Heavy-Duty Trucks and Buses in 2020-2040, California, USA: National Center for Sustainable Transportation, <https://doi.org/10.7922/G2H993FJ>, 2020.
- [74] Unterlohner, F.: Comparison of hydrogen and battery electric trucks, Brüssel: Transport and Environment, 2020.
- [75] Brown, A., Ebadian, M., et al: The Role of Renewable Transport Fuels in Decarbonizing Road Transport - Productivity Technologies and Costs, AMF Annex 58 / IEA Bioenergy Task 41 Project 10, 2020.
- [76] Perner, J., Unteutsch, M., Lövenich, A.: The Future Cost of Electricity-Based Synthetic Fuels, Köln: Agora Energiewen and Frontier Economics, 2020.
- [77] R. H. u. S. R. H. Lofgren, A standard computable general equilibrium (CGE) model in GAMS., International Food Policy Research Institute, 2002.
- [78] G. Bachner, „Assessing the economy-wide effects of climate change adaptation options of land transport systems Austria.“ *Regional Environmental Change*, Bd. 17, Nr. 3, pp. 929-940, 2017.
- [79] A. D. G. B. u. K. S. J. Mayer, *Is carbon pricing always regressive? Insights from a recursive-dynamics CGE analysis with heterogeneous households for Austria.*, Graz: Wegener Center, 2020.
- [80] IIASA, „SSP Database,“ Laxenburg, 2021.
- [81] L. Mattauch, F. Creutzig, N. aus dem Moore und et al., „Antworten auf zentrale Fragen zur Einführung von CO2-Preisen: Gestaltungsoptionen und ihre Auswirkungen für den schnellen Übergang in die klimafreundliche Gesellschaft“ Scientists for Future, 2019.
- [82] Statistik Austria, „Input-Output Tabelle 2014,“ Statistik Austria, Wien, 2018.
- [83] Kufferath, A., et al: Der Diesel Powertrain auf dem Weg zu einem vernachlässigbaren Beitrag bei den NO2-Immissionen in den Städten, Wien: 39. Internationales Wiener Motorensymposium 2018.

- [84] Statistik Austria, „Kraftfahrzeuge - Bestand,“ [Online]. Availat https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/verkehr/strasse/kraftfahrzeuge_-_bestand/index.html. [Zugriff am 17 02 2021].
- [85] BMK - BM für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, „Kombinierter Verke Gütertransport auf die richtige Schiene setzen - BMK INFOTHEK,“ 24 02 2020. [Online]. Availat <https://infothek.bmk.gv.at/kombinierter-verkehr-guetertransport-auf-schiene-rola/>. [Zugriff am 03 02 2021].
- [86] Bundesverband Elektromobilität Österreich, „5. E-Busse und mittelschwere E-LKW - BEÖ,“ 16 10 2019. [Onlin Available: <https://www.beoe.at/elektrobusseundlkw/>. [Zugriff am 14 02 2021].
- [87] dispo, „Mehr E-Autos, wenig E-LKW,“ 05 02 2021. [Online]. Available: <https://dispo.cc/a/mehr-e-autos-wenige-e-lk> [Zugriff am 15 02 2021].
- [88] strategy&, Part of the PwC network, „Truck Study 2020 - Strategy&,“ 2020. [Online]. Availat <https://www.strategyand.pwc.com/de/en/insights/2020/green-trucking/truck-study-2020.pdf>. [Zugriff am 14 02 2021].
- [89] Shell in collaboration with Deloitte, „Decarbonising Road Freight: Getting into Gear,“ 2021. [Online]. Availat https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/decarbonising-road-freight/_jcr_content/par/pageHeader.stream/1611925351489/2864c1a1d4ffb0b9e73bc6b66842cbd870dfbd3b/decarbonising-road-freight-industry-report.pdf. [Zugriff am 15 03 2021].
- [90] P. Kluschke, M. Uebel und M. Wietschel, „Alternative Antriebe im straÙengebundenen Schwerlastverkehr: ei quantitative Ermittlung der Nutzeranforderungen an schwere LKW und deren Infrastruktur,“ 05 2019. [Online]. Availat https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/sustainability-innovation/2019/WP05-2019_Nutzeranforderungen_Kluschke.pdf. [Zugriff am 19 03 2021].
- [91] H2 Stations, „Stations Map,“ 15 03 2021. [Online]. Available: <https://www.h2stations.org/station-map/?lat=49.763948&lng=12.582221&zoom=4>. [Zugriff am 15 03 2021].
- [92] P. Almestrand Linné, VTI – Swedish National Road and Transport Research Institute: National and EU freight transp strategies – Status quo and perspectives and implications for the introduction of electric road systems (ER Standardisation of Electric Road Systems, 2019.
- [93] ABC Consulting, TRAFFIX Verkehrsplanung GmbH, GAHO-Consult GmbH, CombiNet - Netzwerk Kombiniertes Verke „Kombinierter Güterverkehr - Aufzeigen zukünftiger Potenziale von Forschung und Innovation,“ BM für Verke Innovation und Technologie, Wien, 2014.
- [94] LOGISTIKUM Steyr, „9---Studie-4.0-Logistikplattformen_Logistikum.pdf,“ 08 03 2015. [Online]. Availat https://www.wko.at/branchen/ooe/transport-verkehr/spedition-logistik/9---Studie-4.0-Logistikplattformen_Logistikum.pdf. [Zugriff am 18 03 2021].
- [95] AIT und Herry Consult, Soziale und organisatorische Auswirkungen durch zunehmende Automatisierungen Güterverkehr, Wien, 2018.
- [96] Digibus Austria, Österreichisches Leitprojekt für automatisiertes Fahren im öffentlichen Personennahverke Deliverables 8 bis 24, 2021.

ANHANG**Fragebogen Stakeholder-Befragung**







Seite 1 von 4





Projekt: Clearer / ZEM (Zero Emission Mobility)

Stakeholder - Input

Bis zum Jahr 2050 wird, im Einklang mit dem Pariser Weltklimaübereinkommen, ein CO₂-neutraler Verkehrssektor angestrebt, im aktuellen österreichischen Regierungsprogramm ist das Ziel der Klimaneutralität für das Jahr 2040 festgelegt. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, wie und zu welchen Kosten ein CO₂-neutraler Güterverkehr erreicht werden kann bzw. welche Antriebstechnologien in welchem Ausmaß dazu beitragen können.

Ein Konsortium aus Universitäten (Uni Graz, Wegener Center für Klima und Globalen Wandel und TU Wien, Institut für Fahrzeugantriebe & Automobiltechnik) und Planern (Herry Consult, Verkehrsplanung, und Econsult, Logistikplanung) untersucht diese Fragestellung im Projekt CLEARER (CLimate nEutral fREight tRansport) im Rahmen des Elektromobilitätsforschungsprogramms des Klima- und Energiefonds (ZEM).

Ansatzpunkt von CLEARER ist die Verknüpfung der verschiedenen Forschungsbereiche aus Technologie (Möglichkeiten, Zeitrahmen, Kosten) und Straßen-Güterverkehr (Nachfrage, Bedürfnisse und organisatorischer Hintergrund) zu einem Gesamtbild mit folgenden Zielsetzungen:

- Darstellung möglicher Beiträge unterschiedlicher Technologien zur CO₂-Reduktion im Güterverkehr
- Erstellen einer Zeitschiene bis zur Implementierung unterschiedlicher Technologien und Gegenüberstellung mit dem CO₂-Reduktionspfad (aus der AT-Klimastrategie)
- Errechnung zusätzlich notwendiger Investitions- und Betriebskosten sowie sich daraus ergebender volkswirtschaftlicher Effekte im Vergleich zum bestehenden System

Um die Arbeiten und Projektergebnisse auf eine breite Basis zu stellen, erfolgt eine Einbindung von relevanten Stakeholdern (v.a. aus Industrie und Forschung).

Daher bitten wir Sie im Rahmen des Projekts um die Teilnahme an maximal 2 Gesprächsrunden. Die erste wird als Expertengespräch/Online Interview durchgeführt – die Diskussionsthemen finden Sie nachstehend.

Wir bedanken uns im Voraus für Ihre Bereitschaft zur Zusammenarbeit und stehen für Fragen gerne zur Verfügung!

Ihre Ansprechpartner:

<p>Mag. Gerda Hartmann Senior Consultant</p> <p>ECONSULT Betriebsberatungsges.m.b.H</p> <p>Jochen-Rindt-Str. 33 1230 Wien T: +43 1 615 70 50-54 M: +43 664 819 20 65 g.hartmann@econsult.at</p>	<p>Mag. Jürgen Schrampf Geschäftsführender Gesellschafter</p> <p>ECONSULT Betriebsberatungsges.m.b.H</p> <p>Jochen-Rindt-Str. 33 1230 Wien T: +43 1 615 70 50-34 M: +43 664 819 20 55 j.schrampf@econsult.at</p>
--	---

ECONSULT Betriebsberatungsgesellschaft m.b.H., Jochen Rindt-Straße 33, 1230 Wien, Austria
Telefon: +43-1-615 70 50 DW, Fax: +43-1-615 70 50 DW 33, office@econsult.at

Gesprächsleitfaden

Allgemeines

Was sind aktuell aus Ihrer Sicht die größten Herausforderungen bei der Senkung der CO ₂ -Emissionen im Güterverkehr?	Text
„Trend Barriers“ und „Trend Boosters“: Welche Trends und Einflussfaktoren könnten die Senkung der THG-Emissionen durch den GÜV behindern?	Text
Welche Trends und Einflussfaktoren könnten die Senkung der THG-Emissionen durch den GÜV fördern?	

Alternative Antriebsarten und Energieträger:

Dieser Abschnitt bezieht sich auf nachfolgende Antriebstechnologien bzw. Energieträger:

Antriebstechnologien:

- Hybridfahrzeuge (HEV)
- Plug-In Hybride (PHEV)
- Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV)
- Brennstoffzellen-Fahrzeuge (FCEV)
- Oberleitungs-Elektrofahrzeuge

Energieträger:

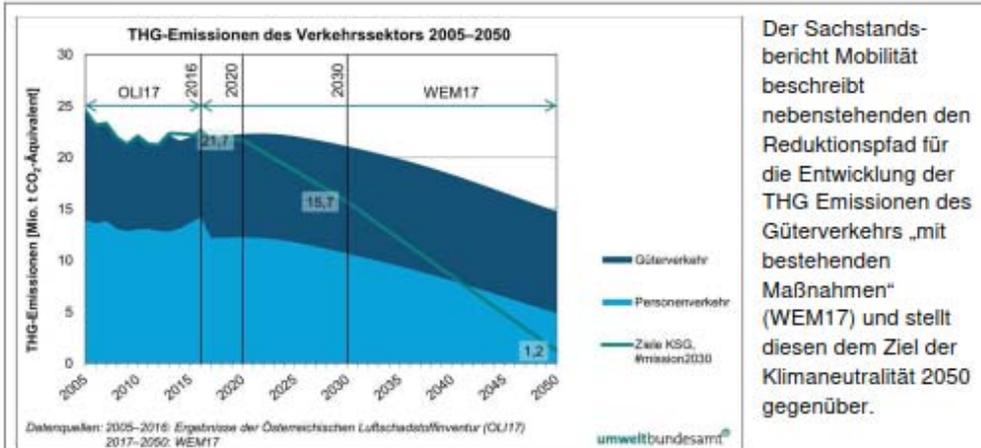
- Biokraftstoffe
- E-Fuels
- Wasserstoff (H₂)
- Strom

Wie schätzen Sie den Einfluss alternativer Antriebsarten bzw. Energieträger (im Vergleich zu anderen Einflussfaktoren) für die Erreichung eines CO ₂ -neutralen Verkehrssektors im Bereich Straßen-GÜV ein bis 2040? Begründen Sie bitte Ihre Einschätzung.	Hoch mittel niedrig ----- Text
---	--------------------------------------



<p>Die oben genannten Energieträger (bestehend und in Entwicklung) werden voraussichtlich im Bereich Straßen-Güterverkehr (GüV) für die Erreichung eines Zero Emission Ziels relevant sein.</p> <p>Wo sehen Sie die Möglichkeiten und Grenzen von Straßen-Güterverkehrsfahrzeugen/LKW auf Basis von</p> <ul style="list-style-type: none"> • Biokraftstoffe • E-Fuels • Wasserstoff (H2) • Strom <p>Sonstige: _____</p>	<p>Text</p>
<p>Fahrzeuge im Straßen-Güterverkehr: Welche Antriebstechnologien werden nach Ihrer Einschätzung im Fahrzeugbestand im Jahr 2040 bei leichten Nutzfahrzeugen (N1 – bis 3,5 t) am häufigsten zu finden sein? (bitte reihen – 1 am häufigsten)</p>	<p><input type="checkbox"/> Hybridfahrzeuge (HEV) <input type="checkbox"/> Plug-In Hybride (PHEV) <input type="checkbox"/> Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) <input type="checkbox"/> Brennstoffzellen-Fahrzeuge (FCEV) <input type="checkbox"/> Oberleitungs-Elektrofahrzeuge <input type="checkbox"/> Konventionelle LKW</p>
<p>Fahrzeuge im Straßen-Güterverkehr: Welche Antriebstechnologien werden nach Ihrer Einschätzung im Fahrzeugbestand im Jahr 2040 bei mittelschweren Nutzfahrzeugen (N2 – 3,5 -12 t) am häufigsten zu finden sein? (bitte reihen – 1 am häufigsten)</p>	<p><input type="checkbox"/> Hybridfahrzeuge (HEV) <input type="checkbox"/> Plug-In Hybride (PHEV) <input type="checkbox"/> Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) <input type="checkbox"/> Brennstoffzellen-Fahrzeuge (FCEV) <input type="checkbox"/> Oberleitungs-Elektrofahrzeuge <input type="checkbox"/> Konventionelle LKW</p>
<p>Fahrzeuge im Straßen-Güterverkehr: Welche Antriebstechnologien werden nach Ihrer Einschätzung im Fahrzeugbestand im Jahr 2040 bei schweren Nutzfahrzeugen (N3 – über 12t) am häufigsten zu finden sein? (bitte reihen – 1 am häufigsten)</p>	<p><input type="checkbox"/> Hybridfahrzeuge (HEV) <input type="checkbox"/> Plug-In Hybride (PHEV) <input type="checkbox"/> Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) <input type="checkbox"/> Brennstoffzellen-Fahrzeuge (FCEV) <input type="checkbox"/> Oberleitungs-Elektrofahrzeuge <input type="checkbox"/> Konventionelle LKW</p>

Ausblick



Der Sachstandsbericht Mobilität beschreibt nebenstehenden den Reduktionspfad für die Entwicklung der THG Emissionen des Güterverkehrs „mit bestehenden Maßnahmen“ (WEM17) und stellt diesen dem Ziel der Klimaneutralität 2050 gegenüber.

Halten Sie die geplante Zielerreichung für realistisch? Bitte begründen Sie Ihre Einschätzung.

Text

<p>Bis wann schätzen Sie, ist Zero-Emission im Güterverkehr möglich? Welche Maßnahmen sind dazu nötig? Falls Ihre Einschätzung bei <u>später als 2040</u> liegt: Welche weiteren Maßnahmen sind notwendig, um bis 2040 im Straßen-Güterverkehr klimaneutral zu sein?</p>	<p>Text</p>
<p>Welche anderen Entwicklungen, Innovationen und Konzepte (außer alternative Antriebsarten und Energieträger) können den Güterverkehr im Hinblick auf Veränderungen im THG-Ausstoß ebenso nachhaltig (positiv oder negativ) beeinflussen?</p>	<p>Text</p>
<p>Wird die Verlagerung auf die Schiene eine wesentliche Rolle bei der Erreichung der Klimaziele spielen? Bitte begründen Sie Ihre Einschätzung!</p>	<p>Text</p>
<p>Denken Sie, dass die Corona-Krise Entwicklung und Einsatz von alternativen Antrieben beeinflusst hat bzw. beeinflussen wird (u.a. durch staatliche Investitionsprogramme)?</p>	<p>Text</p>

Herzlichen Dank für Ihre Mitwirkung!

Beschreibung UseCases

Marktsegment 1			
Verkehrsart:	Inland	Anteil Fahrten	3 %
HZGG	bis 3,5 t	Anteil Fahrleistung	2 %
Entfernung	Kurzstrecke	Anteil Tonnage	<1 %
NST-Gruppe	Pakete	Anteil Transportleistung	<1 %
Fahrzeugherkunft:	alle		

Use Case 1

KEP-Verteilung innerstädtisch

Referenzfahrzeug Marktsegment 1

Abgasnorm	Euro 6
Baujahr	2017
Km-Stand	51.000 km
HZGG	3.500 kg
Neupreis (rd.)	35.000 €
Nutzungsdauer im UC	7 Jahre
Restwert	2.900 €

(exemplarisch gewählte Parameter)

Im KEP-Verkehr (Kurier-, Express- und Paketverkehr) fahren die ZustellerInnen direkt in ein jeweils zugeordnetes Zustellgebiet in dem die Pakete verteilt werden. Die einzelnen Kunden (Stops) werden einer Tourenplanung oder Tourliste folgenden nacheinander abgefahren, speziell im (sub-)urbanen Raum liegen diese Stopps aufgrund des hohen Aufkommens jeweils nur in kurzen Distanzen zueinander. Touren können demnach auch weit über 100 einzelne Stopps umfassen, bei einer relativ geringen Kilometerleistung

Kilometer/Tag	80	Einsatzdauer/Tag	9 Stunden
davon: Autobahn (%)	20 %	Anzahl Stopps/Tag	100 +
Warengruppe	NST 15 – Post, Pakete		

Einfluss organisatorischer bzw. technologischer Innovationen auf den Use Case

- | | |
|-----------------------------|----------------------------------|
| ✓ City Logistik | ✗ Neue Umschlagstechnologien |
| ✓ Kombination PV und GV | ✓ Verkehrssteuerung und -leitung |
| ✗ Physical Internet | ✗ Platooning |
| ✓ Automatisierte Transporte | |

Marktsegment 2			
Verkehrsart:	Inland	Anteil Fahrten	2 %
HzGG	bis 10 t	Anteil Fahrleistung	1 %
Entfernung	bis 100 km	Anteil Tonnage	<1 %
NST-Gruppe	alle	Anteil Transportleistung	<1 %
Fahrzeugherkunft:	alle		

Use Case 2
Umzugs-Lkw

Referenzfahrzeug Marktsegment 2

Abgasnorm:	Euro 6
Baujahr	2019
Km-Stand	1.200 km
HzGG	7.500 kg
Neupreis (rd.)	50.000 €
Nutzungsdauer im UC	9 Jahre
Restwert	2.000 €

(exemplarisch gewählte Parameter)

Ein Klein-Unternehmen übersiedelt seinen Firmensitz. Der dafür gemietete Lkw fährt bei diesem Einsatz von der Spedition bzw. Umzugsfirma zum Kunden und führt anschließend 2 Transporte zwischen der alten und der neuen Adresse durch, bevor er an den Firmensitz der Spedition bzw. Umzugsfirma zurückkehrt. Fahrdauer und Strecke sind gering, die meiste Zeit wird das Fahrzeug be- oder entladen bzw. geparkt.

Kilometer/Tag	90	Einsatzdauer/Tag	6 Stunden
davon: Autobahn (%)	15 %	Anzahl Stopps/Tag	4
Warengruppe	NST 17 - Umzugsgut/nichtmarktbestimmte Güter		

Einfluss organisatorischer bzw. technologischer Innovationen auf den Use Case

- | | |
|-----------------------------|----------------------------------|
| ✓ City Logistik | ✗ Neue Umschlagstechnologien |
| ✗ Kombination PV und GV | ✓ Verkehrssteuerung und -leitung |
| ✗ Physical Internet | ✗ Platooning |
| ✗ Automatisierte Transporte | |

Marktsegment 3			
Verkehrsart:	Inland	Anteil Fahrten	13 %
HzGG	10 bis 20 t	Anteil Fahrleistung	5 %
Entfernung	bis 100 km	Anteil Tonnage	5 %
NST-Gruppe	alle	Anteil Transportleistung	2 %
Fahrzeugherkunft:	alle		

Use Case 3
Filialbelieferung

Referenzfahrzeug Marktsegment 3

Abgasnorm:	Euro 6
Baujahr	2019
Km-Stand	500 km
HzGG	18.000 kg
Neupreis (rd.)	70.000 €
Nutzungsdauer im UC	4 Jahre
Restwert	16.900 €

(exemplarisch gewählte Parameter)

Ein Unternehmen im Lebensmitteleinzelhandel (LEH) beliefert morgens sechs seiner Filialen innerhalb einer Region von einem Zentrallager aus mit Waren. Zu- und Abfahrt ins Liefergebiet sind Strecken, die auf einer Autobahn zurückgelegt werden, die Strecken zwischen den Filialen werden mehrheitlich auf Landstraßen zurückgelegt. Bei den Filialen werden die Rollcontainer und Paletten mit den Waren in den Pufferlagern neben den Verkaufsflächen zwischengelagert, zu entsorgendes Verpackungsmaterial, Wertstoffe, leere Rollcontainer und Paletten vom Vortag werden wieder mitgenommen.

Kilometer/Tag	100	Einsatzdauer/Tag	4 Stunden
davon: Autobahn (%)	43 %	Anzahl Stopps/Tag	6
Warengruppe	NST 04 - Nahrungs- und Genussmittel		

Einfluss organisatorischer bzw. technologischer Innovationen auf den Use Case

✓ City Logistik	✗ Neue Umschlagstechnologien
✗ Kombination PV und GV	✓ Verkehrssteuerung und -leitung
✗ Physical Internet	✗ Platooning
✓ Automatisierte Transporte	

Marktsegment 4

Verkehrsart:	Inland	Anteil Fahrten	21 %
HzGG	20 bis 30 t	Anteil Fahrleistung	6 %
Entfernung	bis 100 km	Anteil Tonnage	15 %
NST-Gruppe	alle	Anteil Transportleistung	4 %
Fahrzeugherkunft:	alle		

Use Case 4

Schotterfahren**Referenzfahrzeug Marktsegment 4**

Abgasnorm:	Euro 6
Baujahr	2018
Km-Stand	50.000 km
HzGG	26.000 kg
Neupreis (rd.)	110.000 €
Nutzungsdauer im UC	5 Jahre
Restwert	18.500 €

(exemplarisch gewählte Parameter)

Die ersten Schotterfahren beginnen bereits zeitig in der Früh und der Schotterwagen pendelt als Shuttle-Verkehr mehrmals täglich zwischen z.B. einer Schottergrube oder einem Bauhof und der jeweiligen Baustelle. Am Ort der Be- und Entladung kann es durch Anstellen und Manipulationsvorgängen zu etwas längeren Aufenthalten kommen. Das Fahrzeug wird durch das hohe Gewicht der Ladung, die häufigen Be- und Entladungsvorgänge (Schüttgut) sowie äußere Einflüsse (z.B. Schmutz, schlechte Fahrwege) stark beansprucht.

Kilometer/Tag	150	Einsatzdauer/Tag	8 Stunden
davon: Autobahn (%)	0 %	Anzahl Stopps/Tag	5
Warengruppe	NST 03 - Steine, Erden, Bergbauerzeugnisse; Torf		

Einfluss organisatorischer bzw. technologischer Innovationen auf den Use Case

X	City Logistik	X	Neue Umschlagstechnologien
X	Kombination PV und GV	✓	Verkehrssteuerung und -leitung
X	Physical Internet	X	Platooning
✓	Automatisierte Transporte		

Marktsegment 5

Verkehrsart:	Inland	Anteil Fahrten	11 %
HzGG	ab 30 t	Anteil Fahrleistung	5 %
Entfernung	bis 100 km	Anteil Tonnage	13 %
NST-Gruppe	1,2,4,5,10-20	Anteil Transportleistung	6 %
Fahrzeugherkunft:	alle		

Use Case 5

Möbeltransport**Referenzfahrzeug Marktsegment 5**

Abgasnorm:	Euro 6
Baujahr	2016
Km-Stand	390.000 km
HzGG	abhängig vom Auflieger
Neupreis (rd.)	90.000 €
Nutzungsdauer im UC	6 Jahre
Restwert	10.600 €

(exemplarisch gewählte Parameter)

Eine Großtschlerei beauftragt eine Spedition ihre hochwertigen Möbel, welche noch in Teile zerlegt sind, in das Zentrallager eines Möbelhauses zu transportieren. Zwei Mal täglich pendelt der Lkw zwischen den beiden Adressen, das Ladevolumen wird dabei voll ausgenutzt, aufgrund der leichten Güter jedoch nicht das höchstzulässige Gesamtgewicht. Das Lieferzeitfenster ist mit dem Empfänger genau abgestimmt, wird vorab kommuniziert und muss eingehalten werden.

Kilometer/Tag	120	Einsatzdauer/Tag	6 Stunden
davon: Autobahn (%)	80 %	Anzahl Stopps/Tag	3
Warengruppe	NST 13 - Möbel, Schmuck und sonst. Erzeugnisse		

Einfluss organisatorischer bzw. technologischer Innovationen auf den Use Case

✓ City Logistik	✗ Neue Umschlagstechnologien
✗ Kombination PV und GV	✓ Verkehrssteuerung und -leitung
✓ Physical Internet	✗ Platooning
✓ Automatisierte Transporte	

Marktsegment 6

Verkehrsart:	Inland	Anteil Fahrten	12 %
HzGG	ab 30 t	Anteil Fahrleistung	3 %
Entfernung	bis 100 km	Anteil Tonnage	25 %
NST-Gruppe	3,6,7,8,9	Anteil Transportleistung	5 %
Fahrzeugherkunft:	alle		

Use Case 6

Papiertransporte**Referenzfahrzeug Marktsegment 6**

Abgasnorm:	Euro 6
Baujahr	2019
Km-Stand	1.800 km
HzGG	abhängig vom Auflieger
Neupreis (rd.)	90.000 €
Nutzungsdauer im UC	3 Jahre
Restwert	31.000 €

(exemplarisch gewählte Parameter)

Eine Papierfabrik liefert täglich mehrmals in eine Druckerei, die schwere Ware ist in Kartons verpackt, welche auf Paletten gestapelt werden. Es handelt sich um Direktverkehre, es findet also kein Zwischenstopp statt, der Lkw ist voll beladen betreffend das höchstzulässige Gesamtgewicht. Die Lieferungen erfolgen jeweils zur selben Tageszeit, die Be- und Entladung wird mit Gabelstaplern durchgeführt.

Kilometer/Tag	110	Einsatzdauer/Tag	7 Stunden
davon: Autobahn (%)	84 %	Anzahl Stopps/Tag	3
Warengruppe	NST 06 - Holzwaren, Papier/-waren; Datenträger		

Einfluss organisatorischer bzw. technologischer Innovationen auf den Use Case

X City Logistik	X Neue Umschlagstechnologien
X Kombination PV und GV	✓ Verkehrssteuerung und -leitung
✓ Physical Internet	X Platooning
X Automatisierte Transporte	

Marktsegment 7			
Verkehrsart:	Inland	Anteil Fahrten	2 %
HZGG	bis 30 t	Anteil Fahrleistung	3 %
Entfernung	100 bis 200 km	Anteil Tonnage	1 %
NST-Gruppe	1,2,4,5,10-20	Anteil Transportleistung	2 %
Fahrzeugherkunft:	alle		

Use Case 7
Gemüselieferungen

Referenzfahrzeug Marktsegment 7

Abgasnorm:	Euro 6
Baujahr	2017
Km-Stand	128.600 km
HZGG	18.000 kg
Neupreis (rd.)	70.000 €
Nutzungsdauer im UC	5 Jahre
Restwert	11.800 €

(exemplarisch gewählte Parameter)

Mehrere Produzenten liefern täglich Gemüse an ein Regionallager eines Lebensmitteleinzelhändlers (Einzelhandel oder Großhandel). In diesem als Milkrun organisierten Transport fährt der Frächter die Produzenten auf festgelegten Routen und zu bestimmten Zeiten nacheinander ab und sammelt das verpackte Gemüse ein. Bei der Abholung wird auch der Austausch von Leergut abgewickelt.

Kilometer/Tag	290	Einsatzdauer/Tag	7 Stunden
davon: Autobahn (%)	70 %	Anzahl Stopps/Tag	8
Warengruppe	NST 01 - Land- und Forstwirtschaft; Fischerei		

Einfluss organisatorischer bzw. technologischer Innovationen auf den Use Case

- | | |
|-----------------------------|----------------------------------|
| ✓ City Logistik | ✗ Neue Umschlagstechnologien |
| ✗ Kombination PV und GV | ✓ Verkehrssteuerung und -leitung |
| ✗ Physical Internet | ✗ Platooning |
| ✗ Automatisierte Transporte | |

Marktsegment 8

Verkehrsart:	Inland	Anteil Fahrten	2 %
HZGG	bis 30 t	Anteil Fahrleistung	2 %
Entfernung	100 bis 200 km	Anteil Tonnage	1 %
NST-Gruppe	3,6,7,8,9	Anteil Transportleistung	1 %
Fahrzeugherkunft:	alle		

Use Case 8

Transport von Pflanzenschutzmitteln**Referenzfahrzeug Marktsegment 8**

Abgasnorm:	Euro 5
Baujahr	2013
Km-Stand	456.000 km
HZGG	25.000 kg
Neupreis (rd.)	70.000 €
Nutzungsdauer im UC	8 Jahre
Restwert	4.000 €

(exemplarisch gewählte Parameter)

Der vom Produzenten beauftragte Spediteur transportiert Pflanzenschutzmittel zu einem etwas weiter entfernten genossenschaftlichen Zentrallager. Der Lkw wird voll beladen und fährt als Direktverkehr großteils auf Autobahnen ohne Zwischenstopp zur Abladestelle. Viele Pflanzenschutzmittel werden beim Transport als gefährliche Güter eingestuft und unterliegen daher, abhängig von der Gefahrenstoff-Klasse, besonderen Vorschriften.

Kilometer/Tag	490	Einsatzdauer/Tag	7 Stunden
davon: Autobahn (%)	75 %	Anzahl Stopps/Tag	1
Warengruppe	NST 08 - Chem. Erzeugnisse; Spalt- und Brutstoffe		

Einfluss organisatorischer bzw. technologischer Innovationen auf den Use Case

X City Logistik	X Neue Umschlagstechnologien
X Kombination PV und GV	✓ Verkehrssteuerung und -leitung
✓ Physical Internet	X Platooning
X Automatisierte Transporte	

Marktsegment 9

Verkehrsart:	Inland	Anteil Fahrten	1 %
HZGG	ab 30 t	Anteil Fahrleistung	2 %
Entfernung	100 bis 200 km	Anteil Tonnage	1 %
NST-Gruppe	1,2,4,5,10-20	Anteil Transportleistung	3 %
Fahrzeugherkunft:	alle		

Use Case 9

Autozulieferer liefert an Produzenten**Referenzfahrzeug Marktsegment 9**

Abgasnorm:	Euro 6
Baujahr	2016
Km-Stand	547.000 km
HZGG	abhängig vom Auflieger
Neupreis (rd.)	90.000 €
Nutzungsdauer im UC	8 Jahre
Restwert	5.200 €

(exemplarisch gewählte Parameter)

Die Automobil-Zulieferindustrie unterliegt besonders strengen vertraglichen Vereinbarungen mit ihren Kunden, die häufig eine Just-In-Time Belieferung fordern. Durch intelligente Systeme in der Zulaufsteuerung werden Zeitfenster vergeben und ankommende Lkw in Echtzeit erfasst. Für die oftmals leichten Güter werden Aufbauten mit großem Volumen benötigt, die Transporte der Lieferanten werden entweder direkt als Full-Truck-Load (FTL) oder als Milkruns von mehreren Lieferanten durchgeführt. Die Transportplanung ist eng auf die Kundenbedürfnisse abgestimmt.

Kilometer/Tag	560	Einsatzdauer/Tag	7 Stunden
davon: Autobahn (%)	90 %	Anzahl Stopps/Tag	1
Warengruppe	NST 12 - Fahrzeuge		

Einfluss organisatorischer bzw. technologischer Innovationen auf den Use Case

X City Logistik	✓ Neue Umschlagstechnologien
X Kombination PV und GV	✓ Verkehrssteuerung und -leitung
✓ Physical Internet	X Platooning
✓ Automatisierte Transporte	

Marktsegment 10			
Verkehrsart:	Inland	Anteil Fahrten	1 %
HzGG	ab 30 t	Anteil Fahrleistung	1 %
Entfernung	100 bis 200 km	Anteil Tonnage	2 %
NST-Gruppe	3,6,7,8,9	Anteil Transportleistung	2 %
Fahrzeugherkunft:	alle		

Use Case 10
Zementlieferung

Referenzfahrzeug Marktsegment 10

Abgasnorm:	Euro 6
Baujahr	2019
Km-Stand	1.800 km
HzGG	abhängig vom Auflieger
Neupreis (rd.)	90.000 €
Nutzungsdauer im UC	6 Jahre
Restwert	10.600 €

(exemplarisch gewählte Parameter)

Im Direktverkehr wird Zement vom Zementwerk zu einem Baustoffgroßhändler geliefert. Die Zementsäcke werden auf Paletten gestapelt, bei einer vollen Beladung ergibt sich ein Gesamtgewicht von 1.400 kg je Palette. Die eingesetzten Lkw und Sattelauflieger oder Hänger müssen daher für große Lasten ausgelegt sein.

Kilometer/Tag	470	Einsatzdauer/Tag	7,5 Stunden
davon: Autobahn (%)	94 %	Anzahl Stopps/Tag	1
Warengruppe	NST 09 – Sonstige Mineralerzeugnisse		

Einfluss organisatorischer bzw. technologischer Innovationen auf den Use Case

- | | |
|------------------------------------|---|
| X City Logistik | ✓ Neue Umschlagstechnologien |
| X Kombination PV und GV | ✓ Verkehrssteuerung und -leitung |
| ✓ Physical Internet | X Platooning |
| ✓ Automatisierte Transporte | |

Marktsegment 11

Verkehrsart:	Inland	Anteil Fahrten	2 %
HzGG	bis 30 t	Anteil Fahrleistung	7 %
Entfernung	über 200 km	Anteil Tonnage	1 %
NST-Gruppe	alle	Anteil Transportleistung	3 %
Fahrzeugherkunft:	alle		

Use Case 11

Leergebindetransport**Referenzfahrzeug Marktsegment 11**

Abgasnorm:	Euro 6
Baujahr	2017
Km-Stand	104.400 km
HzGG	18 t
Neupreis (rd.)	70.000 €
Nutzungsdauer im UC	9 Jahre
Restwert	2.800 €

(exemplarisch gewählte Parameter)

Ein Produzent von Blechdosen transportiert diese von der Produktionsstätte zu einem Kunden bzw. Abfüller. Da die Fracht hohes Volumen jedoch geringes Gewicht aufweist, ist die Liefermenge durch das mögliche Transportvolumen und nicht durch das höchstzulässige Gesamtgewicht limitiert. Die Fahrt erfolgt ohne Zwischenstopp regelmäßig und planbar größtenteils auf der Autobahn.

Kilometer/Tag	440	Einsatzdauer/Tag	8 Stunden
davon: Autobahn (%)	80 %	Anzahl Stopps/Tag	1
Warengruppe	NST 10 - Metalle und Halbzeug; Metallerzeugnisse		

Einfluss organisatorischer bzw. technologischer Innovationen auf den Use Case

- | | |
|-----------------------------|----------------------------------|
| ✓ City Logistik | ✓ Neue Umschlagstechnologien |
| ✗ Kombination PV und GV | ✓ Verkehrssteuerung und -leitung |
| ✓ Physical Internet | ✓ Platooning |
| ✓ Automatisierte Transporte | |

Marktsegment 12

Verkehrsart:	Inland	Anteil Fahrten	1 %
HZGG	ab 30 t	Anteil Fahrleistung	4 %
Entfernung	über 200 km	Anteil Tonnage	2 %
NST-Gruppe	alle	Anteil Transportleistung	6 %
Fahrzeugherkunft:	alle		

Use Case 12

Fleischtransport**Referenzfahrzeug Marktsegment 12**

Abgasnorm:	Euro 6
Baujahr	2016
Km-Stand	392.600 km
HZGG	abhängig vom Auflieger
Neupreis (rd.)	90.000 €
Nutzungsdauer im UC	7 Jahre
Restwert	7.400 €

(exemplarisch gewählte Parameter)

Schwere Transporte auf längeren Strecken im Inland, beispielsweise von West- nach Ostösterreich, laufen zum Großteil auf den Autobahnkorridoren. Ein Fleischerzeuger führt hier Lebensmitteltransporte mit Kühl-Lkw als Direktverkehre durch, diese unterliegen teilweise besonderen Bestimmungen. Eine durchgängige Kühlkette vom Produzenten bis in den Handel muss anhand einer durchgängigen Temperaturkontrolle und -aufzeichnung gewährleistet werden.

Kilometer/Tag	430	Einsatzdauer/Tag	8 Stunden
davon: Autobahn (%)	90 %	Anzahl Stopps/Tag	1
Warengruppe	NST 01 - Land- und Forstwirtschaft; Fischerei		

Einfluss organisatorischer bzw. technologischer Innovationen auf den Use Case

X City Logistik	✓ Neue Umschlagstechnologien
X Kombination PV und GV	✓ Verkehrssteuerung und -leitung
✓ Physical Internet	✓ Platooning
✓ Automatisierte Transporte	

Marktsegment 13			
Verkehrsart:	Quell/Ziel/Transitverkehr	Anteil Fahrten	3 %
HzGG	alle	Anteil Fahrleistung	3 %
Entfernung	alle	Anteil Tonnage	4 %
NST-Gruppe	alle	Anteil Transportleistung	3 %
Fahrzeugherkunft:	Österreich		

Use Case 13
Textiltransport

Referenzfahrzeug Marktsegment 13

Abgasnorm:	Euro 6
Baujahr	2016
Km-Stand	392.600 km
HzGG	abhängig vom Auflieger
Neupreis (rd.)	90.000 €
Nutzungsdauer im UC	7 Jahre
Restwert	7.400 €

(exemplarisch gewählte Parameter)

Ein exportorientierter österreichischer Textilhersteller transportiert Ware vor allem zu Abnehmern und Kunden ins Ausland. Die Lieferungen gehen ab Werk als Full-Truck-Load (FTL) zur Zieldestination, in Österreich ist kein Stopp vorgesehen, da nur ein Teil der Gesamtstrecke im Inland zurückzulegen ist. Die Kapazität des Lkw ist optimal ausgelastet, für die Fahrt in Österreich ist jedoch nur ein geringer Teil der täglichen Einsatzdauer anzusetzen.

Kilometer/Tag	90	Einsatzdauer/Tag	2 Stunden
davon: Autobahn (%)	75 %	Anzahl Stopps/Tag	0
Warengruppe	NST 05 - Textilien und Bekleidung; Leder/-waren		

Einfluss organisatorischer bzw. technologischer Innovationen auf den Use Case

- | | |
|------------------------------------|---|
| X City Logistik | ✓ Neue Umschlagstechnologien |
| X Kombination PV und GV | ✓ Verkehrssteuerung und -leitung |
| ✓ Physical Internet | ✓ Platooning |
| ✓ Automatisierte Transporte | |

Marktsegment 14

Verkehrsart:	Quell-/Zielverkehr	Anteil Fahrten	14 %
HzGG	alle	Anteil Fahrleistung	23 %
Entfernung	alle	Anteil Tonnage	18 %
NST-Gruppe	alle	Anteil Transportleistung	28 %
Fahrzeugherkunft:	Nicht-Österreich		

Use Case 14

Transport von Weißware**Referenzfahrzeug Marktsegment 14**

Abgasnorm:	Euro 6
Baujahr	2015
Km-Stand	314.700 km
HzGG	abhängig vom Auflieger
Neupreis (rd.)	70.000 €
Nutzungsdauer im UC	7 Jahre
Restwert	5.800 €

(exemplarisch gewählte Parameter)

Die Weißware (d.s. Haushaltsgeräte wie Geschirrspüler, Waschmaschinen etc.), die von einem internationalen Hersteller in Österreich produziert wird, wird vom Produktionsstandort in ein ausländisches Verteillager verbracht. Ein ausländischer Lkw holt die Lieferung am Produktionsstandort ab, der Streckenanteil auf Bundesstraßen für die Anfahrt zur Autobahn verursacht eine entsprechende Fahrdauer im österreichischen Bundesgebiet.

Kilometer/Tag	420	Einsatzdauer/Tag	6 Stunden
davon: Autobahn (%)	75 %	Anzahl Stopps/Tag	0
Warengruppe	NST 11 - Maschinen, Ausrüstungen, Geräte a.n.g.		

Einfluss organisatorischer bzw. technologischer Innovationen auf den Use Case

X City Logistik	✓ Neue Umschlagstechnologien
X Kombination PV und GV	✓ Verkehrssteuerung und -leitung
✓ Physical Internet	✓ Platooning
✓ Automatisierte Transporte	

Marktsegment 15

Verkehrsart:	Transit	Anteil Fahrten	11 %
HZGG	alle	Anteil Fahrleistung	32 %
Entfernung	alle	Anteil Tonnage	13 %
NST-Gruppe	alle	Anteil Transportleistung	35 %
Fahrzeugherkunft:	Nicht-Österreich		

Use Case 15

Sammelguttransport**Referenzfahrzeug Marktsegment 15**

Abgasnorm:	Euro 6
Baujahr	2016
Km-Stand	392.600 km
HZGG	abhängig vom Auflieger
Neupreis (rd.)	90.000 €
Nutzungsdauer im UC	3 Jahre
Restwert	15.000 €

(exemplarisch gewählte Parameter)

Eine Spedition transportiert Sammelgut zwischen ihren Niederlassungen in Tschechien und Slowenien. Es handelt sich dabei um einen Transitverkehr, in Österreich ist kein Stopp für Be- oder Entladung vorgesehen. Aus diesem Grund findet der Verkehr auch fast ausschließlich auf Autobahnen statt.

Kilometer/Tag	370	Einsatzdauer/Tag	4,5 Stunden
davon: Autobahn (%)	97 %	Anzahl Stopps/Tag	0
Warengruppe	NST 18 - Sammelgut		

Einfluss organisatorischer bzw. technologischer Innovationen auf den Use Case

X	City Logistik	✓	Neue Umschlagstechnologien
X	Kombination PV und GV	✓	Verkehrssteuerung und -leitung
✓	Physical Internet	✓	Platooning
✓	Automatisierte Transporte		

Tagesordnung Stakeholder Workshop



CLEARER
CLimate NEutral FREight TRansport

2. Workshop

20. Oktober 2020
 - online -

AGENDA

14:00	Begrüßung, Vorstellung	Sedlacek Norbert <u>Herry Consult</u>
14:10	CLEARER im Überblick und Ziele des Workshops	
14:20	Marktsegmente, Technologien, WEM 2040 und ZERO 2040	Sedlacek Norbert <u>Herry Consult</u> Bruckmüller Thomas TU Wien, IFA
14:35	<u>Workshop, Teil 1:</u> „Klimaneutral 2040“ Güterverkehr in 20 Jahren	Sedlacek Norbert <u>Herry Consult</u> Bruckmüller Thomas TU Wien, IFA
15:20	<u>Workshop, Teil 2:</u> „Klimaneutral 2040“ Maßnahmen im Rückspiegel	Bachner Gabriel Uni Graz, Wegener Center
16:45	Ausblick und Zusammenfassung	Sedlacek Norbert <u>Herry Consult</u>

Projektpartner:



Ein Projekt finanziert im Rahmen von:

ZEM – Zero Emission Mobility
 Ein Programm des Klima- und Energiefonds



Beteiligte Stakeholder-Institutionen

Für die Beteiligung am Stakeholder-Prozess bedankt sich das Projekt Team bei nachfolgenden Unternehmen bzw. Organisationen:

- Agora Verkehrswende- Smart Energy for Europe Platform (SEFEP) gGmbH
- Austrian Mobile Power, Verein für Elektro-Mobilität
- AVL List GmbH
- BEST - Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH
- BM für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)
- Energie Steiermark AG
- Umweltbundesamt GmbH
- MAN Truck & Bus Österreich GesmbH
- OMV Aktiengesellschaft
- Verbund AG
- Wirtschaftskammer Österreich
- Zentralverband Spedition & Logistik

Kostenveränderungen je Use Case (2030 und 2040 im WEM und ZERO-Szenario)

Tabelle 29: Kostenveränderung 2018 zu WEM 2030

Use Case	WEM 2030													
	VKM-Diesel		VKM-Gas		VKM-H2		PHEV		BEV		O-EV		FCEV	
	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX
1	100%	95%					112%	101%	116%	93%			112%	99%
2	100%	94%					115%	94%	113%	91%			111%	97%
3	100%	92%	103%	83%					106%	75%			112%	84%
4	100%	90%	103%	79%	108%	122%			104%	93%			110%	92%
5	100%	94%	104%	87%	111%	114%							114%	82%
6	100%	93%	105%	86%	115%	115%							115%	81%
7	100%	92%	107%	83%									118%	81%
8	100%	91%	109%	81%	124%	119%							120%	80%
9	100%	93%	109%	86%	125%	116%							124%	81%
10	100%	93%	110%	85%	128%	116%							125%	80%
11	100%	93%	110%	85%									126%	76%
12	100%	93%	114%	86%									133%	79%
13	100%	92%											133%	84%
14	100%	93%											142%	83%
15	100%	94%											134%	80%

Werte bezogen auf VKM-Diesel CAPEX bzw. OPEX im Jahr 2018. Leere Felder haben 0 % Fahrleistungsanteil.

Tabelle 30: Kostenveränderung 2018 zu WEM 2040

Use Case	WEM 2040													
	VKM-Diesel		VKM-Gas		VKM-H2		PHEV		BEV		O-EV		FCEV	
	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX
1	100%	91%					111%	98%	105%	91%			103%	75%
2	100%	90%					113%	91%	103%	88%			103%	68%
3	100%	87%	103%	80%					97%	71%			103%	51%
4	100%	85%	102%	76%	103%	65%			97%	89%			103%	52%
5	100%	90%	103%	85%	104%	78%			103%	78%			104%	53%
6	100%	89%	104%	84%	105%	76%							104%	52%
7	100%	87%	106%	80%									105%	48%
8	100%	86%	107%	79%	108%	69%							106%	45%
9	100%	89%	107%	83%	108%	75%							107%	49%
10	100%	89%	108%	83%	110%	75%							108%	49%
11	100%	89%	108%	83%									108%	48%
12	100%	89%	111%	84%									110%	49%
13	100%	87%											110%	44%
14	100%	88%											113%	49%
15	100%	90%											110%	50%

Werte bezogen auf VKM-Diesel CAPEX bzw. OPEX im Jahr 2018. Leere Felder haben 0 % Fahrleistungsanteil.

Tabelle 31: Kostenveränderung 2018 zu ZERO 2030

Use Case	ZERO 2030													
	VKM-Diesel		VKM-Gas		VKM-H2		PHEV		BEV		O-EV		FCEV	
	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX
1	100%	102%					112%	106%	116%	93%			112%	99%
2	100%	103%	103%	93%			115%	99%	113%	91%			111%	97%
3	100%	103%	103%	90%			113%	96%	106%	75%			112%	84%
4	100%	104%	103%	87%	108%	122%			104%	93%			110%	92%
5	100%	103%	104%	93%	111%	114%			114%	81%			114%	82%
6	100%	103%	105%	92%	115%	115%			124%	80%			115%	81%
7	100%	103%	107%	90%	120%	118%			134%	76%			118%	81%
8	100%	104%	109%	89%	124%	119%							120%	80%
9	100%	103%	109%	92%	125%	116%					117%	80%	124%	81%
10	100%	103%	110%	92%	128%	116%					119%	79%	125%	80%
11	100%	103%	110%	91%							115%	86%	126%	76%
12	100%	103%	114%	92%							115%	79%	133%	79%
13	100%	103%	113%	90%							117%	85%	133%	84%
14	100%	103%	117%	91%							123%	83%	142%	83%
15	100%	103%	113%	92%							115%	81%	134%	80%

Werte bezogen auf VKM-Diesel CAPEX bzw. OPEX im Jahr 2018. Leere Felder haben 0 % Fahrleistungsanteil.

Tabelle 32: Kostenveränderung 2018 zu ZERO 2040

Use Case	ZERO 2040													
	VKM-Diesel		VKM-Gas		VKM-H2		PHEV		BEV		O-EV		FCEV	
	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX
1	100%	95%					111%	99%	105%	91%			103%	75%
2	100%	94%	103%	106%			113%	93%	103%	88%			103%	68%
3	100%	93%	103%	107%	103%	71%	112%	87%	97%	71%			103%	51%
4	100%	91%	102%	109%	103%	65%			97%	89%			103%	52%
5	100%	94%	103%	106%	104%	78%			103%	78%			104%	53%
6	100%	94%	104%	107%	105%	76%			110%	76%			104%	52%
7	100%	93%	106%	107%	107%	71%			116%	72%			105%	48%
8	100%	92%	107%	107%	108%	69%			123%	69%	114%	74%	106%	45%
9	100%	94%	107%	107%	108%	75%			126%	67%	109%	73%	107%	49%
10	100%	94%	108%	107%	110%	75%					111%	72%	108%	49%
11	100%	94%	108%	106%							108%	75%	108%	48%
12	100%	94%	111%	107%							107%	72%	110%	49%
13	100%	92%	110%	108%							109%	74%	110%	44%
14	100%	93%	114%	107%							113%	73%	113%	49%
15	100%	94%	111%	106%							108%	74%	110%	50%

Werte bezogen auf VKM-Diesel CAPEX bzw. OPEX im Jahr 2018. Leere Felder haben 0 % Fahrleistungsanteil.

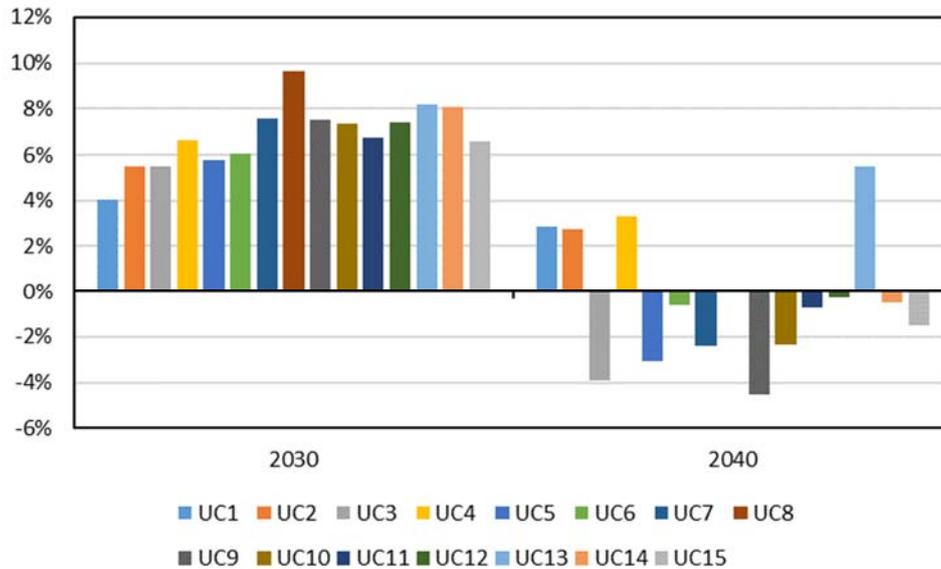


Abbildung 26: Vergleich der Änderung der Kosten je Tonnenkilometer aller Use Cases für 2030 und 2040 (ZERO versus WEM)