



Lehrstuhl für Energieverbundtechnik

Masterarbeit



Regionalisierung und Modellierung des
zukünftigen Ladelastbedarfs der E-
Mobilität im Güterverkehr

David Siebenhofer, BSc

September 2024



EIDESSTÄTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt, den Einsatz von generativen Methoden und Modellen der künstlichen Intelligenz vollständig und wahrheitsgetreu ausgewiesen habe, und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

Ich erkläre, dass ich den Satzungsteil „Gute wissenschaftliche Praxis“ der Montanuniversität Leoben gelesen, verstanden und befolgt habe.

Weiters erkläre ich, dass die elektronische und gedruckte Version der eingereichten wissenschaftlichen Abschlussarbeit formal und inhaltlich identisch sind.

Datum 02.09.2024

Unterschrift Verfasser/in
David Siebenhofer

KURZFASSUNG

Mit der Elektrifizierung des Straßenverkehrs ist in Österreich mit einem größeren Energiebedarf und zusätzlichen Lasten im Stromnetz zu rechnen. Während der Energie- und Ladebedarf zukünftiger E-Mobilität im PKW-Bereich bereits in zahlreichen Studien untersucht wurde, setzt diese Arbeit den Fokus auf den Güterverkehr. Das Ziel ist die Ermittlung des Ladebedarfs in den Bezirken Österreichs für den Status quo, das Jahr 2030 und das Jahr 2040, wenn der Güterverkehr zur Gänze elektrisch betrieben werden würde.

Zu diesem Zweck wurde der Energiebedarf in den Depots und bei Ladesäulen auf der Strecke über die gefahrenen Kilometer des Güterverkehrs eines jeden Bezirkes mittels Multiplikation mit dem Verbrauch pro Kilometer eruiert. Die gefahrenen Kilometer wurden dabei über die Statistik Austria bezogen und auf die Bezirke umgelegt. Die Auswertung umfasste alle gefahrenen Kilometer, die für den österreichischen Energiebedarf relevant sind, unabhängig davon, ob es sich um Inlands-, Empfangs-, Versand- oder Transitverkehr handelt. Der Verbrauch und die Reichweite entstammen einer Literaturrecherche.

Nach der Regionalisierung ist auch die zeitliche Differenzierung notwendig. Über Datensätze aus Straßenzählstationen in ganz Österreich konnte der Güterverkehr zeitlich aufgelöst werden. Im Sinne der Entlastung des Netzes zu Spitzenzeiten wurde fürs Laden über Nacht ein Demand-Side-Management eingepflegt. Das Verkehrsaufkommen des Straßengüterverkehrs folgt der Auswertung nach nicht dem allgemeinen Straßenverkehr mit dem Maximum im Abendverkehr, da das Maximum um die Mittagszeit mit einer weiteren Spitze am Nachmittag erreicht wird. Ladespitzen ergeben sich am frühen Nachmittag und in der zweiten Nachthälfte.

Für die Jahre 2030 und 2040 wird je nach Szenario mit einer anderen Entwicklung gerechnet: Eine Entwicklung im Sinne des Klimaschutzes geht von einem Sinken der Verkehrslast auf der Straße aus, während die Fortschreibung der aktuellen Entwicklung von einer Steigerung des Straßengüterverkehrs ausgeht.

Durch die Berechnung ergeben sich elektrische Energiemengen für ganz Österreich in der Höhe von 5,9 TWh im Status quo. Im Jahr 2030 werden 4,7 TWh (Klimaschutz) bzw. 6,3 TWh (Verkehrszunahme) gebraucht. Für 2040 wurden die Werte 4,4 TWh (Klimaschutz) sowie 6,8 TWh (Verkehrszunahme) errechnet. Diese Arbeit verfolgt den Ansatz von nur minimaler Ladung auf der Strecke, wodurch weniger als ein Drittel der Energie nicht im Depot geladen wird.

Während sich der Energiebedarf für Inlands-, Empfangs- und Versandverkehr entlang der Donau sowie Metropolregionen konzentriert, ist der Energiebedarf durch den Transit in Oberösterreich, Tirol und Salzburg besonders hoch. Die Bezirke mit dem größten Energiebedarf finden sich entlang der Donau in Oberösterreich, Niederösterreich und Wien sowie vereinzelt in Metropolregionen wie Graz, Innsbruck und Salzburg. Die Bezirke mit dem geringsten Energiebedarf sind über Österreich verstreut, sind aber allgemein weiter entfernt von wirtschaftlich starken Zentren. Beispiele sind Feldkirchen in Kärnten oder Murau in der Steiermark.

Der hinterlegten Ladekurve nach sind in Österreich maximal 1,40 GW im Status quo zu erwarten. Je nach Szenario sind im Jahr 2040 als maximale Last 0,90 GW und 1,39 GW prognostiziert.

ABSTRACT

The electrification of road transportation in Austria is expected to result in greater energy requirements and additional loads on the electricity grid. While the energy and charging requirements of future e-mobility in the passenger car sector have already been investigated in numerous studies, this study focuses on freight transport. The aim is to determine the charging requirements in the districts of Austria for the status quo, the year 2030 and the year 2040, when freight transport would be operated entirely electrically. The aim of this thesis is to determine the charging requirements in the districts of Austria for the status quo, the year 2030 and 2040, if freight transport is operated entirely electrically.

For this purpose, the energy demand was determined by multiplying the kilometers driven by freight transport in each district in the depots and at charging stations on the route by the consumption per kilometer. The kilometers driven were obtained from Statistik Austria and allocated to the districts. The evaluation included all kilometers driven that are relevant to Austrian energy demand, regardless of whether they are domestic, inbound, outbound or transit traffic. Consumption is based on a literature review.

After regionalization, temporal differentiation is also necessary. Data sets from road counting stations throughout Austria were used to break down freight traffic over time. In order to relieve the network at peak times, demand-side management was incorporated for overnight loading. According to the evaluation, the traffic volume of road freight traffic does not follow the general road traffic, as the maximum is reached around midday with a further peak in the afternoon. Loading peaks occur in the early afternoon and in the second half of the night.

For the years 2030 and 2040, a different development is expected depending on the scenario: A development in the sense of climate protection assumes a decrease in the traffic load on the road, while the extrapolation of the current development assumes an increase in road freight traffic.

The calculation results in electrical energy volumes for the whole of Austria of 5.9 TWh in the status quo. In 2030, 4.7 TWh (climate protection) and 6.3 TWh (increase in traffic) will be required. In 2040, the values calculated are 4.4 TWh (climate protection) and 6.8 TWh (increase in traffic). Less than a third of the energy is not loaded at the depot due to the assumption of only minimal loading on the route.

While energy demand for domestic, inbound and outbound traffic is concentrated along the Danube and metropolitan regions, energy demand from transit is particularly high in Upper Austria, Tyrol and Salzburg. The districts with the highest energy demand are located along the Danube in Upper Austria, Lower Austria and Vienna, as well as a few in metropolitan regions such as Graz, Innsbruck and Salzburg. The districts with the lowest energy demand are scattered across Austria, but are generally further away from economically strong centers. Examples include Feldkirchen in Carinthia and Murau in Styria.

According to the loading curve used in the background, a maximum of 1.40 GW can be expected in Austria in the status quo. Depending on the scenario, a maximum load of 0.90 GW and 1.39 GW is forecasted for 2040.

VORWORT

Zu den größten Aufgaben unserer Zeit zählt die Eindämmung der Klimakrise und ihrer Folgen. Mit dieser Arbeit möchte auch ich einen Beitrag dazu leisten und hoffe, dass neue Erkenntnisse aus dieser Arbeit entsprechend verwendet werden. Jeder Schritt, der eine Transformation unseres Energiesystems zu einem effizienteren und klimaneutraleren macht, ist zu begrüßen. Wenn Zahlen dieser Arbeit zur Abschätzung benötigter Mengen elektrischer Energie benützt werden, um besser planen zu können, so ist dem Ziel dieser Arbeit Genüge getan.

Bevor ich zum Rundumschlag von Dankesworten aushole, möchte ich festhalten, dass das gesamte Studium der (Industriellen) Energietechnik an der Montanuniversität mich stets mit Freude erfüllt hat, nicht nur weil die Themen interessant waren, sondern auch die Rahmenbedingungen dies ermöglichten. So möchte ich mich bei der Unterstützung besonders bei meiner Betreuerin Dipl.-Ing. Dr. mont. Julia Vopava-Wrienz und meinem Betreuer Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Thomas Kienberger bedanken. Eine solche verlässliche und stets verfügbare Hilfe in der Organisation, der Strukturierung und der wissenschaftlichen Ausgestaltung ist nicht selbstverständlich.

Natürlich wäre ich nicht an dieser Stelle meines Studiums ohne die Unterstützung daheim. Meiner gesamten Familie sei gedankt für die Möglichkeit, ein Studium zu bestreiten, allen voran meinen Eltern, meiner Oma, meinen Geschwistern und meiner Freundin.

Und dann gibt es auch noch Gott sei Dank Studienkolleg:innen und Personen, die gemeinsam mit mir den Weg an der Montanuniversität gegangen sind. Eine namentliche Aufzählung würde hier nur auf einzelne vergessen, weshalb ich mich in cumulo für jede gemeinsame Übung, Prüfung und sonstige außercurriculare Aktivität bedanken möchte.

In diesem Sinne wünsche ich ein aufschlussreiches Lesen meiner Masterarbeit!

Glück Auf und Alles Liebe!

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	1
1.1	Methodische Vorgehensweise	1
1.2	Annahmen und Einschränkungen	2
2	Stand der Technik und Parameterdefinition	3
2.1	Reichweite	3
	Reichweite im Status quo	6
	Reichweite in der Zukunft	8
2.2	Verbrauch	8
	Verbrauch regulärer E-LKW im Status quo	8
	Verbrauch regulärer E-LKW in der Zukunft	9
	Verbrauch durch Kühlung	9
	Verbrauch durch den Transport von Beton	10
	Verbrauch inklusive Transport mit Kühlung und Beton	10
2.3	Ladetechnik	12
2.4	Autonomes Fahren	12
3	Entwicklung des Straßengüterverkehrs	14
3.1.1	Steigerung des Straßengüterverkehrs.....	14
3.1.2	Gleichbleiben des Straßengüterverkehrs	16
3.1.3	Verringerung des Straßengüterverkehrs	16
4	Szenariendefinition	18
5	Nutzerverhalten	20
5.1	Methodik	20
5.1.1	Verkehrsbelastung über den Tag.....	20
5.1.2	Veränderung.....	21
5.1.3	Ladezeiten und Demand-Side-Management.....	21
5.1.4	Zukünftiger Ladebedarf	23
5.2	Auswertung und Ergebnisse	24
5.2.1	Verkehrsbelastung	24
5.2.2	Veränderung.....	26
5.2.3	Ladezeiten	28
5.2.4	Zukünftiger Ladebedarf	30
5.3	Gesetzliche Fahrtunterbrechungen und Fahrverbote	30

5.3.1	Fahrtunterbrechungen und tägliche Lenkdauer	30
5.3.2	Fahrverbote	31
	Nachfahrverbot	31
	Wochenend- und Feiertagsfahrverbot	32
	Fahrverbote für gewisse Euro-Klassen	36
	Weitere Beschränkungen	37
6	Eruierung des Energiebedarfes	38
6.1	Inlandsverkehr	39
6.1.1	Vorgehensweisen und Annahmen	39
6.1.2	Ergebnisse für das Szenario „Status quo“	41
6.1.3	Ergebnisse für 2030 und 2040	42
6.2	Versand und Empfang	42
6.2.1	Vorgehensweisen und Annahmen	42
6.2.2	Ergebnisse für das Szenario „Status quo“	44
6.2.3	Ergebnisse für 2030 und 2040	45
6.3	Transit	46
6.3.1	Vorgehensweisen und Annahmen	46
6.3.2	Ergebnisse für das Szenario „Status quo“	50
6.3.3	Ergebnisse für 2030 und 2040	52
6.4	Zuordnung des Energiebedarfes an Ladestationen auf der Strecke	52
6.5	Gesamter Energiebedarf	55
7	Eruierung des Ladebedarfes	61
8	Zusammenfassung und Ausblick	68
9	Literaturverzeichnis	72
10	Anhang	76
10.1	Verkehrsintensität der Bundesländer	78
10.2	Zuordnungen	84
10.3	Bezirksergebnisse	89
10.4	Ladelastkurven der Bundesländer	91
10.4.1	Ladelastkurven für Österreich (Status quo, 2030 und 2040)	95
10.5	Einsatz generativer Werkzeuge und Methoden der künstlichen Intelligenz	96
10.6	Schlussbemerkung	96

NOMENKLATUR

Abkürzungen

CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ -eq	Kohlenstoffdioxid-Äquivalente
E-LKW	batterieelektrische Lastkraftwägen
GW	Gigawatt
GWh	Gigawattstunde
h	Stunde(n)
hzG	höchst zulässiges Gesamtgewicht
KDV 1967	Kraftfahrzeuggesetz-Durchführungsverordnung 1967
kWh	Kilowattstunde
LKW	Lastkraftwagen
min	Minute(n)
Mio.	Million(en)
PKW	Personenkraftwagen
t	Tonne(n)
TWh	Terawattstunde

Indizes

$e_{\text{kühl}}$	elektrischer Energieverbrauch pro km [kWh/km]
$P_{\text{kühl}}$	Kühlleistung des LKW [kW]
v_{mittel}	mittlere Geschwindigkeit des LKW [km/h]
$n_{x \rightarrow y}$	Anzahl der Fahrten von x nach y [-]
$p_{\text{Werktag/Samstag/Sonntag}}(x)$	skalierte Ladelastkurve an Werk-/Sams- oder Sonntagen
x_{Werktag}	Anteil der Werktage am gesamten jährlichen Energiebedarf
$E_{\text{Bezirk } Y}$	Gesamter jährlicher Energiebedarf des Bezirkes Y
$P_{\text{Werktag,Bezirk } Y}(x)$	Ladelastkurve des Bezirkes Y an Werktagen

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1: Verteilung der Basistransporteinheiten auf die Entfernungsklassen im Jahre 2023 in Österreich (a) und der Europäischen Union (b). Eigene Auswertung und Graphik auf Grundlage von Daten von Eurostat.....	3
Abbildung 2-2: Verteilung der Transportleistung auf die Entfernungsklassen im Jahre 2023 in Österreich (a) und der Europäischen Union (b). Eigene Auswertung und Graphik auf Grundlage von Daten von Eurostat.	4
Abbildung 2-3: Entfernungsklassen von Fahrten in Österreich im Zeitraum von 2010 bis 2022. Eigene Auswertung und Graphik auf Grundlage von Daten von Eurostat.	6
Abbildung 2-4: Entfernungsklassen von Fahrten in der EU im Zeitraum von 2010 bis 2022. Eigene Auswertung und Graphik auf Grundlage von Daten von Eurostat.	6
Abbildung 2-5: Anteil der relevanten NST 2007-Abteilungen an den Verkehrsbereichen und gesamt. Quelle der Daten: Statistik Austria. Eigene Auswertung und Graphik.	11
Abbildung 3-1: Extrapolation der Transportleistung auf Grundlage verschiedener Zeiträume. Transportleistungsdaten von 2009 bis 2022 von der Statistik Austria. Auswertung und Graphik: Eigenes Werk.	15
Abbildung 5-1: Einspeicherung und Stromerzeugung durch Pumpspeicher in Österreich aufgeschlüsselt auf Werktage, Samstag sowie Sonn- und Feiertage im Jahre 2023. Quelle der Daten: 15-min-Erzeugungswerte der Austrian Power Grid, Auswertung und Graphik: Eigenes Werk.....	22
Abbildung 5-2: Normalisiertes Verkehrsaufkommen aller Fahrzeuge im Bundesland Salzburg im Jahre 2022 in den Kategorien "sonn- und feiertags", "samstags" und "werktags". Quelle der Daten: Land Salzburg, Auswertung und Graphik: eigenes Werk.	25
Abbildung 5-3: Normalisiertes Verkehrsaufkommen des Schwerverkehres im Bundesland Salzburg im Jahre 2022 in den Kategorien "sonn- und feiertags", "samstags" und "werktags". Quelle der Daten: Land Salzburg, Auswertung und Graphik: eigenes Werk.....	26
Abbildung 5-4: Zu- und Abnahme des kurzen Schwerverkehres in Tirol an Werktagen im Vergleich zur Vorstunde. Quelle der Daten: Land Tirol, Auswertung und Graphik: eigenes Werk.	27
Abbildung 5-5: Zu- und Abnahme des kurzen Schwerverkehres in Tirol an Samstagen im Vergleich zur Vorstunde. Quelle der Daten: Land Tirol, Auswertung und Graphik: eigenes Werk.	27
Abbildung 5-6: Zu- und Abnahme des kurzen Schwerverkehres in Tirol an Sonn- und Feiertagen im Vergleich zur Vorstunde. Quelle der Daten: Land Tirol, Auswertung und Graphik: eigenes Werk.	28
Abbildung 5-7: Ladelastkurve für den elektrifizierten Schwerverkehr in Oberösterreich mit Demand-Side-Management zwischen 16:00 und 5:00 Uhr werktags, skaliert auf eine Gesamtfläche unter der Kurve von 1. Eigenes Werk.	29
Abbildung 5-8: Ladelastkurve für den elektrifizierten Schwerverkehr in Oberösterreich mit Demand-Side-Management zwischen 16:00 und 5:00 Uhr für jede Kategorie von Tagen, skaliert auf eine Gesamtfläche unter der Kurve von 1. Eigenes Werk.....	29
Abbildung 5-9: Schalldruckpegel im Vergleich zwischen Elektro- und Verbrenner-LKWs (leichte und schwere Nutzfahrzeuge). Eigenes Werk auf Grundlage der Daten von [45]	32
Abbildung 5-10: Alter der LKWs nach Verkehrsbereich und Zulassungsländer der Transit-LKWs im Jahre 2022 (keine Daten für FRA, ESP, PRT). Eigene Auswertung und Graphik auf Grundlage von Daten der Statistik Austria.....	36

Abbildung 6-1: Ergebnisse für den Energiebedarf fürs Depotladen durch den Inlandsverkehr pro Bezirk – Szenario „Status quo“	41
Abbildung 6-2: Österreich, höherrangiges Straßennetz und alle betrachteten Grenzübergänge.	43
Abbildung 6-3: Ergebnisse des Energiebedarfes fürs Depotladen durch den Empfang – Szenario „Status quo“	45
Abbildung 6-4: Ergebnisse für den Energiebedarf fürs Streckenladen durch den Transit – Szenario „Status quo“	51
Abbildung 6-5: Ergebnisse des Energiebedarfes pro Kilometer für jedes Bundesland durch den Transit. Die Stärke der Autobahnen und Schnellstraßen geben den Energiebedarf des Bundeslandes durch den Transit wieder – Szenario „Status quo“	51
Abbildung 6-6: Bezirke Österreichs, die Anteil am höherrangigen Straßennetz haben, farbig markiert pro Bundesland. Eigenes Werk.	53
Abbildung 6-7: Gesamter Energiebedarf in Österreich nach Bezirken - Szenario „Status quo“	55
Abbildung 6-8: Energiebedarf aufgeschlüsselt nach Bundesländern und Verkehrsbereich - Status quo.	57
Abbildung 6-9: Verteilung des Energiebedarfes auf die Verkehrsbereiche nach Bundesländern - Status quo.....	58
Abbildung 6-10: Entwicklung des Energiebedarfes im Burgenland und in Vorarlberg in den Szenarien „Status quo“ sowie „Klimaschutz“ und „Verkehrszunahme“ für die Jahre 2030 und 2040 nach Verkehrsbereich.	58
Abbildung 6-11: Entwicklung des Energiebedarfes in Kärnten und Salzburg in den Szenarien „Status quo“ sowie „Klimaschutz“ und „Verkehrszunahme“ für die Jahre 2030 und 2040 nach Verkehrsbereich.	59
Abbildung 6-12: Entwicklung des Energiebedarfes in Tirol und der Steiermark in den Szenarien „Status quo“ sowie „Klimaschutz“ und „Verkehrszunahme“ für die Jahre 2030 und 2040 nach Verkehrsbereich.	59
Abbildung 6-13: Entwicklung des Energiebedarfes in Oberösterreich sowie Niederösterreich und Wien in den Szenarien „Status quo“ sowie „Klimaschutz“ und „Verkehrszunahme“ für die Jahre 2030 und 2040 nach Verkehrsbereich.....	60
Abbildung 7-1: Skalierte Lastkurve für Tirol.....	62
Abbildung 7-2: Ladelastkurve von Imst.	62
Abbildung 7-3: Ladelastkurve für Murau an Werk-, Sams- und Sonntagen mit Demand-Side-Management.	63
Abbildung 7-4: Ladelastkurve für Graz an Werk-, Sams- und Sonntagen mit Demand-Side-Management.	63
Abbildung 7-5: Ladelastkurve für ganz Österreich an Werk-, Sams- und Sonntagen.....	64
Abbildung 7-6: Ladelastkurve für ganz Österreich an Werk-, Sams- und Sonntagen im Szenario Klimaschutz 2030.	65
Abbildung 7-7: Ladelastkurve für ganz Österreich an Werk-, Sams- und Sonntagen im Szenario Verkehrszunahme 2030.	65
Abbildung 7-8: Ladelastkurve für ganz Österreich an Werk-, Sams- und Sonntagen im Szenario Klimaschutz 2040.	66
Abbildung 7-9: Ladelastkurve für ganz Österreich an Werk-, Sams- und Sonntagen im Szenario Verkehrszunahme 2040.	66

Abbildung 7-10: Vergleich der Ladelastkurven von Werktagen im Status quo und den Jahren 2030 und 2040 in den jeweiligen Szenarien für ganz Österreich.	67
Abbildung 8-1: Ladelastkurve für ganz Österreich an Werk-, Sams- und Sonntagen im Szenario „Status quo“	69
Abbildung 8-2: Vergleich der Ladelastkurven für Werktage für den Status quo, die Jahre 2030 und 2040 in den Szenarien „Klimaschutz“ und „Verkehrszunahme“	69
Abbildung 8-3: Gesamter Energiebedarf in Österreich nach Bezirken – Szenario „Status quo“	70
Abbildung 8-4: Verteilung des Energiebedarfes auf die Verkehrsbereiche im Szenario „Status quo“	70
Abbildung 10-1: Normalisiertes Verkehrsaufkommen aller KFZs in den Bundesländern.	78
Abbildung 10-2: Normalisiertes Verkehrsaufkommen des (kurzen) Schwerverkehrs in den Bundesländern.	79
Abbildung 10-3: Normalisiertes Verkehrsaufkommen des langen Schwerverkehrs in den Bundesländern Burgenland, Oberösterreich und Tirol.	80
Abbildung 10-4: Veränderungen des (kurzen) Schwerverkehres in den Bundesländern Werktagen.	81
Abbildung 10-5: Veränderungen des (kurzen) Schwerverkehres in den Bundesländern an Samstagen.	82
Abbildung 10-6: Veränderungen des (kurzen) Schwerverkehres in den Bundesländern an Sonn- und Feiertagen.	83
Abbildung 10-7: skalierte Ladelastkurven für das Burgenland (werktags, samstags, sonntags und kombiniert).	91
Abbildung 10-8: skalierte Ladelastkurven für Oberösterreich (werktags, samstags, sonntags und kombiniert).	91
Abbildung 10-9: skalierte Ladelastkurven für Salzburg (werktags, samstags, sonntags und kombiniert).	92
Abbildung 10-10: skalierte Ladelastkurven für die Steiermark (werktags, samstags, sonntags und kombiniert).	92
Abbildung 10-11: skalierte Ladelastkurven für Tirol (werktags, samstags, sonntags und kombiniert).	93
Abbildung 10-12: skalierte Ladelastkurven für Vorarlberg (werktags, samstags, sonntags und kombiniert).	93
Abbildung 10-13: skalierte Ladelastkurven für die restlichen Bundesländer Kärnten, Niederösterreich und Wien (werktags, samstags, sonntags und kombiniert).	94
Abbildung 10-14: Ladelastkurven für Österreich gesamt im Status quo und den Jahren 2030 und 2040 sowie in den Szenarien "Klimaschutz" und "Verkehrszunahme".	95

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2-1: Reichweiten nach Herstellerangaben für die Modelle von Volvo, Mercedes/Daimler, MAN und Scania.....	7
Tabelle 2-2: Vergleich der Literaturwerte für den Verbrauch von E-LKW.....	9
Tabelle 2-3: Kategorien nach NST 2007 mit relevanten Unterkategorien und Anteil am gesamten LKW-Verkehr. Quelle der Daten: [28]. Eigene Auswertung.....	11
Tabelle 3-1: Änderungen im Straßengüterverkehr gemäß [44] sowie eigene Berechnungen unter der Prämisse, dass die österreichischen Klimaziele erreicht werden.....	17
Tabelle 4-1: Übersicht der Parameter in den verschiedenen Zeithorizonten.....	18
Tabelle 4-2: Annahmen der Entwicklung des Straßengüterverkehrs in den Verkehrsbereichen in den Szenarien für 2030 und 2040 bezogen auf 2022. Quelle: eigene Annahme auf Grundlage genannter Literatur.....	19
Tabelle 5-1: Wochentage der gesetzlichen Feiertage in Österreich in Nicht-Schaltjahren und Summe der an nicht Sonntagen fallenden Feiertage und Summe der Samstage der Varianten.....	33
Tabelle 5-2: Wochentage der gesetzlichen Feiertage in Österreich in Schaltjahren und Summe der an nicht Sonntagen fallenden Feiertage und Summe der Samstage der Varianten.....	34
Tabelle 6-1: Einteilung der Steiermark in NUTS-3-Regionen und diesen zugeordneten Bezirken.....	39
Tabelle 6-2: Ergebnisse für den Energiebedarf durch den Inlandsverkehr für die Jahre 2030 und 2040 für die jeweiligen Szenarien.....	42
Tabelle 6-3: Zuordnung der Grenzübergänge für Fahrten aus den Nachbarländern für die Bundesländer Niederösterreich, Salzburg und Tirol.....	43
Tabelle 6-4: Ergebnisse für den Energiebedarf durch den Versand- und Empfangsverkehr für die Jahre 2030 und 2040 für die jeweiligen Szenarien.....	45
Tabelle 6-5: Zuordnung der Quellstaaten des Transitverkehrs zum Nachbarland, von dem aus der Verkehr Österreich betritt.....	47
Tabelle 6-6: Vergleich der Streckenlängen bei verschiedenen Routen von Drasenhofen nach Arnoldstein.....	48
Tabelle 6-7: Vergleich der Streckenlängen bei verschiedenen Routen von Deutschland nach Ungarn.....	49
Tabelle 6-8: Ergebnisse für das Szenario "Status quo" für den Energiebedarf in den Bundesländern aufgrund des Transitverkehrs. Längen des Straßennetzes aus [61] bezogen.....	50
Tabelle 6-9: Ergebnisse für den Ladebedarf durch den Transitverkehr für die Jahre 2030 und 2040 für die jeweiligen Szenarien.....	52
Tabelle 6-10: Verteilung des Ladebedarfs auf der Strecke auf die Bezirke der Bundesländer – Szenario „Status quo“.....	54
Tabelle 6-11: Ergebnisse für den Ladebedarf auf der Strecke für die Jahre 2030 und 2040 für die jeweiligen Szenarien.....	54
Tabelle 6-12: Ergebnisse für den Energiebedarf im Status quo sowie für die Jahre 2030 und 2040 für die jeweiligen Szenarien.....	56
Tabelle 6-13: Verteilung des Energiebedarfes auf die Verkehrsbereiche und Bundesländer - Szenario „Status quo“.....	57
Tabelle 7-1: Ergebnisse die Spitzenlast im Status quo sowie für die Jahre 2030 und 2040 für die jeweiligen Szenarien.....	64

Tabelle 8-1: Ergebnisse für den Status quo sowie für die Jahre 2030 und 2040 für die jeweiligen Szenarien.	68
Tabelle 10-1: Aufschlüsselung der Produktkategorie nach NST 2007 mit detaillierter Benennung der für Kühl- und Betontransport relevanten Kategorien. [28].....	76
Tabelle 10-2: Einteilung Österreichs in NUTS-2- und NUTS-3-Regionen und Zuordnung der Bezirke in dieser Arbeit – Teil 1.....	84
Tabelle 10-3: Einteilung Österreichs in NUTS-2- und NUTS-3-Regionen und Zuordnung der Bezirke in dieser Arbeit – Teil 2.....	85
Tabelle 10-4: Einteilung Österreichs in NUTS-2- und NUTS-3-Regionen und Zuordnung der Bezirke in dieser Arbeit – Teil 3.....	86
Tabelle 10-5: Einteilung Österreichs in NUTS-2- und NUTS-3-Regionen und Zuordnung der Bezirke in dieser Arbeit – Teil 4.....	87
Tabelle 10-6: Liste der betrachteten Grenzübergänge und dazugehörige Nachbarländer.....	88
Tabelle 10-7: Ergebnisse des Energiebedarfs für alle Bezirke im Szenario „Status quo“ – Teil 1.....	89
Tabelle 10-8: Ergebnisse des Energiebedarfs für alle Bezirke im Szenario „Status quo“ – Teil 2.....	90
Tabelle 10-9: Verwendete generative Werkzeuge und Methoden der künstlichen Intelligenz.....	96

1 EINLEITUNG

In Hinblick auf die Klimaziele wird eine Änderung des Verkehrssektors notwendig sein. Der Umstieg auf CO₂-freie oder -arme Antriebstechnologien umfasst dabei nicht nur den PKW-Verkehr, sondern auch den Güterverkehr. Der LKW-Verkehr hat im Jahre 2022 rund 4,4 Mio. t CO₂-Äquivalente in Österreich ausgestoßen, hinzu kommen 2,1 Mio. t CO₂-eq, die der Treibstoffexport ausmacht. Zum Vergleich: Der PKW-Verkehr hat im Jahre 2022 einen CO₂-eq-Ausstoß von 10,4 Mio. t verursacht, insgesamt waren es in Österreich 72,8 Mio. t CO₂-eq. [2]

Im Credo „Vermeiden, Verlagern, Verbessern“ befasst sich „Verbessern“ mit der Änderung der Antriebstechnologie. Brennstoffzellen, Wasserstoff-Direktverbrennungsmotoren und der Einsatz von e-Fuels weisen dabei Defizite im Wirkungsgrad auf. Batterieelektrische LKW können neben höheren Effizienzen mittlerweile auch Reichweiten von mehreren hundert Kilometern vorweisen. Die Ausrüstung von Strecken mit Oberleitungen wird als zusätzliche Unterstützung von batterieelektrischen Fahrzeugen gesehen. E-LKWs erleben bereits heute ihren Markthochlauf. [3]

Batterieelektrische LKW verfügen bereits heute über einen emissionsfreien und marktreifen Antrieb mit höherer Effizienz als Technologien, die mit Diesel oder Wasserstoff betrieben werden. Besonders der geringere Energieeinsatz ist in Hinblick auf die Deckung des Strombedarfes durch Erneuerbare Energien relevant. Dennoch hätte die Umstellung von fossilen Treibstoffen auf elektrische Energie einen höheren Strombedarf zur Folge. Es stellt sich daher die Frage, wie viel elektrische Energie für eine komplette Umstellung des gesamten Straßengüterverkehrs in Österreich wo und wann benötigt wird.

Diese Arbeit befasst sich mit dem Energie- und Ladebedarf in Österreich für den Güterverkehr im Status quo sowie prognostiziert für 2030 und 2040, wenn der gesamte Schwerverkehr elektrisch betrieben wird. Eine Auflösung auf Bundesländer- bzw. Bezirksebene ist dabei relevant, um die Bedarfe auch lokal zuordnen zu können. Insbesondere für weitere Entscheidungen in der Planung der Infrastruktur sind diese Werte von Bedeutung. Ziel ist eine Aussage über den elektrischen Energiebedarf durch einen komplett elektrifizierten Schwerverkehr in Österreich regional und zeitlich aufgelöst.

1.1 Methodische Vorgehensweise

Zur Erreichung des Zieles müssen mehrere Punkte in dieser Arbeit kombiniert werden. Allererst ist eine Festlegung von Parametern für die Modellierung auf Grundlage des Standes der Technik notwendig.

Danach muss der zeitliche Verlauf des Schwerverkehres analysiert werden. Dafür werden Daten von Straßenzählstationen aus den Bundesländern eingeholt. Da es sich hierbei um große Mengen an Daten handelt, werden diese automatisiert ausgewertet. Das Ergebnis ist der zeitliche Verlauf des Schwerverkehres auf Bundesländerebene an Sonn- und Feiertagen, Samstagen und Werktagen nach Stunden.

Aus den gewonnenen Informationen lässt sich der Ladebedarf eruieren, wobei bei diesem ein Demand-Side-Management vorgesehen werden soll, um Spitzenlasten auf Zeiten mit geringer Netzbelastung zu verschieben. Eine normalisierte Ladekurve je Bundesland benötigt dann jeweils die Multiplikation mit dem Energiebedarf des zu untersuchenden Bezirkes für die Ladekurve eines Bezirkes. Eine Kombination der normalisierten Ladekurve mit der Energiemenge jedes Bezirkes ergibt den regionalen Ladebedarf für die E-Mobilität des Güterverkehrs.

Für die Eruiierung des Energiebedarfes nach Bezirk werden die gefahrenen Kilometer eines jeden Bezirkes errechnet. Dabei wird zwischen Inlands-, Versand- und Empfangs- sowie Transitverkehr unterschieden. Zurückgegriffen wird dabei auf Daten der Statistik Austria, die die Anzahl der Fahrten von Regionen in andere Regionen regelmäßig veröffentlicht. Die Berechnung der gefahrenen Kilometer passiert im Zusammenspiel mit automatisiert generierten Distanzen aus QGIS.

Der Verkehrsentwicklung sind zwei Szenarien hinterlegt. Zum einen wird im Sinne des Klimazieles für Netto-0-Emissionen im Jahre 2040 von einer starken Verlagerung des Straßenverkehrs auf die Schiene und einer Entkoppelung vom Wirtschaftswachstum ausgegangen. Zum anderen wird eine Fortschreibung der aktuellen Zunahme angenommen.

1.2 Annahmen und Einschränkungen

Ob ein E-LKW bevorzugt auf der Strecke bei Ladesäulen oder über Nacht im Depot ladet, hängt von mehreren Faktoren ab. Preisgestaltungen, vorgeschriebene Lenkerpausen, Kooperationen, Distanzen und weitere Einflussfaktoren sind hier entscheidend. Diese Arbeit geht davon aus, dass möglichst jede Ladung im Depot stattfindet. Nur Ladungen, die aufgrund von Lenkerpausen, Reichweiten der E-LKWs oder im Transitverkehr mangels Depots vorstattgehen müssen, werden dem Streckenladen zugeordnet.

Der Mehrverbrauch durch Kühlung oder durchs Betonmischen wird gleichmäßig auf alle Verkehrsbereiche verteilt.

Die Daten der Statistik Austria umfassen alle Fahrten auf österreichischem Hoheitsgebiet unabhängig von deren Zulassungsland über 3,5 t Nutzlast oder über 6 t zulässigem Gesamtgewicht. Es werden nur Fahrten von Unternehmen erhoben, weshalb Fahrten von landwirtschaftlichen Fahrzeugen, Militärfahrzeugen, Feuerwehren und Fahrzeugen der öffentlichen Verwaltung, insofern diese nicht in einem Unternehmen organisiert sind, nicht in der Energiebedarfsermittlung mitbetrachtet werden. [4] Ebenfalls nicht inkludiert sind Fahrten, die in den Bereich der Schwarzarbeit fallen. In der Eruiierung des Ladebedarfes sind die genannten Fahrten jedoch durch die Straßenzählstationen abgebildet.

Ebenfalls nicht betrachtet werden Energieverbräuche von Fahrzeugen, die sich nicht bewegen. Wenn E-LKWs stehen und dabei kühlen, auf Baustellen den Betonmischer in Bewegung halten oder als Energiequelle für den Lenker dienen, sind diese Energiebedarfe nicht berücksichtigt.

2 STAND DER TECHNIK UND PARAMETERDEFINITION

Für eine Modellierung des Energiebedarfs und dem daraus folgenden Ladebedarf müssen die technischen Parameter von batterieelektrischen LKWs festgelegt werden. Werte für beispielsweise Verbrauch oder Reichweite bewegen sich stets in Bereichen in Abhängigkeit von mehreren Faktoren (Steigung, Fahrweise, Beladung etc.). Dieses Kapitel nimmt auf Grundlage des Standes der Technik Werte zur Berechnung in der Modellierung an.

2.1 Reichweite

Der Faktor Reichweite ist für die Etablierung von elektrisch betriebenen Nutzfahrzeugen aufgrund dessen von Bedeutung, weil jede Zwischenladung mit Kosten für den Arbeitgeber und Zeit für den Transportweg verbunden ist. Zum Verständnis der folgenden Ausführungen seien folgende Begriffe erklärt [4, 5]:

- Transportaufkommen: geförderttes Gewicht der Güter [t]
- Transportleistung: Produkt aus geförderttem Gewicht der Güter und der Weglänge [tkm]
- Basistransporteinheit: Fahrt von Gütern von Be- bis Entladung, wodurch mehrere Stops auf der Strecke auch berücksichtigt werden [–]

Zum Aspekt der Reichweite sei auf Abbildung 2-1 verwiesen. Nur 4,0% der Fahrten des Straßengüterverkehrs (=Basistransporteinheiten) in Österreich sind größer 300 km. Demnach sind mit einer Reichweite von 300 km, die die aktuell am Markt befindlichen E-LKWs zumeist aufweisen (vgl. Tabelle 2-1), 96,0% der Fahrten des Straßengüterverkehrs ohne Zwischenladen möglich. In Europa zeigt sich, wie ebenfalls in Abbildung 2-1 ersichtlich, ein ähnliches Bild: Hier liegt der Anteil der Fahrten im Straßengüterverkehr größer 300 km bei 11,9%.

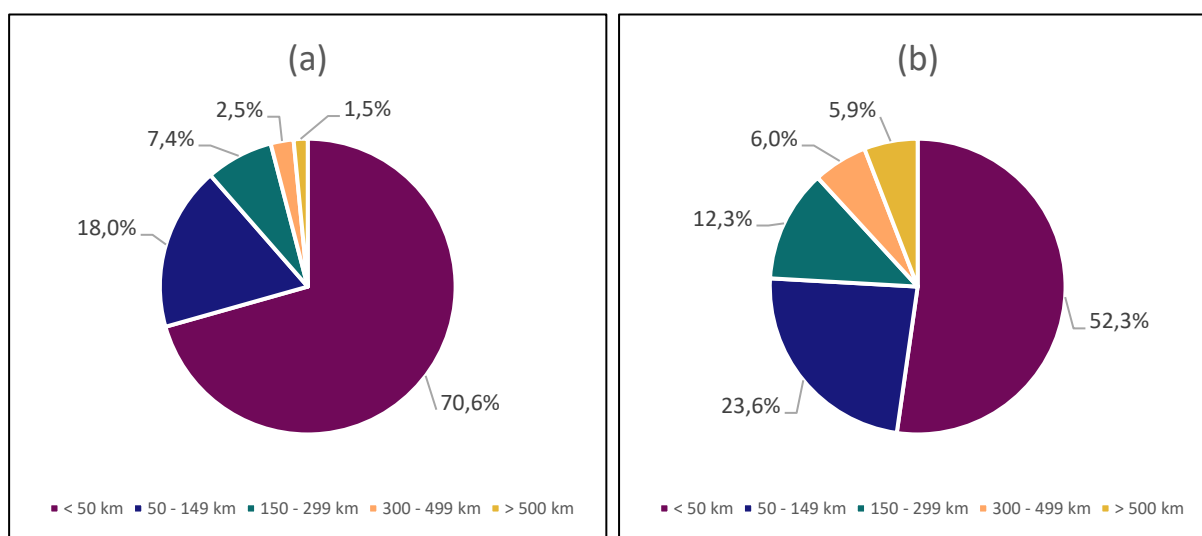


Abbildung 2-1: Verteilung der Basistransporteinheiten auf die Entfernungsklassen im Jahre 2023 in Österreich (a) und der Europäischen Union (b). Eigene Auswertung und Graphik auf Grundlage von Daten von Eurostat.

Betrachtet man die Transportleistung (Abbildung 2-2) ist der Anteil der Fahrten über 500 km mit knapp einem Fünftel nicht zu vernachlässigen, in der Europäischen Union wird sogar die relative Mehrheit der Transportleistung über eine Distanz von 500 km oder mehr zurückgelegt (39,9%).

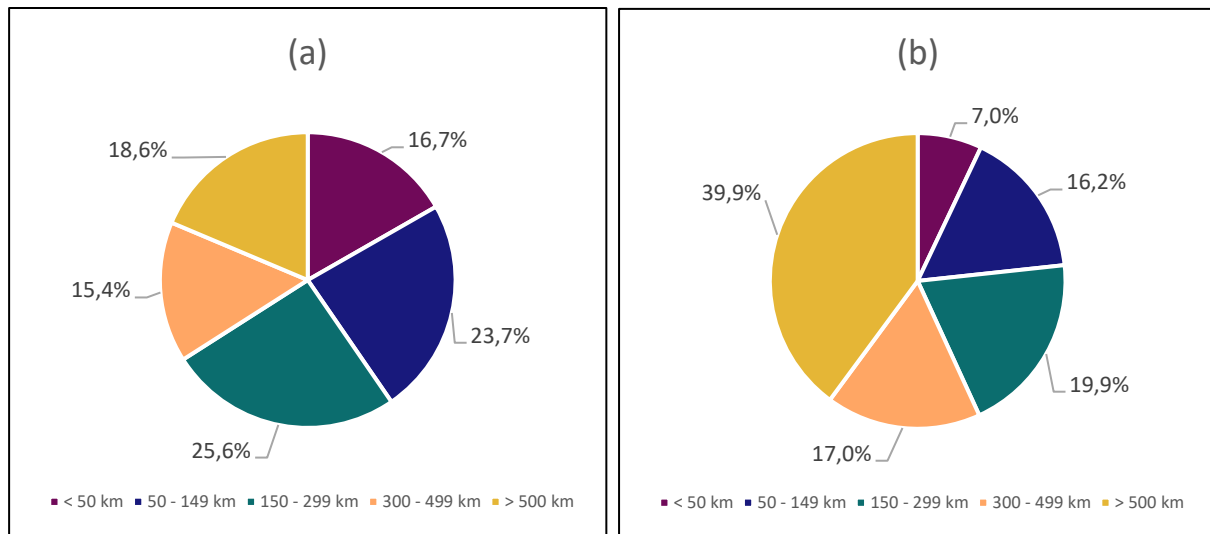


Abbildung 2-2: Verteilung der Transportleistung auf die Entfernungsklassen im Jahre 2023 in Österreich (a) und der Europäischen Union (b). Eigene Auswertung und Graphik auf Grundlage von Daten von Eurostat.

Dass der Ferngüterverkehr über 300 km in Österreich gemessen an der Anzahl der Fahrten eine untergeordnete Rolle spielt, ist eine Konstante. Dies zeigt sich in Abbildung 2-3, die die Entwicklung des Anteils der Basistransporteinheiten mit 300-499 km sowie größer 500 km seit 2011 zeigt. Ein Rückgang des Ferngüterverkehrs auf der Straße über 300 km ist einerseits von 5% im Jahre 2011 bis zu 4,03% im Jahre 2023 zu erkennen. Andererseits ist in Abbildung 2-4 ersichtlich, dass der Anteil dieses Verkehrs in der Europäischen Union von 9,38% im Jahre 2011 bis zum Jahre 2022 auf 11,82% angewachsen ist.

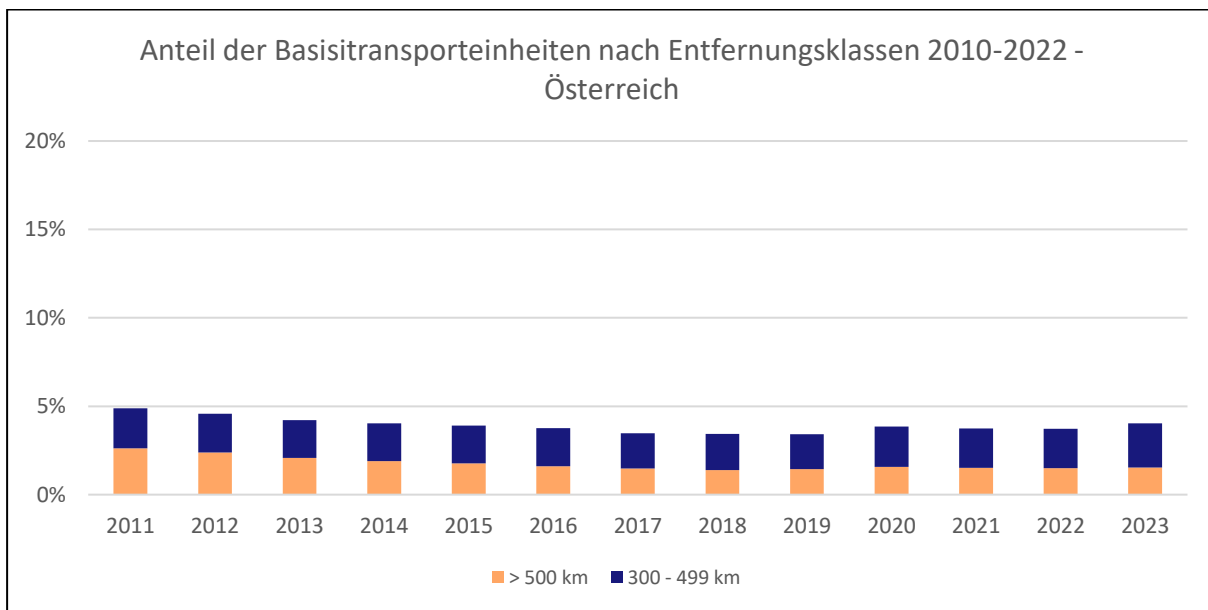


Abbildung 2-3: Entfernungsklassen von Fahrten in Österreich im Zeitraum von 2010 bis 2022. Eigene Auswertung und Graphik auf Grundlage von Daten von Eurostat.

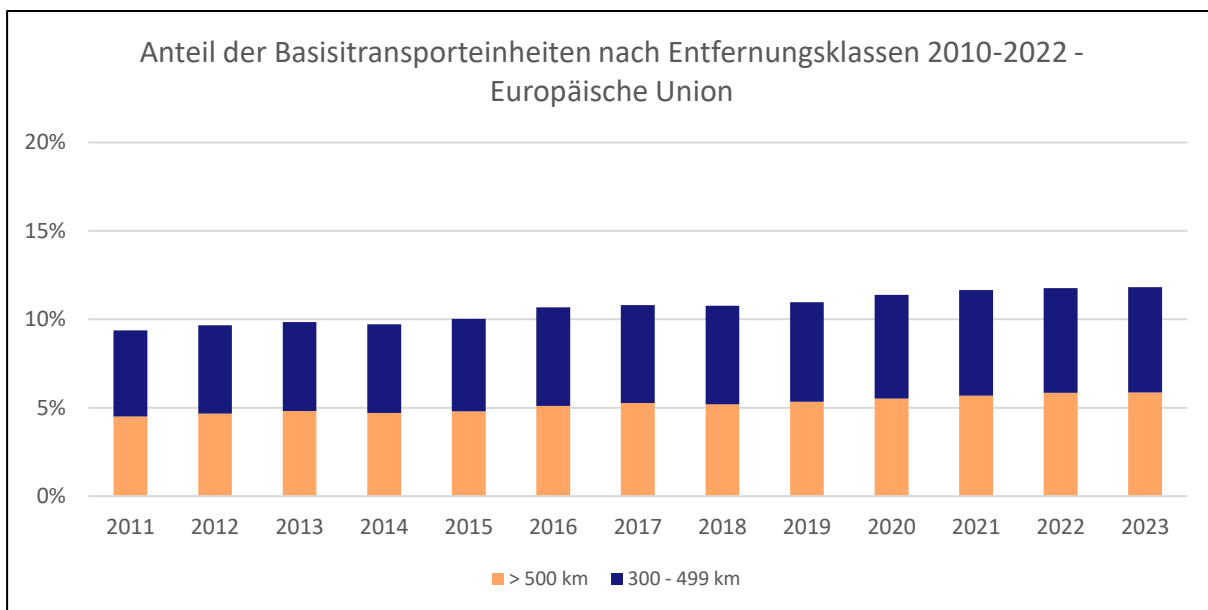


Abbildung 2-4: Entfernungsklassen von Fahrten in der EU im Zeitraum von 2010 bis 2022. Eigene Auswertung und Graphik auf Grundlage von Daten von Eurostat.

Reichweite im Status quo

Eine Analyse der derzeit am Markt befindlichen E-LKWs der Hersteller Volvo, MAN, Mercedes (Daimler) und Scania hat eine durchschnittliche Reichweite von ca. 330 km ergeben. Berechnungen dieser Arbeit nehmen 330 km als Reichweite für alle elektrisch betriebenen Nutzfahrzeuge zum Status quo an. Die betrachteten E-LKW sind in Tabelle 2-1 gelistet.

Tabelle 2-1: Reichweiten nach Herstellerangaben für die Modelle von Volvo, Mercedes/Daimler, MAN und Scania.

Hersteller	Modell	Reichweite	Quelle
-	-	km	-
Volvo	FM Low Entry	200	
	FE Electric	275	
	FH Electric	300	
	FM Electric	300	[6]
	FMX Electric	300	
	FH Aero Electric	300	
	FL Electric	450	
Mercedes / Daimler	eActros 300 4x2 Sattelzug	220	
	eActros 300 6x2	300	
	eActros 300 6x2 mit Anhänger	300	[7]
	eActros 300 4x2	330	
	eActros 400 4x2	400	
MAN	eTGX Chassis	325	[8] (hohe Reichweite Fernverkehr)
	eTGX Sattel	325	
Scania	29 t Gesamtgewicht	520	
	40 t Gesamtgewicht	440	[9]
	64 t Gesamtgewicht	320	
Durchschnitt		329,7	

Größere Reichweiten, die nicht aufgrund einer verbesserten Batterietechnologie, sondern aufgrund von Aufstockungen der Batterien zustande kommen, würden für die meisten Anwendungen im Bereich unter 300 km nur zusätzliches Gewicht bedeuten. Ein E-LKW mit mehr Batteriekapazität, als für die Strecke gefordert wird, verbraucht deshalb mehr Energie für den Transport der zusätzlichen Kapazität ohne Nutzen. Schon heute werden E-LKWs nach deren Bedarf mit modular erweiterbaren Batteriespeichern angeboten, um bei weniger Kilometern nicht unbenützte Kapazität als Zusatzgewicht aufgeladen zu

haben. Ein Batteriemodul mit 90 kWh Kapazität wiegt in etwa 505 kg. Volvo verkauft einige seiner E-LKW mit optional fünf oder sechs Batteriemodule, je nach Anforderungen des Käufers. [10]

Damit schwere Batterien nicht zu viel vom höchstzulässigen Gewicht des LKWs einnehmen, ermöglicht die EU-Richtlinie 96/53/EG in der aktuellen Fassung laut Anhang I Punkt 2.2.1. das Überschreiten des höchstzulässigen Gewichts von emissionsfreien Fahrzeugen um 2 t.

Reichweite in der Zukunft

Mercedes (Daimler), MAN und Volvo bieten bereits jetzt schon E-LKW mit einer Reichweite von 400 km oder mehr an. An einer größeren Reichweite wird gearbeitet, so stellte im Juli 2023 Mercedes (Daimler) die Pläne für den eActros 600 vor. Es handelt sich dabei um einen E-LKW mit einer Reichweite von 500 km. Auch Scania nennt im Nachhaltigkeits- und/oder Geschäftsbericht eine konkrete Zahl zur zukünftigen Reichweite: 2025 sollten Reichweiten bis zu 560 km bzw. 420 km erreicht werden. [11, 12]

In dieser Arbeit wird für den Zeithorizont 2030 ein technologischer Fortschritt angenommen, der 500 km Reichweite als Standard annimmt. Dies bedeutet für die Modellierung, dass Distanzen bis 500 km in den Berechnungen zum Jahre 2030 ohne Zwischenladung durchgeführt werden können.

Für das Jahr 2040 wird ebenso mit einer Reichweite von 500 km gerechnet. Wie zuvor ausgeführt, würde ein Batteriekapazität, die über die geforderte Strecke reicht, nur zusätzlichen Verbrauch bedeuten. Wegen der verpflichtenden Pause für Lenker nach 4,5 h, die zum Zwischenladen genutzt werden kann, genügt eine Reichweite von 500 km, um ohne Mehrverbrauch durch Gewicht von nicht notwendiger Batteriekapazität fahren zu können.

Eine größere Reichweite ist durch höhere Effizienz im autonomen Fahren möglich. Obwohl autonom fahrende E-LKW keine Lenkerpause einlegen müssten, nimmt diese Arbeit auch für autonom fahrende E-LKW eine Reichweite von 500 km in den Jahren 2030 und 2040 an. Dies begründet sich im geringeren Gewicht und dem daraus folgenden geringeren Verbrauch von E-LKW (minus 17% an Energie) mit geringerer Reichweite. [13] Auch bei autonom fahrenden E-LKW wird von einer Zwischenladung nach 500 km ausgegangen.

2.2 Verbrauch

Der Verbrauch pro Kilometer bestimmt mit den gefahrenen Kilometern den Energiebedarf. Der Verbrauch variiert dabei nicht nur durch äußere Umstände, sondern auch mit Lasten des LKW wie Kühlung oder Antriebsenergie für Betonmischer.

Verbrauch regulärer E-LKW im Status quo

Zur Eruierung des Verbrauches von E-LKW ohne zusätzliche Lasten wie Kühlung oder Betonmischer wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. Wie in Tabelle 2-2 ersichtlich sind in der Literatur nur geringe Abweichungen vom Verbrauch der E-LKW erkennbar (maximal 0,26 kWh/km) und diese sind durch den Unterschied in der Gewichtsklasse zu erklären. Das Modell dieser Arbeit rechnet mit einem Verbrauch der Nutzfahrzeuge im Status quo von 1,24 kWh/km, bevor der Zusatzverbrauch durch Kühl- und Betontransporte hinzukommt.

Tabelle 2-2: Vergleich der Literaturwerte für den Verbrauch von E-LKW.

Quelle	Verbrauch	Anmerkung
-	<i>kWh/km</i>	-
[14]	1,10	18 t, Simulationsergebnis
[14]	1,32	26 t, Simulationsergebnis
[14]	1,00	Herstellerangabe Volvo FL
[14]	1,10	Herstellerangabe Daimler
[15]	1,26	Fahrzeuge ab 12 t
[16]	1,06	18-26 t
[17]	1,37	Durchschnitt der Verkäufe in China 2022
[18]	1,30	konservative Schätzung
[14]	1,44	auf Autobahnen nach Earl et. al. 2018
[19]	1,20	im städtischen Gebiet
[20]	1,50	Lang- und Kurzstrecken
Durchschnitt	1,24	

Verbrauch regulärer E-LKW in der Zukunft

Eine Publikation des International Council on Clean Transportation [21] sieht ein Minus von durchschnittlich 22,3% im Verbrauch zwischen 2022 und 2030 vor. Dabei geht man aber von niedrigeren Verbrauchswerten im Jahr 2022 aus, als diese Arbeit mit 1,24 kWh/km annimmt. Die Werte im Jahre 2030 bewegen sich im Bereich um 0,95 kWh/km. In einem früheren Arbeitspapier des International Council on Clean Transportation [20] wird noch ein Minus von 30 bis 35% bis zum Jahre 2030 vorausgesagt.

Für das Jahr 2030 wird in der Modellierung dieser Arbeit mit einer Verringerung des Verbrauches auf 0,95 kWh/km gerechnet. Das entspricht einem Minus von 29,1% zum Status quo.

Für das Jahr 2040 wird keine weitere Verbesserung zum Jahre 2030 angenommen. Auch hier liegt der Verbrauch bei 0,95 kWh/km. Die Annahme eines konstanten Verbrauchs wird auch in mehreren Quellen so gehandhabt. [20–22]

Verbrauch durch Kühlung

Abhängig von der betrachteten Konfiguration und Bauart eines LKW wird der Mehrbedarf für die Kühlung mit minimal 3,11 kW bzw. maximal 5,89 kW angegeben. [14] Eine Umrechnung in kWh/km erfolgt durch Division mit einer angenommenen Durchschnittsgeschwindigkeit von 80 km/h:

$$e_{\text{kühl}} = \frac{P_{\text{kühl}}}{v_{\text{mittel}}}$$
$$e_{\text{kühl,min}} = \frac{3,11 \text{ kW}}{80 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 0,039 \frac{\text{kWh}}{\text{km}}$$
$$e_{\text{kühl,max}} = \frac{5,89 \text{ kW}}{80 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 0,074 \frac{\text{kWh}}{\text{km}}$$

Weiters finden sich Quellen, die den Verbrauch höher ansetzen, etwa mit 8 kW, was 0,10 kWh/km entsprechen würde. [23] Eine Auswertung von gemessenen Daten in Südafrika ergab vergleichsweise eine Leistung für die Kühlung von in etwa 16-20 kW (Kühlung über 0°C und bei -25°C). [24] Diese Werte beziehen sich jedoch auf den Einsatz von Treibstoff für die Kühlung. Unter der Annahme eines Wirkungsgrades von 40% bei der Umwandlung von Treibstoff zu Kühlenergie ergeben sich 6-8 kW für die Kühlung. [25] Eine neuere Untersuchung (2022) ergab eine elektrische Leistung von 1,815 kW elektrisch für 2,200 kW Kühlleistung. [26] Allerdings handelt es sich hierbei um einen 4,15 x 2,13 x 2,10 m großen Kühlraum samt Isolierung.

In der weiteren Arbeit wird mit einem Mittelwert aus $e_{\text{kühl,min}}$ und $e_{\text{kühl,max}}$, also 0,057 kWh/km gerechnet.

Verbrauch durch den Transport von Beton

Beim Transport von Beton wird dieser in einem Fahrmischer stets in Bewegung gehalten. Dafür sind bei elektrischem Antrieb Leistungen im Bereich mehrerer 10 kW notwendig. In dieser Arbeit wird mit den Werten des Herstellers Liebherr in Kooperation mit ZF gerechnet. Eine Dauerleistung von 60 kW entspricht bei Annahme von 80 km/h als Durchschnittsgeschwindigkeit einem Mehrverbrauch von 0,75 kWh/km. [27]

Verbrauch inklusive Transport mit Kühlung und Beton

Eine Aussage über den Anteil der Transporte, die mit gekühlter Ware oder Beton geschehen, kann über Daten der Statistik Austria erlangt werden. Besonders die fünf Abteilungen der Transporteinheiten der Statistik „Transportleistung und -aufkommen“ nach NST 2007 [28] in Tabelle 2-3 sind dafür interessant.

Tabelle 2-3: Kategorien nach NST 2007 mit relevanten Unterkategorien und Anteil am gesamten LKW-Verkehr. Quelle der Daten: [28]. Eigene Auswertung.

Name nach NST 2007	relevante Produkte	Anteil
Erzeugnisse der Landwirtschaft	Obst, Gemüse, pflanzliche Produkte, Milch, tierische Produkte, Fisch	6,0%
Nahrungs- und Genussmittel	Fleisch, Fisch, Obst, Gemüse, Öle, Fette, Milchprodukte	11,1%
Chemische Erzeugnisse und Chemiefasern; Gummi- und Kunststoffwaren; Spalt- und Brutstoffe	organische chemische Grundstoffe, Pharmazeutik, Düngemittel	1,5%
Sonstige Mineralerzeugnisse	sonstige Baumaterialien und -erzeugnisse	16,3%

Eine Auflistung der Kategorien nach NST 2007 finden sich im Anhang in Tabelle 10-1. Die relevanten Unterkategorien sind in dieser Tabelle detaillierter aufgeschlüsselt. Ein Vergleich der Verkehrsbereiche mit dem gesamten Verkehr in Bezug auf die Verteilung nach NST 2007 ist in Abbildung 2-5 zu sehen.

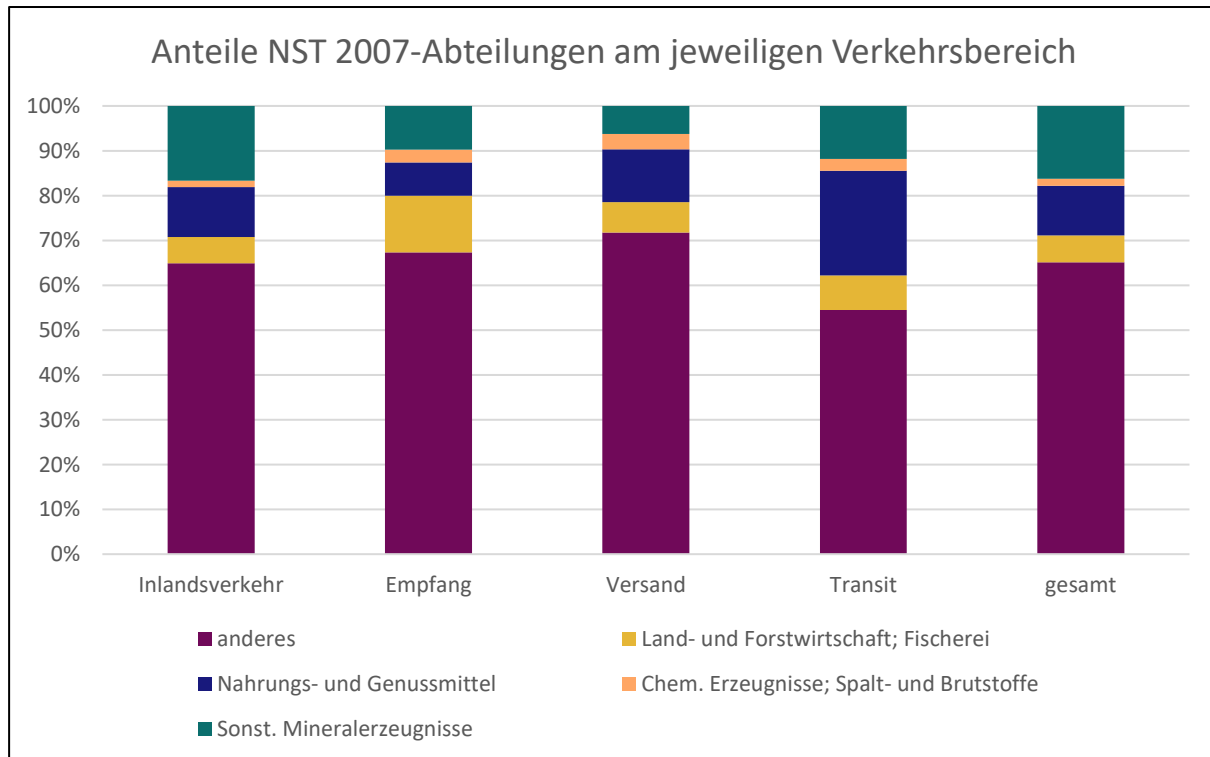


Abbildung 2-5: Anteil der relevanten NST 2007-Abteilungen an den Verkehrsbereichen und gesamt. Quelle der Daten: Statistik Austria. Eigene Auswertung und Graphik.

Dem mittleren Verbrauch von 1,24 kWh/km werden die eruierten Zusatzverbräuche gemäß dem Anteil am Gesamtverkehr hinzuaddiert. Jedoch wird bei der Kühlung angenommen, dass nur 50% der Transporte der Kategorien mit Kühlung vonstattengehen. Beim Beton wird ein Anteil von 40% an den gesamten Transporten der Kategorie „Sonstige Mineralerzeugnisse“ angenommen. Diese Rechnung ergibt 1,34 kWh/km als Verbrauch für das Szenario „Status quo“, für 2030 und 2040 ergeben sich 1,05 kWh/km.

2.3 Ladetechnik

Die Ladetechnik muss mehreren Bedingungen genügen. Für den Betrieb ist die schnelle Verfügbarkeit hoher Leistungen relevant. In Kombination mit der Tatsache, dass zwar Unternehmen für ihre Fuhrparks Standorte in Gebieten mit starkem Stromnetz suchen würden, jedoch weiterhin ein Ladebedarf auch an Orten mit schwachem Stromnetz besteht, ergeben sich Herausforderungen für das Stromnetz. Die zeitliche Komponente kann durch Demand-Side-Management (siehe später) abgeschwächt werden. Es bleiben dennoch Spitzen um die Mittags- und Abendzeit vor Einsetzen des Demand-Side-Managements, die mit den ohnehin im Stromnetz vorkommenden Stromspitzen zusammenfallen.

Ladestationen werden grundsätzlich an zwei Orten gebraucht: Auf der Strecke an Raststationen und Tankstellen sowie in den Depots und Garagen der Unternehmen. Besonders jene Ladestationen auf der Strecke müssen aufgrund wirtschaftlicher Betrachtungen eine Ladung innerhalb von 45 min möglich machen. 45 min ist wie in späteren Kapiteln beschrieben die gesetzlich vorgeschriebene Zeit, die Lenker nach 4,5 h Fahrt als Pause einlegen müssen.

Ladeleistungen von mehreren hundert kW werden durch sogenanntes „Megawattladen“ erreicht. Die Herausforderungen, die sich dabei ergeben, sind in der Thematik Effizienz angesiedelt. Beim Megawattladen ergeben sich hohe Ströme und damit Wärmeverluste. Megawattladen bedarf einer Flüssigkeitskühlung. [29]

Im höherrangigen Straßennetz in Österreich weißt die ASFINAG 44 Raststätten mit E-Ladepunkten für alle Fahrzeuge (Stand August 2024) aus, die in Summe eine Leistung von 14,4 MW haben. Die größten Leistungen sind 300 kW (9 Ladestationen), 350 kW (11 Ladestationen) und 360 kW (7 Ladestationen). Die ASFINAG plant einen weiteren Ausbau auf 3000 Ladepunkte bis 2035. [30, 31]

Eine Verdichtung der Ladestationen in Österreich, auch im höherrangigen Straßennetz, sind geplant. Mit Ende 2021 waren es in etwa 8900 Normalladepunkte und 1600 Schnellladepunkte (>22 kW), die öffentlich verfügbar sind. [32]

Diese Arbeit nimmt an, dass alle Ladungen auf der Strecke mit Megawattladen vonstattengehen und so innerhalb der Fahrtunterbrechung die restliche Distanz geladen werden kann. Ladungen in der Nacht seien flexibel einem Demand-Side-Management (siehe später) unterworfen.

2.4 Autonomes Fahren

Man geht davon aus, dass die zukünftige Mobilität autonomer wird. Autonomes Fahren bietet die Möglichkeit, LKWs ohne Pausen, ohne Rücksicht auf Kosten für Lenker, mit weniger Unfällen und mit idealisiertem Fahrverhalten fahren zu lassen. Die Österreichische Energieagentur rechnet mit einer Marktdurchdringung im LKW-Bereich von 0 bis 70% im Jahre 2040. [13, 33, 34]

Im Jahre 2022 vermeldete Scania, dass ihr erster vollkommen autonom fahrender LKW in Schweden eine Strecke von 300 km zurückgelegt hat. Das Unternehmen sieht das autonome Fahren ebenso als Zukunftstechnologie wie die Elektrifizierung ihrer Antriebe. [12] MAN beteiligt sich an diversen Projekten zur Autonomisierung des LKW-Verkehrs. Gegen Ende des Jahres 2024 soll der erste autonom fahrende LKW auf deutschen Autobahnen entwickelt sein. Ende der 2020er-Jahre will MAN den ersten vollautonomen LKW ohne Emissionen vorstellen. [35] Ebenso arbeitet Volvo an autonom fahrenden LKWs. [36] Mercedes (Daimler) will am Ende der 2020er-Jahre autonom fahrende LKWs in Serie produzieren. [37]

Eine Arbeit des Future Agenda Limited aus dem Jahre 2020 in London sieht autonom fahrende LKW in Europa im Jahre 2030 als möglich an und geht von einem Betrieb dieser in den Vereinigten Staaten von Amerika und Australien aus. Platooning, also das computergestützte Hintereinanderfahren von LKWs, sei bereits 2030 in Europa Wirklichkeit. [38]

Eine Untersuchung in Schweden im Jahre 2019 nimmt fahrerlose LKW im Jahre 2025 mit einem Prozentsatz von 15% (Langstrecken) bzw. 10% (Verteilerstrecken) an, im Jahre 2040 mit 50%. [39] Diese Zahlen umfassen jedoch auch Konvois, in dem die hinteren LKWs autonom dem vorderen LKW folgen, und damit nicht nur zur Gänze allein verkehrende LKWs sind.

Eine Kombination der oben genannten Fakten lässt diese Arbeit folgende Prozentsätze an autonom fahrenden LKW annehmen:

- Status quo: 0%
- 2030: 5%
- 2040: 35%

3 ENTWICKLUNG DES STRAßENGÜTERVERKEHRS

Eine Vielzahl an Faktoren entscheidet über die Zu- oder Abnahme des Straßengüterverkehrs in der Zukunft. Neben Angebot, Nachfrage, Kosten, der Entwicklung anderer Verkehrsmittel usw. sind auch politische Instrumente mitbestimmend. Für die Berechnung des Energie- und Ladebedarfes in den Jahren 2030 und 2040 ist eine Prognose für die Entwicklung des Straßengüterverkehrs bis zu diesen Jahren notwendig. Ziel dieses Kapitels ist die Beleuchtung der Möglichkeiten der Entwicklung des Straßengüterverkehrs für die Modellierung.

Drei verschiedene Prognosearten konnten eruiert werden: Die Verkehrsleistung des Straßengüterverkehrs kann sich steigern, gleichbleiben oder verringern.

3.1.1 Steigerung des Straßengüterverkehrs

Ein Rückblick auf die Transportleistungen auf Grundlage der Daten der Statistik Austria [40] der letzten Jahre zeigt zwar einen Anstieg des Straßengüterverkehrs, dieser flacht jedoch ab. In Abbildung 3-1 sind die Transportleistungen auf Österreichs Straßen von 2019 bis 2022 abgebildet. Zusätzlich wurde eine lineare Extrapolation vorgenommen, die eine lineare Weiterentwicklung nach 2022 in Bezug auf 1 Jahr (2021), 3 Jahre (2019), 4 Jahre (2018) und 6 Jahre (2016) bis 2030 zeigt. Eine Erkenntnis daraus ist, dass mit kürzer werdendem Betrachtungszeitraum die Steigung der Linearen sinkt. Dies zeugt von einem immer weniger starken Anstieg der Transportleistung.

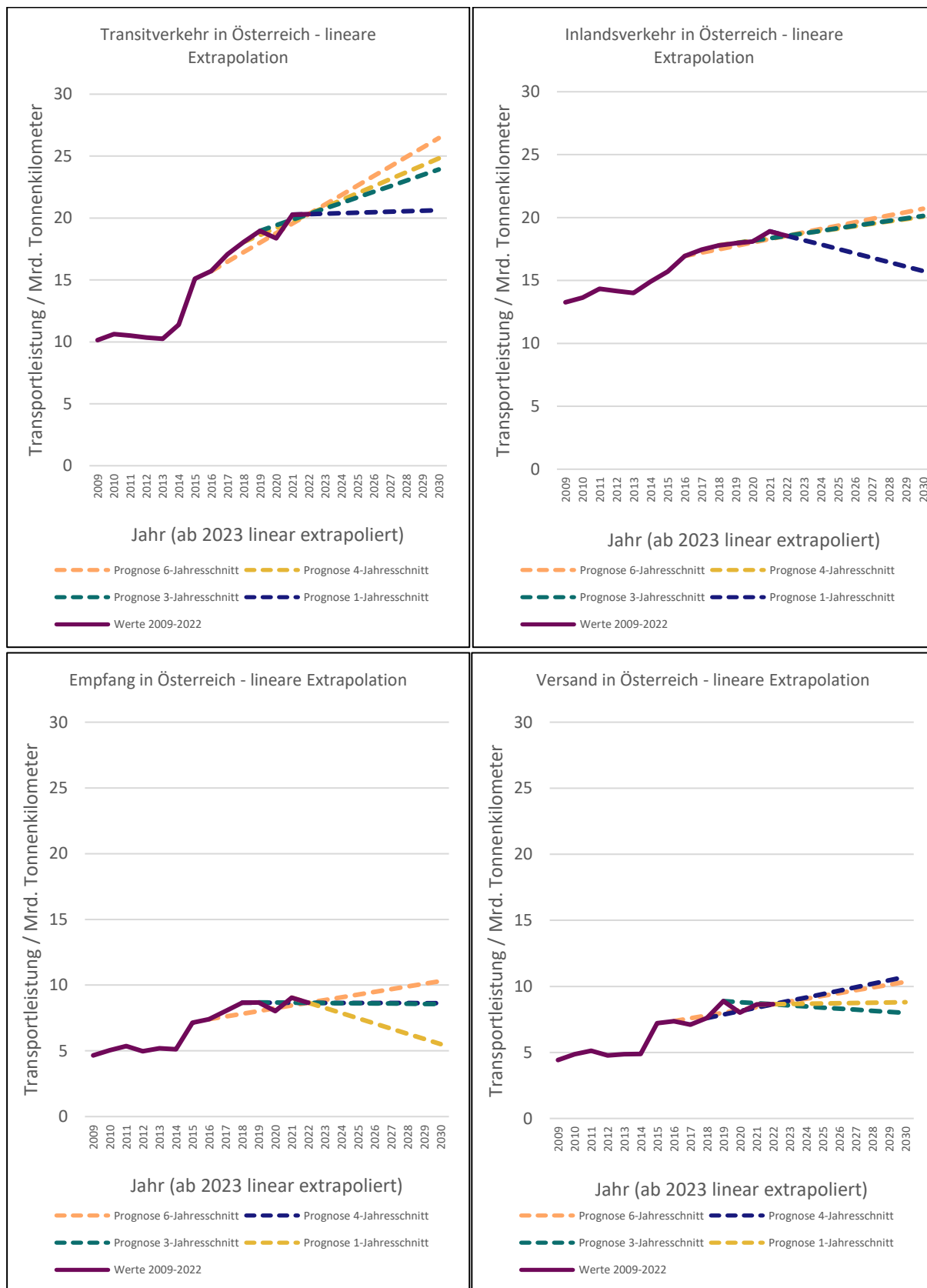


Abbildung 3-1: Extrapolation der Transportleistung auf Grundlage verschiedener Zeiträume. Transportleistungsdaten von 2009 bis 2022 von der Statistik Austria. Auswertung und Graphik: Eigenes Werk.

Der ITF Transport Outlook 2023 der OECD [41] geht im „Current Ambition“-Szenario in Europa von einem Wachstum der Transportleistung um +18,4% bis zum Jahre 2030 und +43,4% bis zum Jahre 2040 verglichen mit 2019 aus. Es sei erwähnt, dass in jedem Szenario durchschnittlich 10% mehr Ladungsgewicht im Jahre 2025 und 25% mehr im Jahre 2040 verglichen mit 2019 angenommen werden. Das senkt die Anzahl der Fahrten, die für dieselben Tonnen an Gütern in Anspruch genommen werden müssten.

Das EU Reference Scenario 2020 beschreibt eine Entwicklung von +28% im Jahre 2030 und +44% im Jahre 2040 bezogen auf 2022 für Österreich. [42] Da die Studie nur das Jahr 2020 anführt, ist eine entsprechende Adaptierung der Werte mit mittlerweile vorliegenden Werten von 2022 durchgeführt worden.

Eine Studie aus dem Jahre 2021 von der Wirtschaftsuniversität Wien (WU) geht ebenso von einem Wachstum aus. 2040 würden im wahrscheinlichsten Szenario 49% (+26,5 Mrd. tkm) mehr an Tonnenkilometer auf der Straße zurückgelegt werden. Bei Einhaltung eines Anteils des Schienenverkehrs am Modal Split von 40% würde der Straßengüterverkehr um 21% wachsen. [43]

3.1.2 Gleichbleiben des Straßengüterverkehrs

Um die Klimaziele zu erreichen, geht das Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) von einer Entkopplung des Anstieges des Güterverkehrs vom Wirtschaftswachstum aus. Im Mobilitätsmasterplan 2030 setzt man sich Klimaneutralität im Verkehrssektor im Jahre 2040 zum Ziel. Die Entkopplung von Güterverkehrsaufkommen, Wirtschaftswachstum und Treibhausgasemissionen soll durch Verlagerung auf andere Verkehrsmittel (z. B. Bahn), Vermeidung (z. B. bessere Logistik) und Verbesserung (z. B. elektrischer Antrieb) vollbracht werden. Tatsächlich ist das Bruttoinlandsprodukt (BIP) von 1995 bis 2020 um 44% gestiegen, die Transportleistung des Güterverkehrs um 72%. Um die Klimaziele nach dem vorgegebenen Pfad zu erreichen, müsste bei einem Anstieg des BIPs um 40% von 2020 bis 2040 die Transportleistung des Güterverkehrs um nur 10% ansteigen. Auf 2018 gerechnet sind das 12 Mrd. Tonnenkilometer bis 2040. Der Straßengüterverkehr soll jedoch zugunsten anderer Verkehrsmittel nicht wachsen, sondern praktisch konstant bleiben. [3]

3.1.3 Verringerung des Straßengüterverkehrs

Konträr zur Zunahme des Straßengüterverkehrs steht eine Verringerung des Verkehrsaufkommens im Güterverkehr. Insbesondere in Hinblick auf die Klimaziele wird eine solche eingefordert.

Die Studie „Transition Mobility 2040“ führt Maßnahmenpakete an, mit welchem ein klimaneutraler Verkehrssektor in Österreich 2040 „realisierbar“ ist. Unter allen Annahmen wird eine Senkung der Güterverkehrsleistung um 3% bis 2040 gemessen an den Tonnenkilometern von 2020 errechnet. Der Straßengüterverkehr soll dabei zugunsten der Bahn sinken. Relevant für den Straßengüterverkehr sind dabei folgende Bedingungen/Entwicklungen: [44]

- Maximaler Anteil der im Verkehrssektor benötigten Energie an in Österreich produzierbaren Energie (109 PJ; ohne Flugverkehr)
- Mehr Auslastung im Güterverkehr
- Veränderung des Konsumverhaltens, welche zu weniger Transporten führt

- Sich steigende Verlagerung auf die Schiene
- Entkoppelung vom Wirtschaftswachstum

Da diese Arbeit in jedem Szenario von 100% batterieelektrischen Fahrzeugen des Straßengüterverkehrs ausgeht, sei erwähnt, dass die genannte Studie auch Wasserstoff-LKW und oberleitungsgespeiste Strecken für LKWs in Spezialfällen sowie eine bis 2040 fortschreitende Elektrifizierung annimmt. Die für diese Arbeit relevanten und eruierten Ergebnisse der Studie sowie die selbst daraus errechneten Werte sind in Tabelle 3-1 zusammengefasst:

Tabelle 3-1: Änderungen im Straßengüterverkehr gemäß [44] sowie eigene Berechnungen unter der Prämisse, dass die österreichischen Klimaziele erreicht werden.

	Änderung zu 2022	Modal Split			Änderung im Straßengüterverkehr
		Straße	Bahn	Schifffahrt	
2022	-	69%	28%	3%	-
2030	-0,7%	66%	31%	3%	-5,0%
2040	-2,2%	62%	34%	3%	-12,1%

4 SZENARIENDEFINITION

Für die Berechnungen in der Modellierung ist die Festlegung von Parametern und Rahmenbedingungen notwendig. Der technische Fortschritt in Bezug auf Reichweite führt zu einem anderen Verbrauch und einer anderen Reichweite für die Jahre 2030 und 2040. In jedem Szenario wird stets von einem zu 100% elektrisch betriebenen Güterverkehr ausgegangen. Die Parameter werden in Tabelle 4-1 dargestellt.

Tabelle 4-1: Übersicht der Parameter in den verschiedenen Zeithorizonten.

Zeithorizont	Verbrauch	Reichweite	Autonomes Fahren	Ladetechnik
	<i>kWh/km</i>	<i>km</i>	<i>%</i>	-
Status quo	1,34	330	0%	
2030			5%	volle Ladung in 45 min
	1,05	500		
2040			35%	

Im Szenario „Status quo“ wird mit einem Verbrauch von 1,34 kWh/km gerechnet und einer Reichweite von 330 km. Sollte diese Reichweite in einer Ladung in 45 min geladen werden, bräuchte man dafür in etwa 590 kW an Ladeleistung. Für Ladungen, in denen die restliche Strecke, die kürzer als 330 km ist, geladen werden muss, reichen geringere Ladeleistungen. Die geforderten Ladeleistungen sind technisch möglich. Für die Jahre 2030 und 2040 werden 700 kW für 500 km in 45 min benötigt. Im Rahmen dieser Arbeit sind demnach durch die Ladeleistungen keine Einschränkungen gegeben.

Den Klimazielen stehen die aktuellen Entwicklungen entgegen, weshalb jeweils zwei Szenarien für 2030 und 2040 angenommen werden. Einerseits eine Zunahme des Straßengüterverkehrs („Verkehrszunahme“) und andererseits „Klimaschutz“. Im Szenario „Klimaschutz“ wird die Annahme verfolgt, dass politische, gesellschaftliche, technische und wirtschaftliche Maßnahmen gesetzt werden, welche die Transportleistung des Straßengüterverkehrs sinken lassen.

Die Aufteilung in die Verkehrsbereiche wird angenommen, wobei besonders bei „Klimaschutz“ das Potential der Verlagerung auf die Schiene im Transitbereich berücksichtigt wurde. In „Verkehrszunahme“-Szenarien wird eine gleichmäßige Steigerung erwartet, da zwar der Inlandsverkehr in den letzten Jahren anteilmäßig verloren hat, eine Verlagerung und Vermeidung von Langstreckentransporten dennoch auch in diesem Szenario eine Rolle spielen und eher in den Verkehrsbereichen Empfang, Versand und Transit zu finden sind. Die Werte sind in Tabelle 4-2 dargestellt.

Tabelle 4-2: Annahmen der Entwicklung des Straßengüterverkehrs in den Verkehrsbereichen in den Szenarien für 2030 und 2040 bezogen auf 2022. Quelle: eigene Annahme auf Grundlage genannter Literatur.

Jahr	Verkehrs- entwicklung	Verkehrsbereich			
		Inlandsverkehr	Empfang/Versand	Transit	insgesamt
		<i>Mrd. tkm</i>	<i>Mrd. tkm</i>	<i>Mrd. tkm</i>	<i>Mrd. tkm</i>
2020		18,1	16,0	18,4	52,5
2022	Status quo	18,6	17,3	20,3	56,2
2030	Klimaschutz	-2,5%	-4,7%	-7,5%	-5,0%
	Verkehrszunahme	+30,0%	+30,0%	+30,0%	+30,0%
2040	Klimaschutz	-5,0%	-9,5%	-15,0%	-10,0%
	Verkehrszunahme	+40,0%	+40,0%	+40,0%	+40,0%

5 NUTZERVERHALTEN

Um herauszufinden, wann Ladebedarfe gegeben sind, haben alle Bundesländer mit Ausnahme Wiens, Niederösterreichs und Kärntens für diese Arbeit Daten zu den Straßenverkehrszählstationen übermittelt. Alle ausgewerteten Bundesländer gaben ihre Daten für die Untersuchung unentgeltlich weiter. In den vorliegenden Daten kann über einen Zeitraum von zumeist einem Jahr für jede Stunde an jeder der insgesamt über 650 vorliegenden Straßenzählstationen in beide Fahrtrichtungen eine Anzahl der vorbeifahrenden LKW-ähnlichen Fahrzeuge genannt werden.

5.1 Methodik

Ausgehend von den Daten der Straßenzählstationen soll in einem ersten Schritt die durchschnittliche Verkehrsbelastung durch den gesamten Verkehr und den Schwerverkehr pro Stunde abgebildet werden. Aus der Änderung des Verkehrs soll auf die aus dem Verkehr scheidenden Fahrzeuge des Schwerverkehrs geschlossen werden. Das Ergebnis dieses Schrittes beschreibt die Nachfrage nach Ladungen. Dem wird im Anschluss ein Demand-Side-Management hinzugefügt.

An dieser Stelle sei erwähnt, dass die Daten der Straßenzählstationen grundsätzlich nicht zwischen Güterverkehr und Schwerverkehr, der auch beispielweise Feuerwehren beinhaltet, unterscheidet. Dennoch wird vom Schwerverkehr direkt auf den Güterverkehr geschlossen.

5.1.1 Verkehrsbelastung über den Tag

Über eine automatisierte Auswertung kann für jedes Bundesland eine Graphik erstellt werden, in der ersichtlich ist, wie sich die Verkehrslast über den Tag verteilt. Dabei wird aufgrund der Datenmenge auf eine automatisierte Auswertung über Python zurückgegriffen. Vorrangig war hierbei die Formatierung der unterschiedlich vorliegenden Daten auf eine gemeinsam auszuwertende Struktur. Alle Werte einer Dauerzählstation werden dabei für beide Fahrtrichtungen summiert und die Tage den Kategorien „Sonn- und Feiertag“, „Samstag“ oder „Werktag“ zugeordnet. Im nächsten Schritt werden alle Werte einer Uhrzeit für alle Tage einer Kategorie addiert und durch die Anzahl der Tage dividiert, um eine Vergleichbarkeit zwischen den Kategorien herzustellen.

Für die Erstellung der Graphiken zum zeitlichen Verlauf der Verkehrsbelastung wird der größte Werte des Verkehrs mit allen Fahrzeugen (KFZ) eruiert und alle Werte durch diesen dividiert, damit Bundesländer über normalisierte Werte vergleichbar sind. Auch die Werte des Schwerverkehres (SV) werden durch das Maximum des Verkehrs aller Fahrzeuge dividiert.

Der Anteil des Schwerverkehres am gesamten Verkehr variiert in den einzelnen Bundesländern stark. Als Beispiel seien Oberösterreich und das Burgenland genannt: In Oberösterreich erreicht der kurze (=ohne Anhänger) Schwerverkehr werktags einen maximalen auf den Gesamtverkehr normalisierten Wert von in etwa 0,0009, während man im Burgenland in derselben Kategorie auf über 0,025 kommt. Dies hat zur Folge, dass die Achsen der Graphiken auf den jeweils höchsten Wert beschränkt werden, um den zeitlichen Verlauf nachvollziehen zu können. Je nach Datenlage im jeweiligen Bundesland wird der Schwerverkehr als Schwerverkehr gesamt oder unterteilt in kurzen und langen Schwerverkehr (mit oder ohne Anhänger) gewertet und abgebildet.

Die erhaltenen Daten der einzelnen Bundesländer sind sehr umfangreich. Die Auswertung der Daten zeigte, dass der Durchschnitt schon ab etwa 10% der Zählstationen gut dargestellt werden kann. Aufgrund der Datenmenge sind Ausfälle einzelner Stationen für das Ergebnis nicht relevant. Die Ausfälle beschränkten sich zumeist auf maximal eine Stunde in einem Jahr, nur im Burgenland und in Vorarlberg musste die Auswertung von einzelnen Stationen mangels Daten ausgesetzt werden.

Für das Burgenland und Vorarlberg lagen die Werte für 2023 vor, bei allen anderen Bundesländern wurden die Werte aus dem Jahre 2022 verarbeitet. Es handelt sich bei den für diese Auswertung relevanten Teilen um 8760 Werte pro Jahr (dies entspricht einem Wert pro Stunden) für die Kategorien „alle Fahrzeuge“ und „Schwerverkehr“ in zwei Fahrrichtungen bei über 650 vorliegenden Dauerzählstationen. Das entspricht bei Miteinrechnung der Werte für den langen und kurzen Schwerverkehr in manchen Bundesländern über 23 Mio. Werten, um die österreichische Verkehrsintensität auf Bundesländerebene abzubilden. Für die Bundesländer, aus denen keine Daten übermittelt wurden, wird der Durchschnitt der ausgewerteten Bundesländer herangezogen, wobei diese nach deren Energiebedarf gewichtet wurden.

5.1.2 Veränderung

Relevant für diese Arbeit ist, wann der Ladebedarf gegeben ist. Dieser tritt ein, wenn der Schwerverkehr weniger intensiv ist, weil die Fahrzeuge aufhören zu fahren bzw. eine Pause machen. Diese Änderung wird durch Differenzen zwischen Stunden errechnet.

Ausgehend von den normalisierten Daten der Verkehrszählstationen wird für jede Stunde eine Differenz zur Stunde davor gebildet. Ein positiver Wert zeigt hier die absolute Zunahme des Verkehrs in normalisierten Werten, ein negativer eine Abnahme. Da es auch hier je nach Anteil des Schwerverkehrs am Gesamtverkehr zu unterschiedlichen Werten kommt, die um Zehnerpotenzen voneinander abweichen, sind die Skalen der Graphiken nicht einheitlich.

5.1.3 Ladezeiten und Demand-Side-Management

Da eine Auswertung der Veränderungen der Verkehrslast durch den Schwerverkehr möglich ist, kann durch diese auch auf die Nachfrage nach Ladungen über den Tag rückgeschlossen werden. Ein steigender Schwerverkehr ist ein Indikator für weniger LKWs an Ladestationen und in Depots, wenn man von einer vollständigen Elektrifizierung des Schwerverkehrs ausgeht. Abnehmender Verkehr ist nach selber Logik ein Indikator für einen Ladebedarf. Durch eine Invertierung der Veränderung des Schwerverkehrs und einer Verschiebung, die das Minimum auf Null setzt, wird so auf eine Ladelastkurve geschlossen.

Die vorangehende Methodik konnte auf die Bundesländer, für welche Straßenzählstationenwerte vorlagen, angewandt werden. Für die restlichen Bundesländer wird ein Durchschnitt der ausgewerteten Bundesländer mit Gewichtung nach deren Energiebedarf erstellt.

Die Bedarfsspitze ergibt sich in den Abendstunden rund um 18:00 Uhr. Zu diesem Zeitpunkt ist in Österreich bereits eine Bedarfsspitze im Stromnetz vorhanden. Eine Addition zu dieser ist weder im Sinne des Stromnetzes, welches hier bereits die größte Belastung erfährt, noch im Sinne der Wirtschaftlichkeit, da Strompreise in den Abendstunden bei steigender Nachfrage und sinkender Photovoltaikerzeugung zumeist Tageshöchstwerte erreichen. Da der Schwerverkehr im großen Maßstab erst in den Morgenstunden beginnt, wird für Abend- und Nachtstunden ein österreichweites Demand-Side-Management modelliert.

Diese Arbeit greift für die Bewertung, wann ein Strombezug aus Überlegungen bezüglich des Netzes und des Strompreises Sinn macht, auf die Leistungswerte der österreichischen Pumpspeicherkraftwerke zurück. Pumpspeicherkraftwerke produzieren Strom bei gegebener Nachfrage und daraus folgendem Preis, während sie Wasser für die spätere Verstromung bei geringen Preisen und wenig Last hochpumpen. Eine Auswertung der Einspeicherung und Stromerzeugung der Pumpspeicher zeigt Abbildung 5-1. Die Bedarfsspitzen zu Mittag und am Abend sind werktags klar durch die höchsten Werte der Stromproduktion, aber auch an Sams-, Sonn- und Feiertagen durch geringere Einspeicherung um die Mittagszeit sowie Produktion in den Abendstunden ersichtlich. Die Nachfrage- und Preisentwicklung in der Nacht erlaubt es, dass Pumpspeicherkraftwerke ab ca. Mitternacht bis zwischen 4:00 und 5:00 Uhr Strom durch Hochpumpen von Wasser Energie speichern.

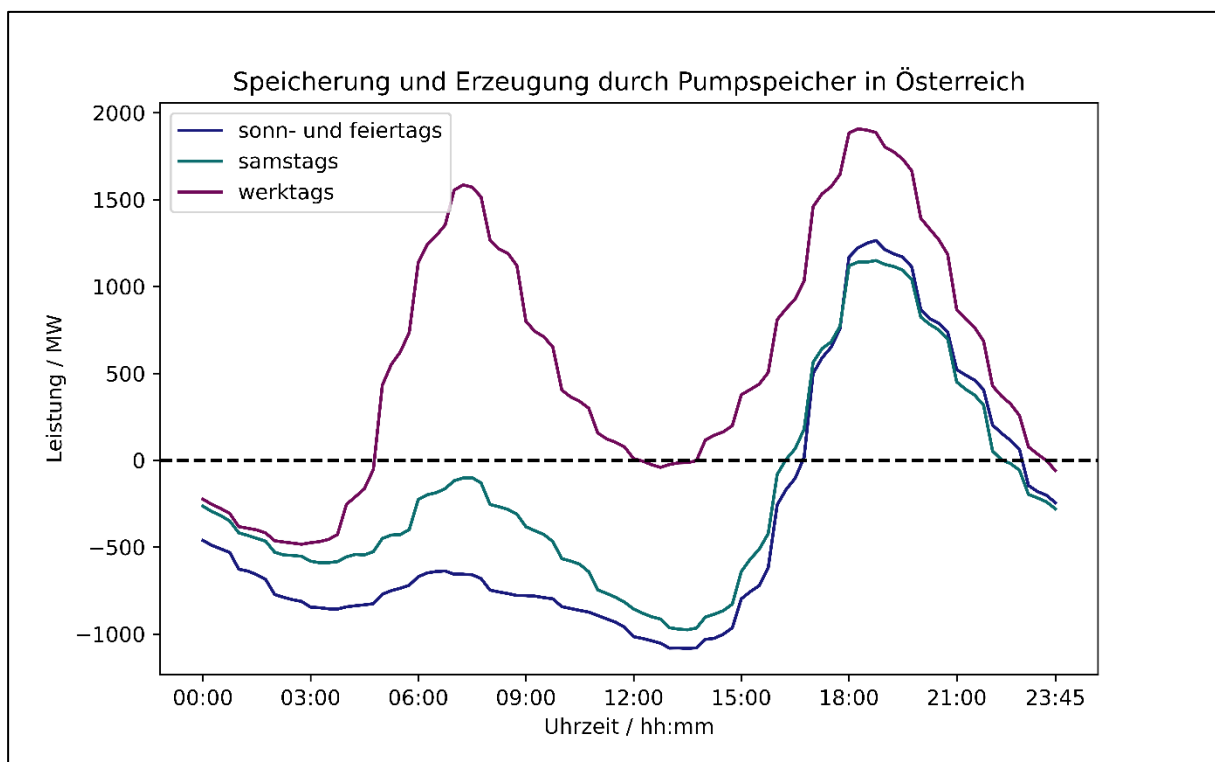


Abbildung 5-1: Einspeicherung und Stromerzeugung durch Pumpspeicher in Österreich aufgeschlüsselt auf Werktage, Samstag sowie Sonn- und Feiertage im Jahre 2023. Quelle der Daten: 15-min-Erzeugungswerte der Austrian Power Grid, Auswertung und Graphik: Eigenes Werk.

Diese Tatsachen werden zur Modellierung des Demand-Side-Managements herangezogen. Von 16:00 bis 5:00 Uhr wird nicht nach der beschriebenen Methodik der Lastkurvenveränderung vorgegangen, sondern im Sinne des Stromnetzes und der Wirtschaftlichkeit die Lastkurve durch eine Invertierung der Erzeugungs- und Speichercurve der Pumpspeicherkraftwerke modelliert.

Das Integral unter der sich aus der Verkehrsveränderung ergebenden Lastkurve beschreibt einen Energiebedarf. Der Energiebedarf in einer Zeit, in der ein Demand-Side-Management die Ladungen bestimmt, muss derselbe sein wie ohne Demand-Side-Management. Entsprechend gilt als Bedingung für die Änderung der Lastkurve mit einem Demand-Side-Management, dass die Integrale der Kurven zwischen 16:00 und 5:00 Uhr sowohl ohne als auch mit Demand-Side-Management gleich groß sein müssen. Dies kann durch eine Skalierung gewährleistet werden, diese muss jedoch auf zwei Teilen unterschiedlich wirken. Aufgrund der Tatsache, dass die Produktion von Strom in etwa viermal so hoch ist

wie die Einspeicherung, würden sich sonst keine passenden Skalierungsfaktoren finden. Ebenso stellen die relativ gesehen hohen Steigerungen und Abfälle der Leistung vor und nach Mitternacht Herausforderungen dar. Damit es hier der Skalierung wegen zu keinen Spitzen kommt, wird im Übergang linear interpoliert. Folgende Schritte wurden zur Modellierung des Lastganges für das Demand-Side-Management angewendet:

- Invertierung der Erzeugungs- und Speichercurve der Pumpspeicherkraftwerke an Werktagen
- Normierung der Kurve zwischen 0 und 1 durch Addition des größten Erzeugungswertes und Division durch die Summe der Absolutwerte des Minimums und Maximums der ursprünglichen Kurve
- Weitere Normierung, sodass der Wert um 16:00 Uhr in der Kurve derselbe ist wie durch die Ladelastkurve davor
- 1. Abschnitt (16:00-23:30 Uhr): keine weitere Änderung
- 2. Abschnitt (23:30-01:30 Uhr): lineare Interpolation für alle 15 min zwischen 23:30 und 01:30 Uhr
- 3. Abschnitt (01:30-5:00 Uhr): Skalierung der Werte, um insgesamt dieselbe Fläche unter der Kurve zu erhalten wie unter der Ladelastkurve aufgrund der Änderung des Verkehrs
- Berechnung einer linearen Funktion um die Differenz zwischen dem Werten der Ladelastkurve und der skalierten Kurve um 5:00 Uhr zu schließen
- Addition der Werte der linearen Funktion zu jedem Zeitpunkt zu jedem Wert
- Wiederholung aller Vorgänge mit verschiedenen Skalierungsfaktoren, um die Differenzen zwischen den Integralen möglichst gering zu halten.

Durch dieses numerische Verfahren kann eine Ladelastkurve mit Einbeziehung eines Demand-Side-Managements, wie es sich aufgrund von Netz, Belastung und Strompreis ergibt errechnet werden. Auch für die Kategorien „samstags“ und „sonn- und feiertags“ werden die Pumpspeicherkurven von „werktags“ verwendet.

Die erhaltene Lastkurve ersetzt im Bereich von 16:00 bis 5:00 Uhr die Ladelastkurve, die aus der Straßenverkehrszählung erhalten werden konnte. Das gesamte Integral dieser neuen Ladelastkurve wird auf 1 normiert, um bei Multiplikation mit dem Energiebedarf eines Bezirkes oder Bundeslandes die Leistungen der jeweiligen Stunden zu erhalten.

5.1.4 Zukünftiger Ladebedarf

Es wird im Nutzerverhalten bis in die Jahre 2030 und 2040 grundsätzlich nicht von einer Änderung ausgegangen. Einzig die autonom fahrenden Fahrzeuge werden eine Änderung verursachen.

Da autonom fahrende Fahrzeuge nicht an Arbeitszeiten gebunden sind, wird ihr Anteil am Transportaufkommen auf den gesamten Tag gleichmäßig in dieser Arbeit verteilt. Je nach Anteil der autonom fahrenden Fahrzeuge im betrachteten Zeithorizont wird die Grundlast um diesen Anteil erhöht.

5.2 Auswertung und Ergebnisse

Wird die beschriebene Methodik auf die Daten angewandt, ergibt sich eine Kurve, die die Nachfrage an Ladungen inklusive Demand-Side-Management wiedergibt. Bei der Eruiierung des Ladebedarfes kommt diese dann zum Einsatz.

5.2.1 Verkehrsbelastung

Die einzelnen Auswertungen aller Bundesländer finden sich im Anhang (Kapitel 0). Hier sei beispielhaft das Bundesland Salzburg und dessen normalisiertes Verkehrsaufkommen in Abbildung 5-2 abgebildet. Wie bei allen Bundesländern ist der Werktagsverkehr jener mit dem größten Verkehrsaufkommen, gefolgt vom Samstagsverkehr und schließlich dem Sonn- und Feiertagsverkehr.

Klare Spitzen lassen sich werktags in der Früh und am späten Nachmittag erkennen. Zwischen 6:00 und 9:00 Uhr treten stets die Frühspitzen des Verkehrs zur Arbeit, Schule, Universität etc. auf, die höchsten Werte sind jedoch immer zwischen 15:00 und 18:00 Uhr im Rückverkehr zu beobachten.

Der Samstagsverkehr zeichnet sich durch eine spätere und einmalige Spitze kurz vor der Mittagszeit aus. In einigen Bundesländern (wie z.B. Salzburg) kommt es samstags zur Mittagszeit sogar zu einem stärkeren Verkehr als zur selben Zeit an Werktagen. Bis zum Abend hin gleichen sich die Werte des Samstagsverkehrs stets dem Sonn- und Feiertagsverkehr an.

An Sonntagen beginnt der Verkehr später und erreicht im Durchschnitt in keinem Bundesland das Niveau von Werk- oder Samstagen. Ein Abfall des Verkehrsaufkommens ist an Sonntagen um die Mittagszeit zu beobachten, danach wird über den Nachmittag zumindest das Niveau des Vormittages erreicht, zumeist sogar überboten.

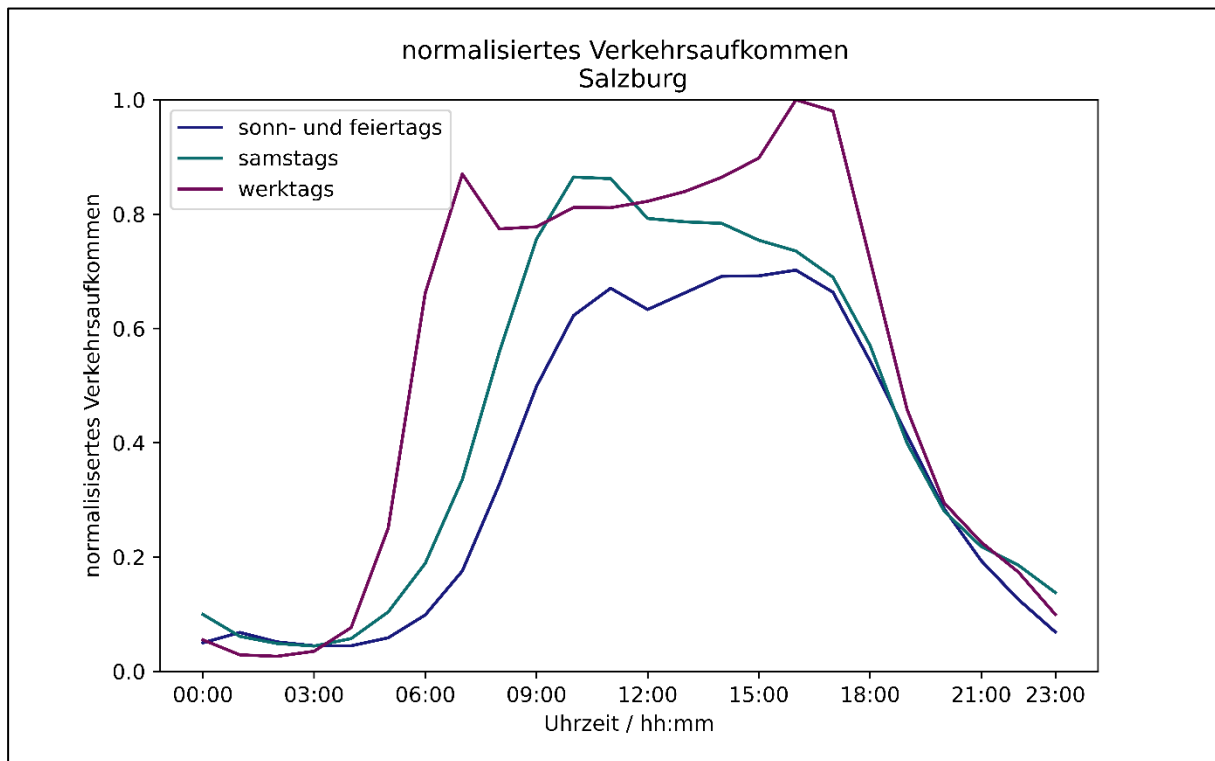


Abbildung 5-2: Normalisiertes Verkehrsaufkommen aller Fahrzeuge im Bundesland Salzburg im Jahre 2022 in den Kategorien "sonn- und feiertags", "samstags" und "werktags". Quelle der Daten: Land Salzburg, Auswertung und Graphik: eigenes Werk.

Relevant für diese Arbeit ist vor allem der Schwerverkehr. Der zeitliche Verlauf der Verkehrsbelastung durch den Schwerverkehr ist in Abbildung 5-3 dargestellt. Allen voran sei erwähnt, dass der Schwerverkehr in allen Bundesländern normalisiert auf den höchsten Wert aller verkehrenden Fahrzeuge nie den Wert 0,1 übersteigt und somit nur einen Bruchteil des Verkehrsaufkommens ausmacht. Dennoch verhält er sich anders als der Verkehr der übrigen Fahrzeuge.

Der Schwerverkehr baut sich werktags, wie der übrige Verkehr, zwar stets in der Früh innerhalb weniger Stunden auf, bleibt dann jedoch vergleichsweise konstant mit leichten Steigerungen am frühen Vormittag und einem konstanten Abfall am späten Vormittag zum Mittagstief. Anschließend steigt der Schwerverkehr am Nachmittag wieder, wobei er die Intensität des Vormittages nicht wieder erreicht. Ein konstantes Abfallen am Nachmittag zieht sich bis in die Abendstunden hin. In der Nacht ist mit weniger als einem Zehntel der Verkehrsleistung tagsüber zu rechnen.

An Samstagen beginnt analog zum allgemeinen Verkehr der Schwerverkehr später. Das Verkehrsaufkommen liegt unter einem Drittel des Schwerverkehres im Vergleich zu Werktagen. Ab den Vormittagsstunden nimmt der Verkehr stets ab und gleicht sich dem Sonntagsverkehr an. Der Sonntagsverkehr ist im Vergleich zum Samstagsverkehr zumeist nur halb so intensiv. Die sonntags verkehrenden Schwerverfahrzeuge verteilen sich gleichmäßig auf die Zeit zwischen 9:00 und 18:00 Uhr. Der geringere Verkehr an Wochenenden und Feiertagen lässt sich durch Fahrverbote erklären. Eine genauere Erläuterung zu diesen Einschränkungen findet sich im Punkt 5.3.

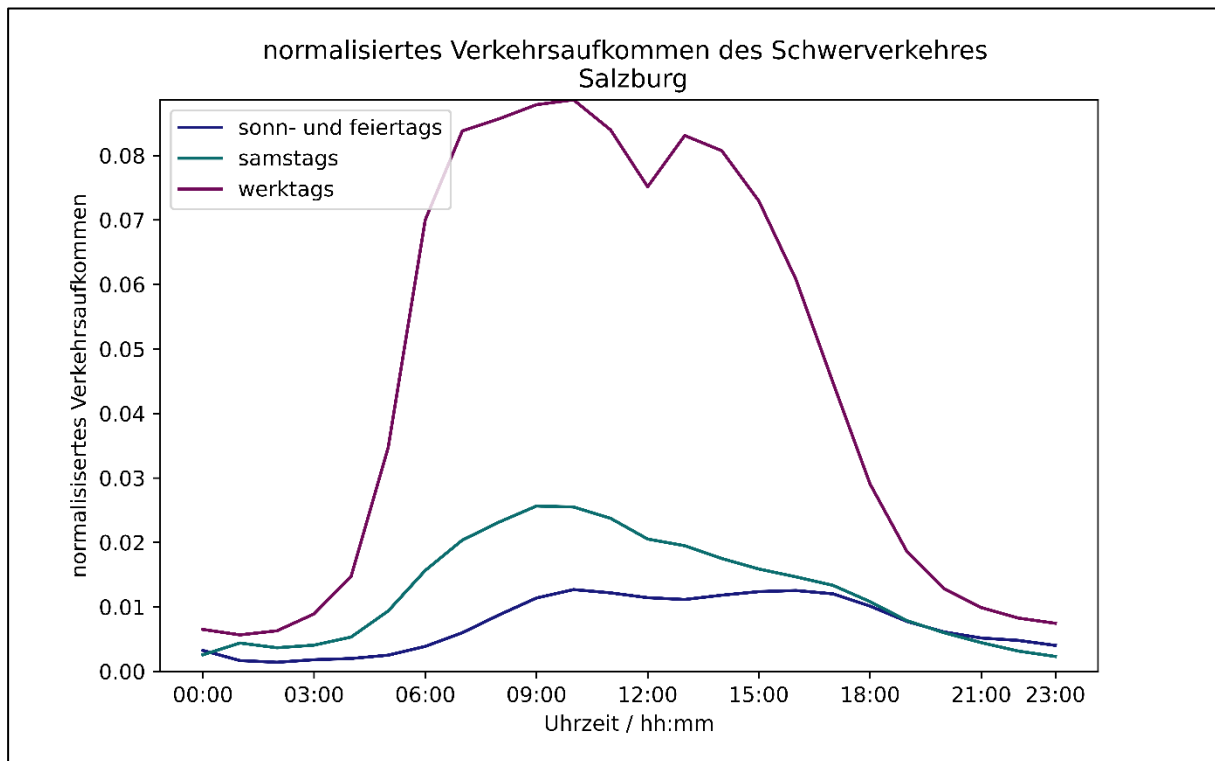


Abbildung 5-3: Normalisiertes Verkehrsaufkommen des Schwerverkehres im Bundesland Salzburg im Jahre 2022 in den Kategorien "sonn- und feiertags", "samstags" und "werktags". Quelle der Daten: Land Salzburg, Auswertung und Graphik: eigenes Werk.

5.2.2 Veränderung

Aus den Ergebnissen aus 0 erkennt man Zeiträume, an denen sich der Schwerverkehr konzentriert (werktags untertags) und an denen er weniger intensiv (nachts, wochenends, feiertags) ist. In Abbildung 5-4, Abbildung 5-5 und Abbildung 5-6 sind die Ergebnisse der Berechnung der Veränderung der Verkehrsbelastung in den Kategorien „werktags“, „samstags“ und „sonn- und feiertags“ am Beispiel Tirol dargestellt. Weitere Abbildungen zu den anderen Bundesländern sind im Anhang zu finden.

Abhängig vom Wochentag entwickelt sich der Verkehr zwischen 00:00 und 03:00 Uhr unterschiedlich. An Werktagen ist er konstant, an Samstagen sinkt er zu Beginn und steigt dann wieder an, während der Verkehr sonntags zwischen 00:00 und 03:00 Uhr stets abnimmt.

Nach 3:00 Uhr ist in allen Kategorien von Wochentagen eine Zunahme des Verkehrs zu beobachten. Diese Zunahme selbst steigert sich auch und erreicht je nach Kategorie um etwa 6:00 Uhr (werk- und samstags) oder etwa 9:00 Uhr (sonn- und feiertags) ihr Maximum.

Nach dem Maximum der Zunahme steigert sich der Verkehr weniger. Werktags bleibt der Verkehr ab 8:00 Uhr konstant. An Samstagen nimmt die Zunahme gegen Mittag so weit ab, dass es zu einer Abnahme des Schwerverkehres kommt. An Sonntagen verändert sich um Mittag der Schwerverkehr nicht mehr.

Im Werktagsverkehr kommt es zu einer Abnahme zu Mittag und einer Zunahme nach Mittag. Ab den Nachmittagsstunden nimmt der Verkehr bis zum nächsten Tag ab. Der stärkste Rückgang passiert zwischen 16:00 und 19:00 Uhr. An den Samstagen nimmt der Verkehr ab Mittag ab und tut dies am stärksten zu Mittag, im Bereich um 15:00 Uhr und am Abend zwischen 18:00 und 20:00 Uhr. An Sonntagen

kommt es zur Abnahme des Verkehrs ab in etwa 16:00 Uhr, der stärkste Rückgang ist ab 17:00 bis 21:00 Uhr zu beobachten.

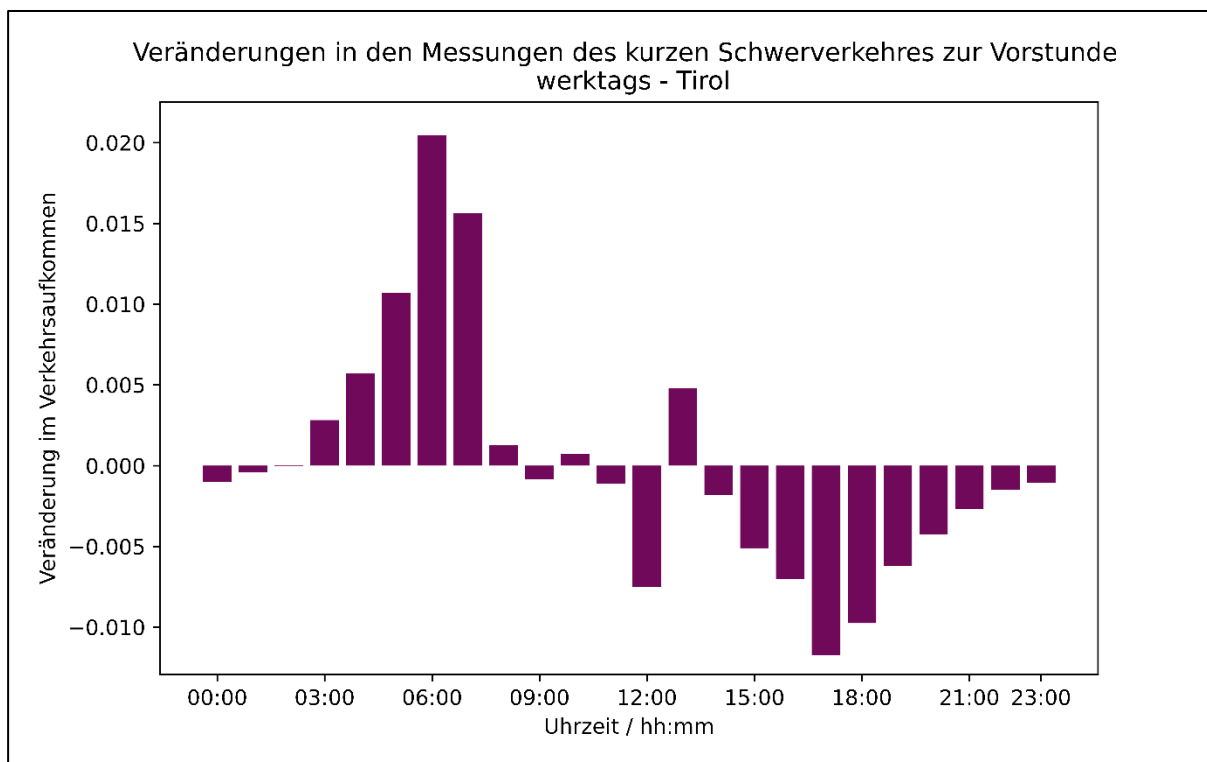


Abbildung 5-4: Zu- und Abnahme des kurzen Schwerverkehres in Tirol an Werktagen im Vergleich zur Vorstunde. Quelle der Daten: Land Tirol, Auswertung und Graphik: eigenes Werk.

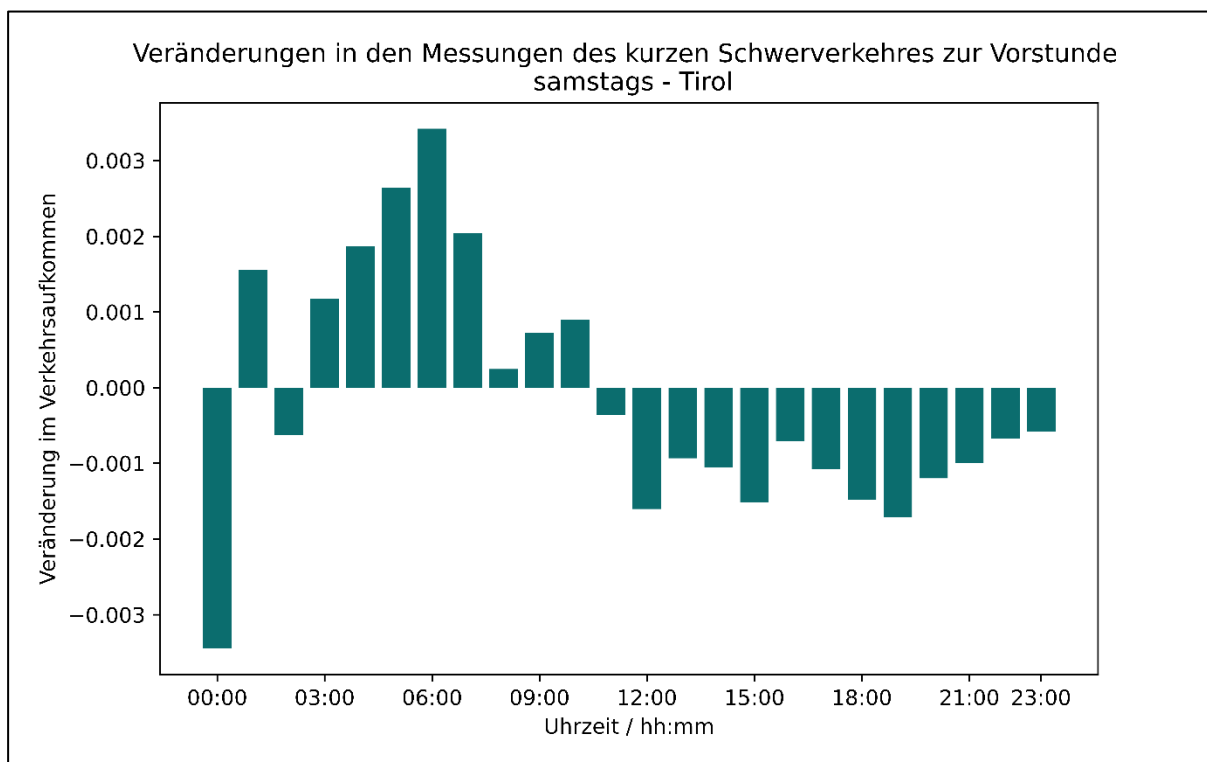


Abbildung 5-5: Zu- und Abnahme des kurzen Schwerverkehres in Tirol an Samstagen im Vergleich zur Vorstunde. Quelle der Daten: Land Tirol, Auswertung und Graphik: eigenes Werk.

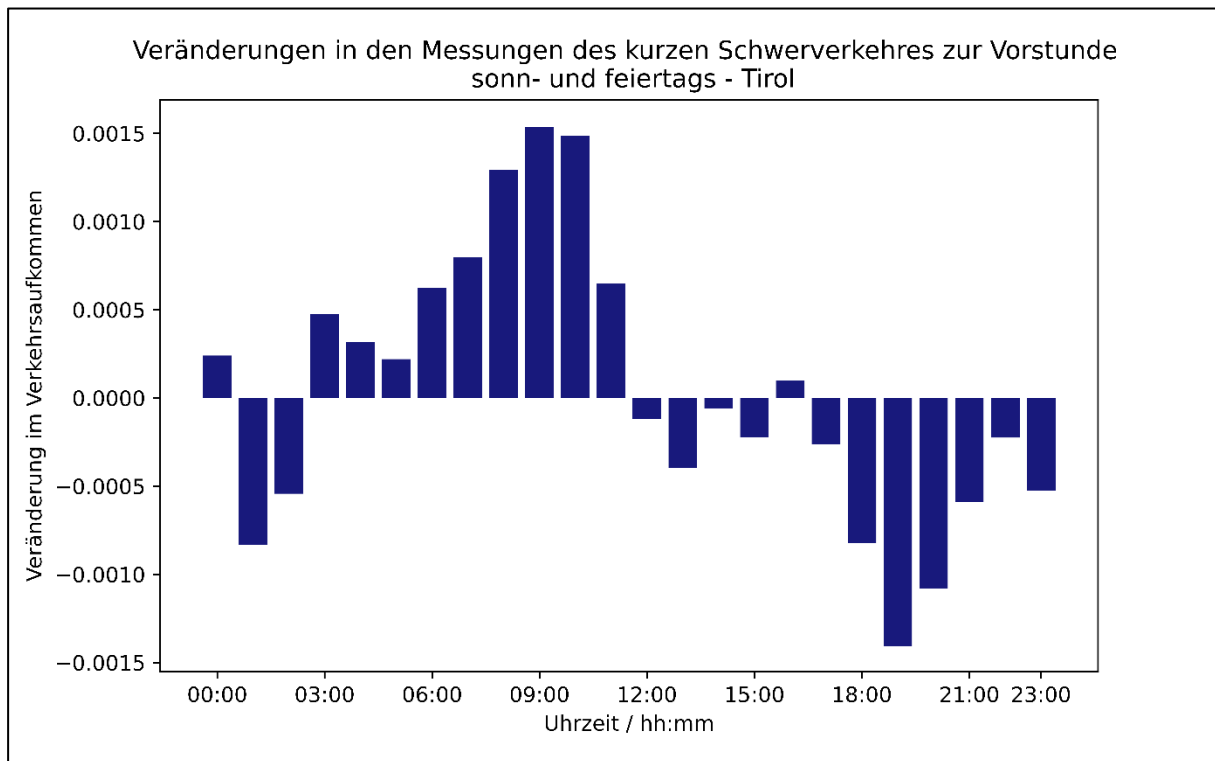


Abbildung 5-6: Zu- und Abnahme des kurzen Schwerverkehres in Tirol an Sonn- und Feiertagen im Vergleich zur Vorstunde. Quelle der Daten: Land Tirol, Auswertung und Graphik: eigenes Werk.

5.2.3 Ladezeiten

Die beschriebene Methodik wurde auf die Bundesländer, die Daten der Straßenzählstationen vorgelegt haben, angewandt. Auf die restlichen Bundesländer wurde gewichtet nach Energiebedarf rückgeschlossen. Sämtliche Ladelastkurven finden sich im Anhang.

In Abbildung 5-7 ist die Ladelastkurve für Oberösterreich an Werktagen dargestellt. Es zeigt sich eine Mittagsspitze nach nur wenig Ladebedarf am Vormittag. Am späteren Nachmittag würde sich ohne Demand-Side-Management eine Abendspitze ergeben, die jedoch in der Modellierung zu Gunsten des Netzes und der Wirtschaftlichkeit erst um Mitternacht einsetzt und um ca. 3:00 Uhr ihren Höhepunkt erreicht. Innerhalb von drei Stunden wird dann der niedrigste Wert erreicht. Zum Vergleich sind in Abbildung 5-8 die skalierten Ladelastkurven für Samstage sowie Sonn- und Feiertage abgebildet. Sie unterscheiden sich im Einsetzen des höheren Ladelastbedarfs und dem Erreichen der Spitzen, wobei an Sonntagen diese später einsetzen als an Samstagen.

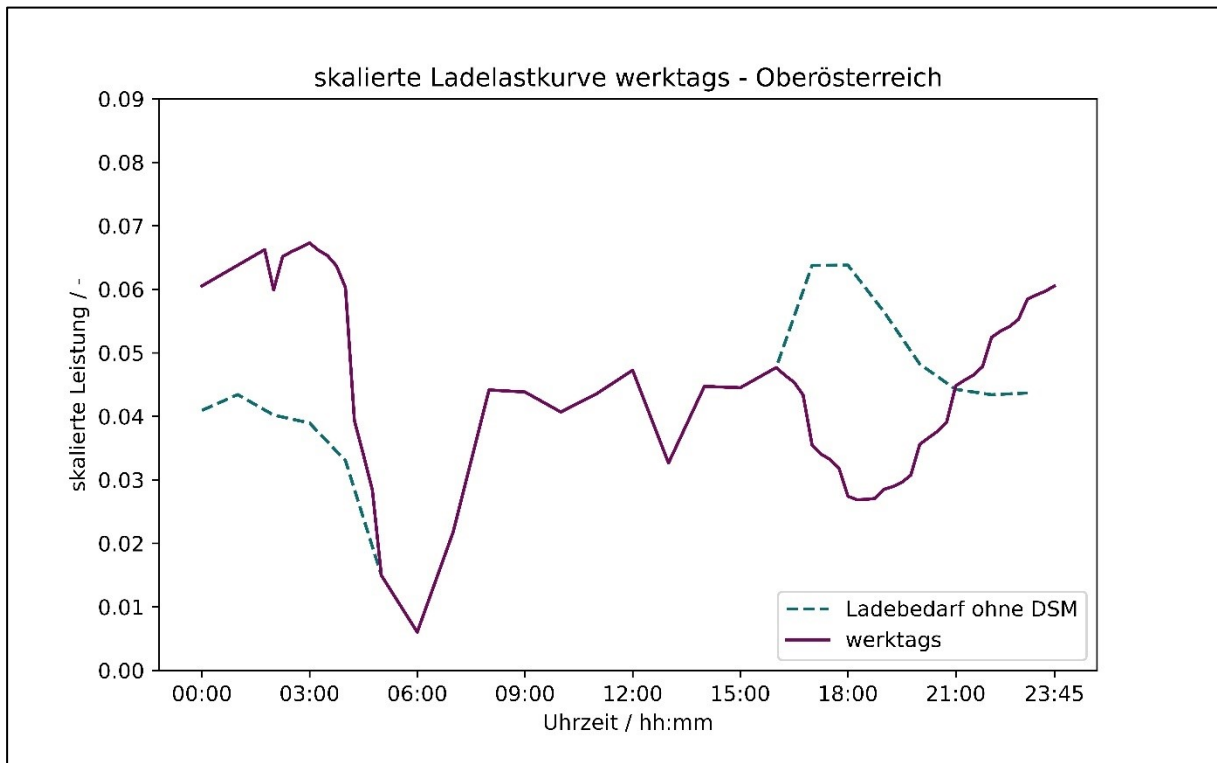


Abbildung 5-7: Ladelastkurve für den elektrifizierten Schwerverkehr in Oberösterreich mit Demand-Side-Management zwischen 16:00 und 5:00 Uhr werktags, skaliert auf eine Gesamtfläche unter der Kurve von 1. Eigenes Werk.

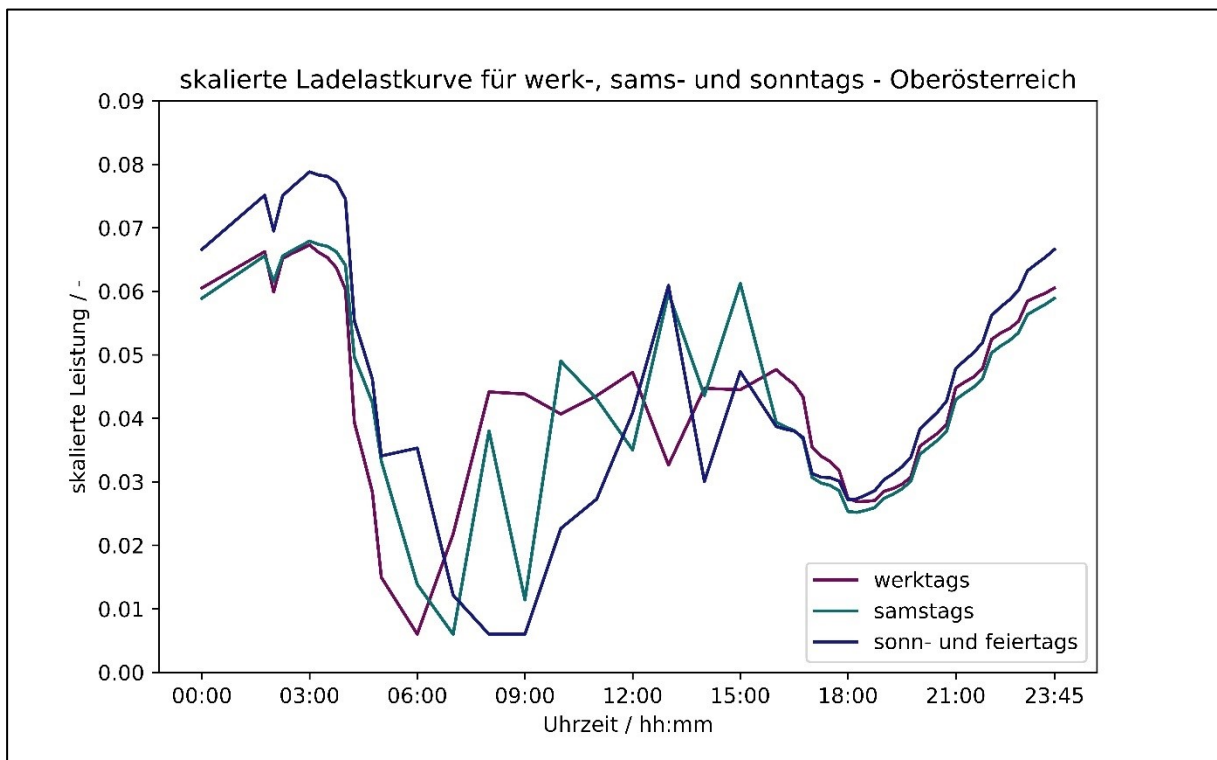


Abbildung 5-8: Ladelastkurve für den elektrifizierten Schwerverkehr in Oberösterreich mit Demand-Side-Management zwischen 16:00 und 5:00 Uhr für jede Kategorie von Tagen, skaliert auf eine Gesamtfläche unter der Kurve von 1. Eigenes Werk.

5.2.4 Zukünftiger Ladebedarf

Die Nachfrage des Ladebedarfes in den Jahren 2030 und 2040 ändert sich durch autonom fahrende Fahrzeuge, weil die Ladung von autonom fahrenden E-LKWs sich gleichmäßig über den gesamten Tag verteilt. Gemäß den Annahmen dieser Arbeit verursachen autonom fahrende E-LKW im Jahr 2030 eine Grundlast, die 5% der Gesamtlast ausmacht. Im Jahre 2040 macht die Grundlast durch autonom fahrende E-LKW 35% der Gesamtlast aus.

5.3 Gesetzliche Fahrtunterbrechungen und Fahrverbote

Um den geringeren Schwerverkehr an Wochenenden und Feiertagen zu erklären, ist eine Betrachtung der gesetzlichen Vorgaben notwendig. Zudem gilt es herauszufinden, wie viele Wochen-, Sams-, Sonn- und Feiertage ein Jahr hat. Weiters werden vorgegebene Pausen für Zwischenladungsmöglichkeiten eruiert.

Aus mehreren Gründen wurde der LKW-Verkehr mit Beschränkungen und Regelungen belegt. Unter anderem zu nennen ist die Verkehrssicherheit, die durch Pausen und Ruhezeiten gewährleistet werden soll. Des Weiteren sind es auch Rechte von Fahrzeuglenkern, die so Anspruch auf Ruhezeiten haben. Außerdem sind auch Interessen von Anrainern von stark frequentierten Straßen durch gesetzliche Eingriffe geschützt.

5.3.1 Fahrtunterbrechungen und tägliche Lenkdauer

Lenker von Nutzfahrzeugen haben nach der EU-Verordnung Nr. 561/2006 gemäß Artikel 7 nach 4,5 h eine Fahrtunterbrechung von zumindest 45 min zu machen. [45] Diese Arbeit geht bei Fahrten, die länger als 330 km sind, von einer solchen Pause aus. Zudem geht diese Arbeit davon aus, dass die Ladeinfrastruktur eine Nutzung dieser Pausen für eine Zwischenladung für die restliche Strecke ermöglicht.

Die maximale tägliche Fahrtzeit beträgt nach selbiger Verordnung (EU-VO 561/2006 Art. 6 Abs. 1) 9 h, wobei diese zweimal wöchentlich auf 10 h ausgedehnt werden kann. Die Ruhezeit zwischen den Fahrtzeiten hat gemäß Art. 4 lit. g mindestens 9 h zu betragen. [45] Eine vollständige Ladung nachts, die kürzer ist als die Ruhezeit, ist damit flexibel in Start und Ende.

Die Ruhezeiten und Fahrtunterbrechungen sind an den Lenker gebunden. Durch Mehrfahrerbetrieb oder bei Inanspruchnahme von Transportleistungen durch Fähren oder die Bahn bewegt sich der LKW trotz Fahrtunterbrechung weiter, ohne Zwischenladung. [45] Diese besonderen Umstände sind nicht in der Modellierung berücksichtigt, bilden sich jedoch in dem zugrundeliegenden statistischen Nutzerverhalten ab.

Die Regelung zur 45-min-Fahrtunterbrechung gilt laut Verordnung bzw. laut daraus folgender Lenker/innen-Ausnahmereverordnung nicht für folgende Fahrzeuge (Auswahl) [45, 46]:

- LKWs zur Lieferung von frischem Beton
- Milchsammelfahrzeuge
- Fahrzeuge zur Hausmüllsammlung
- Spezialfahrzeuge zum Geld- und Werttransport
- Schneeräumfahrzeuge
- Bundesheerfahrzeuge
- Feuerwehren

- Rettungen oder Transporte der humanitären Hilfe
- Fahrzeuge, die im Umkreis von 100 km des Standortes des Unternehmens Material, Ausrüstung oder Maschinen, die der Fahrer zur Ausübung seines Berufes benötigt und dies nicht seine Haupttätigkeit darstellt, transportieren.

Weiters gelten auch Regelungen des Arbeitszeitgesetzes AZG in Österreich für die Lenker von Kraftfahrzeugen. Dieser Umstand ist in der Modellierung nicht direkt, sondern über die Daten der Straßenzählstationen berücksichtigt.

5.3.2 Fahrverbote

Der Gesetzgeber in Österreich legt Zeiten fest, in denen der Verkehr von Nutzfahrzeugen weitgehend eingeschränkt wird.

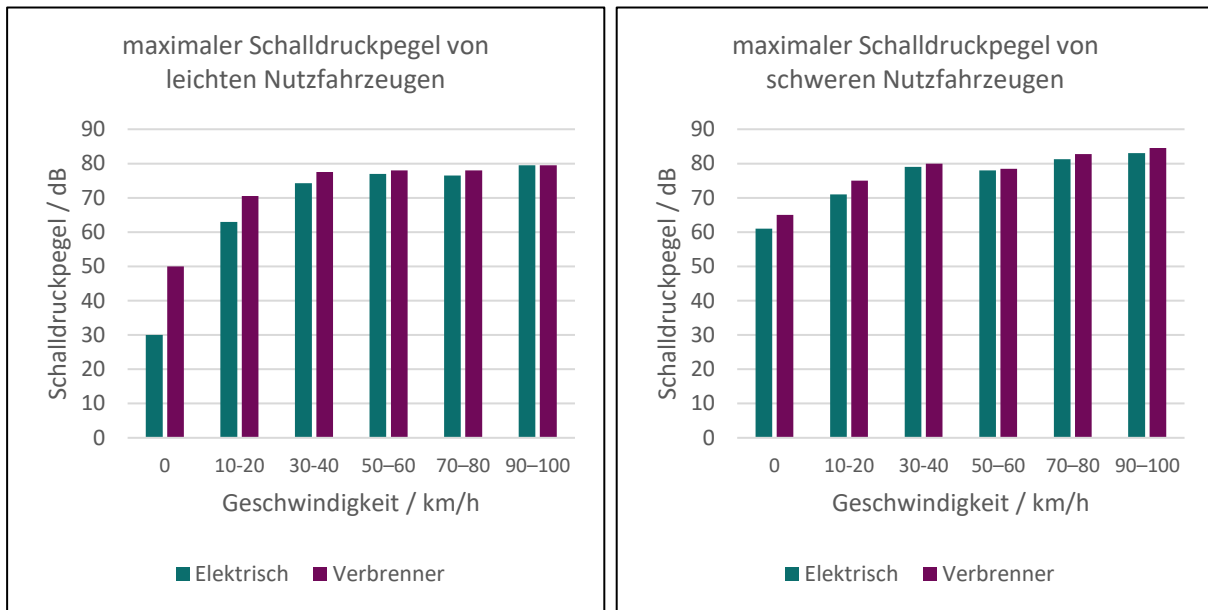
Nachtfahrverbot

Lastkraftfahrzeuge mit einem höchstzulässigen Gesamtgewicht von 7,5 t sind von einem Nachtfahrverbot von 22:00 Uhr bis 5:00 Uhr betroffen. Ausgenommen von dieser Regelung sind Fahrten im Kombinierten Verkehr, Fahrten des Straßendienstes und des Bundesheeres sowie von lärmarmen LKWs gemäß KDV 1967 § 8b Abs. 4. Für diese Ausnahmen gilt eine maximale Geschwindigkeit von 60 km/h. [47]

E-LKWs, welche bei einer Motorleistung größer 150 kW leiser als 80 dB sind, sind nach der Bestimmung im KDV 1967 §8b vom Nachtfahrverbot ausgenommen. [48] Der eActros 300 von Mercedes (Daimler) erreicht laut Herstellerangaben nur einen Schalldruckpegel von 60 dB bei 20 km/h. [49] Daten zur Geräusentwicklung bei 60 km/h liegen nicht vor, jedoch befindet sich abhängig von mehreren Faktoren im Bereich um 60 km/h der Punkt, bei dem bei LKWs mit Verbrennungsmotor das Reifen-Fahrbahngeräusch überwiegt. [50]

Da Elektromotoren leiser sind als Verbrennungsmotoren, sind sie im Bereich unter 60 km/h entsprechend leiser und könnten so in Ortsgebieten als lärmärmere Variante eingesetzt werden. Die KDV 1967 macht jedoch keinen Unterschied zwischen Ortsgebieten, Landstraßen und höherem Straßennetz. Dementsprechend geht diese Arbeit nicht von einem grundsätzlichen LKW-Verkehr in der Nacht aufgrund leiserer Motoren aus. Die Nutzung autonom fahrender Nutzfahrzeuge in der Nacht wird in 2.4 genauer betrachtet.

Der sich mindernde Unterschied in der Geräusentwicklung zwischen E-LKWs und LKWs mit Verbrennungsmotoren ist in Abbildung 5-9



ersichtlich. Für diese Arbeit sind dabei nur die schweren Nutzfahrzeuge (>3,5 t hzG) von Bedeutung. Bei diesen ist der Unterschied zwischen E-LKW und Verbrenner-LKW bei sämtlichen Geschwindigkeiten geringer als bei leichten Nutzfahrzeugen.

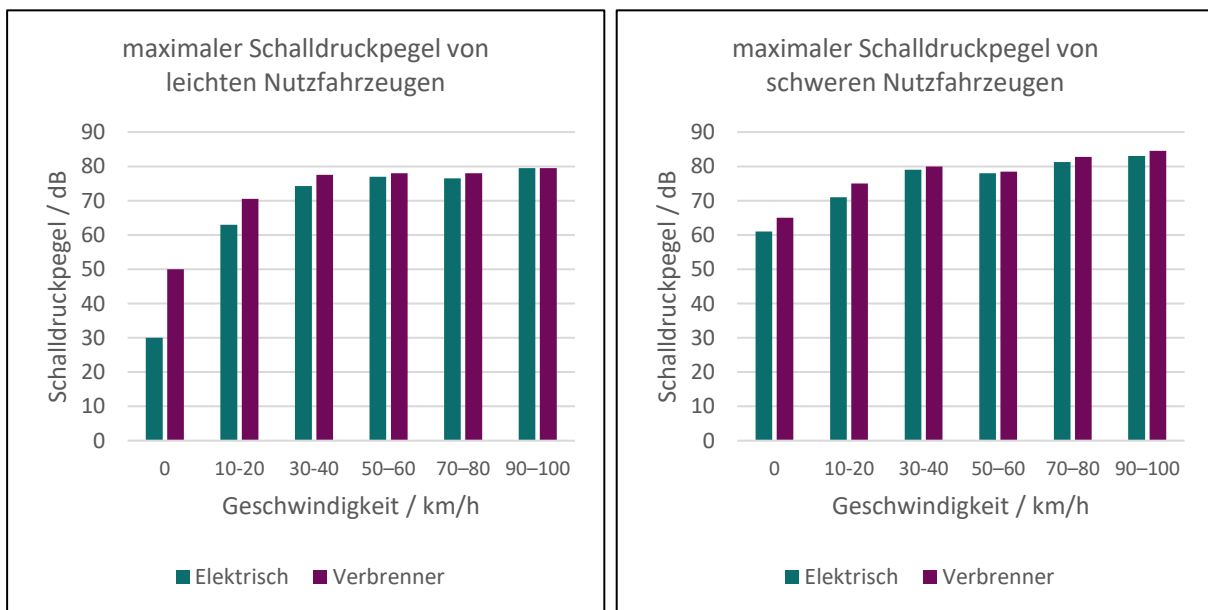


Abbildung 5-9: Schalldruckpegel im Vergleich zwischen Elektro- und Verbrenner-LKWs (leichte und schwere Nutzfahrzeuge). Eigenes Werk auf Grundlage der Daten von [45]

Wochenend- und Feiertagsfahrverbot

Für LKW mit einem höchstzulässigen Gesamtgewicht über 7,5 t oder einem Anhänger, wobei dieser oder der LKW ein höchstzulässiges Gesamtgewicht über 3,5 t hat, gilt ein Verbot von Fahrten an allen Samstagen ab 15:00 Uhr bis Montag um 5:00 Uhr. [47] Das Verbot setzt sich aus nahtlos übergehenden Verboten an Samstagen von 15:00 Uhr bis 24:00 Uhr, an Sonntagen von 0:00 Uhr bis 22:00 Uhr und dem Nachtfahrverbot von 22:00 Uhr bis 5:00 Uhr des Folgetages zusammen.

Die Regelung für Sonntage gilt auch für alle anderen gesetzlichen Feiertage. Da Feiertage abhängig vom Jahr an anderen Wochentagen fallen, wurden Tabelle 5-1 und Tabelle 5-2 erstellt:

Tabelle 5-1: Wochentage der gesetzlichen Feiertage in Österreich in Nicht-Schaltjahren und Summe der an nicht Sonntagen fallenden Feiertage und Summe der Samstage der Varianten.

Feiertag	Datum	Wochentag in Nicht-Schaltjahren						
Neujahr	1. Jänner	MO	DI	MI	DO	FR	SA	SO
Heiligen Drei Könige	6. Jänner	SA	SO	MO	DI	MI	DO	FR
Ostermontag	variierend	MO	MO	MO	MO	MO	MO	MO
Staatsfeiertag	1. Mai	DO	FR	SA	SO	MO	DI	MI
Christi Himmelfahrt	variierend	DO	DO	DO	DO	DO	DO	DO
Pfingstmontag	variierend	MO	MO	MO	MO	MO	MO	MO
Fronleichnam	variierend	DO	DO	DO	DO	DO	DO	DO
Mariä Himmelfahrt	15. August	MI	DO	FR	SA	SO	MO	DI
Nationalfeiertag	26. Oktober	FR	SA	SO	MO	DI	MI	DO
Allerheiligen	1. November	DO	FR	SA	SO	MO	DI	MI
Mariä Empfängnis	8. Dezember	SA	SO	MO	DI	MI	DO	FR
Christtag	25. Dezember	DI	MI	DO	FR	SA	SO	MO
Stephanitag	26. Dezember	MI	DO	FR	SA	SO	MO	DI
Anzahl der Feiertage an Sonntagen		0	2	1	2	2	1	1
Anzahl der Feiertage an Samstagen		2	1	2	2	1	1	0
Anzahl der Samstage (auch Feiertage)		52	52	52	52	52	53	52
Anzahl der Sonntage (auch Feiertage)		52	52	52	52	52	52	53

Tabelle 5-2: Wochentage der gesetzlichen Feiertage in Österreich in Schaltjahren und Summe der an nicht Sonntagen fallenden Feiertage und Summe der Samstage der Varianten.

Feiertag	Datum	Wochentag in Schaltjahren						
		MO	DI	MI	DO	FR	SA	SO
Neujahr	1. Jänner	MO	DI	MI	DO	FR	SA	SO
Heiligen Drei Könige	6. Jänner	SA	SO	MO	DI	MI	DO	FR
Ostermontag	variierend	MO	MO	MO	MO	MO	MO	MO
Staatsfeiertag	1. Mai	FR	SA	SO	MO	DI	MI	DO
Christi Himmelfahrt	variierend	DO	DO	DO	DO	DO	DO	DO
Pfingstmontag	variierend	MO	MO	MO	MO	MO	MO	MO
Fronleichnam	variierend	DO	DO	DO	DO	DO	DO	DO
Mariä Himmelfahrt	15. August	DO	FR	SA	SO	MO	DI	MI
Nationalfeiertag	26. Oktober	SA	SO	MO	DI	MI	DO	FR
Allerheiligen	1. November	FR	SA	SO	MO	DI	MI	DO
Mariä Empfängnis	8. Dezember	SO	MO	DI	MI	DO	FR	SA
Christtag	25. Dezember	MI	DO	FR	SA	SO	MO	DI
Stephanitag	26. Dezember	DO	FR	SA	SO	MO	DI	MI
Anzahl der Feiertage an Sonntagen		1	2	2	2	1	0	1
Anzahl der Feiertage an Samstagen		2	2	2	1	0	1	1
Anzahl der Samstage (auch Feiertage)		52	52	52	52	53	53	52
Anzahl der Sonntage (auch Feiertage)		52	52	52	52	52	53	53

Aus diesen Tabellen kann die mittlere Anzahl der Feiertage, die nicht ohnehin auf einen Sonntag oder Samstag fallen, ermittelt werden. In einem Jahr kommt man auf 13 Feiertage. In Nicht-Schaltjahren sind es durchschnittlich 50,86 Samstage und ebenso viele Sonntage, die nicht an einem Feiertag fallen, in Schaltjahren sind es 51 Samstage und ebenso viele Sonntage. Gewichtet nach Nicht-Schaltjahren und Schaltjahren sind dies 50,9 Samstage bzw. Sonntage. In dieser Arbeit wird demnach mit 50,9 Samstagen und 50,9 Sonntagen sowie weiteren 13 Feiertagen gerechnet. Es bleiben 250,45 Werktage übrig.

Fahrverbote für gewisse Euro-Klassen

Fahrverbote in Oberösterreich (A1 Westautobahn vom Knoten Haid bis Enns Ost – Steyr), der Steiermark (Südsteiermark), weiten Teilen des Burgenlands, Niederösterreich (Wiener Umland), Wien und Tirol (A12 Inntalautobahn von Innsbruck bis Langkampfen) sind speziell auf LKW mit Motoren niedriger Euroklasse abgestellt. [51–56] E-LKWs sind von diesen Fahrverboten ausgenommen.

Während in allen anderen Gebieten Motoren der Klassen Euro III und höher reichen, verlangt Tirol von LKWs mit einem höchstzulässigen Gesamtgewicht von über 7,5 t oder LKWs mit Anhänger, bei denen die Summe das höchstzulässige Gesamtgewicht von 7,5 t übersteigt, einen Motor der Klasse Euro VI. [51] Um mit den in 5.2 erreichten Zahlen keine falsche Grundlage für Transportrouten von elektrisch betriebenen Nutzfahrzeugen für die Modellierung zu legen, muss bewiesen werden, dass die Fahrverbote für gewisse Euro-Klassen keine signifikante Auswirkung auf die Transportroutenwahl haben:

Die Mitgliedsstaaten des Europäischen Wirtschaftsraumes (EWR) lassen spätestens ab dem 1. September 2010 Nutzfahrzeuge grundsätzlich nur mehr mit Euro-V-Motor zur Typengenehmigung zu. Ab spätestens 1. September 2015 genehmigen die Mitgliedsstaaten nur mehr den Euro-VI-Motor bei der Typengenehmigung. [57] LKWs, die demnach im Jahre 2022 schon 7 Jahre alt waren und im EWR zugelassen wurden, haben mindestens einen Euro-VI-Motor.

Eine Auswertung von Daten der Statistik Austria für das Jahr 2022 zum Alter der LKWs [40], die in Österreich verkehren, ist in Abbildung 5-10 abgebildet. Es ist zu erkennen, dass die LKW mit potentiellen Euro-V-Motoren oder niedriger im Inlandsverkehr beinahe ein Drittel ausmachen (8 Jahre oder älter). Der internationale Verkehr mit Ziel oder Quelle in Österreich liegt da nur bei der Hälfte des Anteils der 8 Jahre alten oder älteren LKW des Inlandsverkehrs. Aufgrund dieses Sachverhaltes ist von gleich viel oder weniger Anteil beim Transitverkehr auszugehen. Durch die Datenlage lässt sich dies jedoch aufgrund des hohen Anteils an nicht bekannten Altern der LKW nicht beweisen. Dennoch lässt die Aufschlüsselung der Zulassungsländer der Transit-LKW in Österreich den Schluss nahe, dass aufgrund dessen, dass 91% der LKW im EWR zugelassen worden sind, mit einem mit Versand und Empfang vergleichbaren Wert gerechnet werden kann.

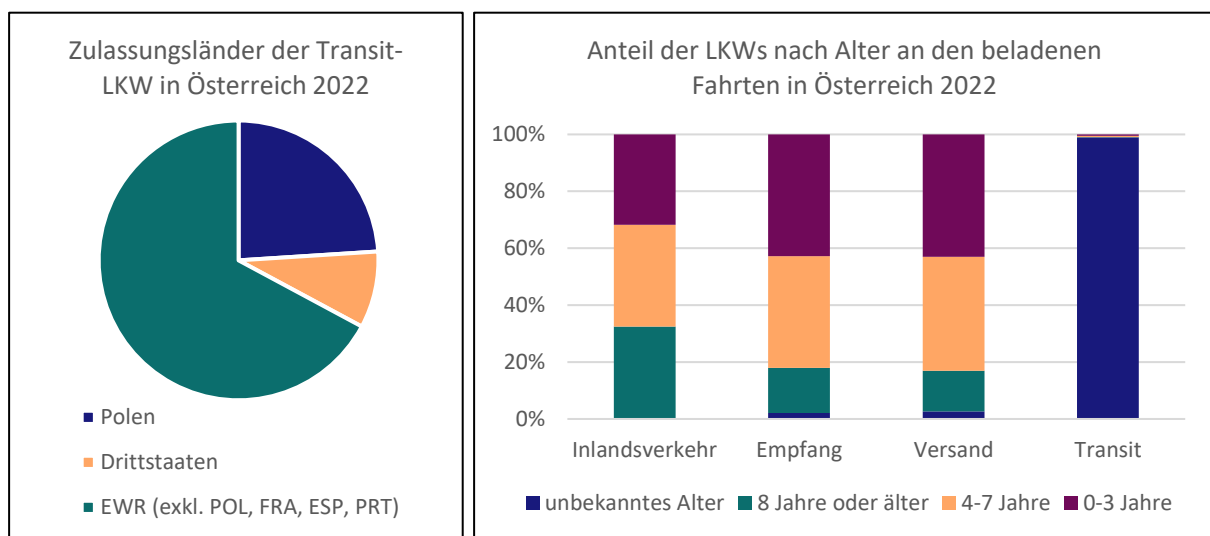


Abbildung 5-10: Alter der LKWs nach Verkehrsbereich und Zulassungsländer der Transit-LKWs im Jahre 2022 (keine Daten für FRA, ESP, PRT). Eigene Auswertung und Graphik auf Grundlage von Daten der Statistik Austria.

Die Fahrverbote für gewisse Euro-Klassen werden in der Modellierung nicht hinterlegt. Zum einen sind E-LKWs ohnehin davon ausgenommen. Zum anderen ist die Mehrheit der bereits im Jahre 2022 verkehrenden LKWs nicht von den Verboten betroffen und bringen daher in der statistischen Auswertung des Nutzerverhaltens keine Sondereffekte mit sich.

Weitere Beschränkungen

Weitere Beschränkungen könnten das höchstzulässige Gesamtgewicht des Fahrzeuges betreffen. Diese werden insofern in der Modellierung betrachtet, als dass sie im statistischen Nutzerverhalten vorkommen, da sie sowohl auf LKW mit Verbrennungsmotor als auch E-Motor zutreffen.

6 ERUIERUNG DES ENERGIEBEDARFES

Der Transportsektor in Österreich wird regelmäßig von der Statistik Austria statistisch beschrieben [4]. Über den StateCube können die Rohdaten, aber auch die verknüpften Daten eingesehen werden. Das Transportaufkommen und die Transportleistung auf der Straße sind dabei statistisch in fünf Verkehrsbereiche unterteilt:

- Inlandsverkehr: Transportfahrten, welche in Österreich starten und ein Ziel in Österreich haben.
- Empfang: Transportfahrten, welche außerhalb Österreichs starten und ein Ziel in Österreich haben.
- Versand: Transportfahrten, welche in Österreich starten und ein Ziel außerhalb Österreichs haben.
- Transit: Transportfahrten, welche außerhalb Österreichs starten, ein Ziel außerhalb Österreichs haben und dabei österreichisches Territorium befahren.
- Sonstiger Auslandsverkehr: Transportfahrten von in Österreich gemeldeten Fahrzeugen, welche außerhalb Österreichs starten, ein Ziel außerhalb Österreichs haben und nie österreichisches Territorium befahren.

Aus der Aufgabenstellung heraus ergibt sich, dass der letztgenannte Verkehrsbereich „sonstiger Auslandsverkehr“ für weitere Betrachtungen des Energiebedarfes für elektrisch betriebene Nutzfahrzeuge in Österreich nicht relevant ist. Dennoch wird er aufgrund der Methodik der Erhebung angegeben: Die Statistik Austria erhebt wie alle anderen Statistikbehörden der Europäischen Union das Transportaufkommen und die Transportleistung der Unternehmen des jeweiligen Mitgliedslandes. Dadurch umfassen die Rohdaten der Statistik Austria nur in Österreich zugelassene Fahrzeuge. Erst die Kombination mit den Daten anderer Länder macht eine Aussage zum Güterverkehr auf der Straße unabhängig vom Zulassungsland möglich. [4]

Die Statistiken folgen dabei dem einheitlichen System der Europäischen Union, die Österreich in verschiedene Ebenen einteilt. Entspricht NUTS-1 mehreren Bundesländern, stellt jede NUTS-2-Region in Österreich genau ein Bundesland dar. Eine NUTS-3-Region ergibt sich (zumeist) aus einer Zusammenfassung von Bezirken innerhalb eines Bundeslandes. Innerhalb der NUTS-3-Ebene ist die in dieser Arbeit vorwiegend betrachtete Einheit ein Bezirk, wobei ein Bezirk auch in zwei NUTS-3-Ebenen liegen kann. In dieser Arbeit sind Bezirke stets nur einer NUTS-3-Ebene zugeordnet. Bezirke können in Gemeinden unterteilt werden. Die Zuordnung sowie eine Übersicht über alle NUTS-2- und NUTS-3-Regionen sowie Bezirke liefern die Tabellen im Anhang (Tabelle 10-2, Tabelle 10-3, Tabelle 10-4, Tabelle 10-5) sowie beispielhaft für die Steiermark nachfolgend die Tabelle 6-1.

Tabelle 6-1: Einteilung der Steiermark in NUTS-3-Regionen und diesen zugeordneten Bezirken.

NUTS-2-Ebene Bundesländer	NUTS-3-Ebene zusammengehörige Bezirke	Bezirksebene	Kennziffer
Steiermark	Graz	Graz (Stadt)	601
		Graz-Umgebung	606
	Liezen	Liezen	612
		Östliche Obersteiermark	Leoben
	Bruck-Mürzzuschlag		621
	Oststeiermark	Weiz	617
		Hartberg-Fürstenfeld	622
	West- und Südsteiermark	Südoststeiermark	623
		Deutschlandsberg	603
		Leibnitz	610
	Westliche Obersteiermark	Voitsberg	616
		Murau	614
		Murtal	620

6.1 Inlandsverkehr

Transportfahrten, die in Österreich starten und ein Ziel in Österreich haben, gelten als Inlandsverkehr. Ein Beispiel hierfür ist eine Fahrt von Graz nach Klagenfurt. In diesem Falle ist der Energiebedarf eindeutig in Klagenfurt angesiedelt, da die Distanz zwischen Graz und Klagenfurt kleiner als 330 km ist und damit das Nutzfahrzeug die Energie nur im Depot des Zielortes bezieht bzw. die Batterie wieder auflädt.

Beispiele wie ein Transport von Eisenstadt nach Innsbruck zeigen einen komplexeren Sachverhalt. Nicht nur, dass die Strecke nicht mehr von einer vollen Ladung des LKWs geschafft werden kann, es befindet sich auch ein Teil der Strecke im Ausland, im konkreten Beispiel die Strecke über das deutsche Eck.

6.1.1 Vorgehensweisen und Annahmen

Ziel ist es, zwei Matrizen für den Energiebedarf des Inlandsverkehrs zu erhalten. Eine Matrix soll dabei den Energiebedarf für das Depotladen in jedem Bezirk angeben, die andere Matrix soll den Energiebedarf für das Laden an Ladesäulen auf der Strecke zwischen zwei Bezirken beziffern.

Grundlage für die Matrizen sind die Daten der Statistik Austria für das Jahr 2022 [58]. Die Statistik umfasst dabei nicht nur den Güterverkehr ab 3,5 t hzG, sondern bereits ab 2 t hzG. Da diese jedoch nur 1,71% ausmachen, werden sie vernachlässigt. Im ersten Schritt wird die Anzahl der Fahrten zwischen den NUTS-3-Regionen eruiert. Frei zugänglich sind die Daten der Statistik Austria mit der Anzahl der Fahrten von einer spezifischen NUTS-2-Region in eine andere spezifische NUTS-2-Region. Ebenso werden die Daten zur Anzahl der Fahrten von einer spezifischen NUTS-3-Region in ein spezifisches Bundesland sowie von einem spezifischen Bundesland in eine spezifische NUTS-3-Region verwendet. Nicht verfügbar ist die Anzahl der Fahrten von einer NUTS-3-Region in eine NUTS-3-Region, weshalb für diese Information die verfügbaren Daten umgelegt werden. Die Fahrten einer NUTS-3-Einladeregion in ein Bundesland werden dazu entsprechend dem Anteil der NUTS-3-Ausladeregion an den vom Einladebundesland kommenden

Fahrten aufgeteilt und so näherungsweise bestimmt. Den Sachverhalt erklärt die Gleichung 6-1 am Beispiel der Anzahl der Fahrten vom Murtal ins Mühlviertel.

$$n_{x \rightarrow y} \dots \text{Anzahl der Fahrten von } x \text{ nach } y \qquad \text{Gleichung 6-1}$$

$$n_{Murtal \rightarrow \text{Mühlviertel}} = \frac{n_{\text{Steiermark} \rightarrow \text{Mühlviertel}}}{n_{\text{Steiermark} \rightarrow \text{Oberösterreich}}} \cdot n_{Murtal \rightarrow \text{Oberösterreich}}$$

Das Ergebnis ist eine 35x35-Tabelle mit der Anzahl der Fahrten von jeder NUTS-3-Einladeregion in jede NUTS-3-Ausladeregion.

Welche Anzahl der Fahrten welchem Bezirk in der NUTS-3-Ebene zufällt, wird über die Anzahl der beschäftigten Personen in den Sektoren „Dienstleistungen für den Verkehr“ und „Post- und Kurierdienste“ im Jahre 2021 (nach ÖNACE 2008 für die „Abteilungen“ H52 und H53, Zensusjahr 2021, Standort der Betriebsstätten nach politischen Bezirken) [59] entschieden. Dazu wird der Anteil eines jeden Bezirkes an der Gesamtbeschäftigtenzahl der NUTS-3-Ebene berechnet. Weiters wird die Anzahl der Fahrten der NUTS-3-Einladeregion in eine NUTS-3-Ausladeregion mit dem Anteil eines Einladebezirkes multipliziert, um die Anzahl der Fahrten aus dem Einladebezirk in die NUTS-3-Ausladeregion zu erhalten. Durch weitere Multiplikation mit dem Anteil der Beschäftigten in den „Abteilungen“ des Ausladebezirkes an der Gesamtzahl der NUTS-3-Ausladeregion wird die Anzahl der Fahrten vom Einladebezirk in den Ausladebezirk abgeschätzt.

Es ergibt sich eine Tabelle mit 94 Zeilen und 94 Spalten für jeweils jeden Bezirk Österreichs und der dazugehörigen Anzahl der Fahrten von jeder Zeile in jede Spalte. Wien ist dabei als ein Bezirk gewertet. Die Gesamtsumme der Bezirkstabelle stimmt mit jener der Tabelle mit der Anzahl der Fahrten von jedem Bundesland in jedes Bundesland überein und schließt so Rechenfehler aus. Nullwerte ergeben sich durch zu geringe Werte in den Rohdaten, um auf statistisch signifikante Werte rückzuschließen.

Es folgt die Multiplikation jeden Wertes mit der Distanz, die zwischen den Bezirkshauptstädten liegt. Bei Fahrten innerhalb eines Bezirkes wird von 10 km ausgegangen. Bei Bezirken, die ihre Verwaltungsstadt umgeben, wird die Verwaltungsstadt herangezogen. Ein Beispiel hierfür ist der Bezirk Graz-Umgebung, welcher von Graz verwaltet wird. In gleicher Art und Weise wird für Rust das nahegelegene Eisenstadt herangezogen. Distanzen werden zwischen den geographischen Mittelpunkten der Gemeinden der Bezirkshauptstädte über das ORS Tool in QGIS entlang der Straßenverbindung berechnet.

Multipliziert man die Kilometer, die die Fahrzeuge aus diesem Bezirk zurücklegen mit dem Verbrauch in kWh/km, ergibt sich die Summe an Energie, die für das Depotladen in diesem Bezirk gebraucht wird. Je nach betrachtendem Szenario (Status quo, 2030, 2040) werden Kilometer ab einer gewissen Distanz nicht mehr dem Depotladen zugerechnet, weil auf der Strecke nachgeladen werden muss. Es wird davon ausgegangen, dass die Ladung auf der Strecke nur die Distanz der restlichen Strecke bis zum Entladepot umfasst.

6.1.2 Ergebnisse für das Szenario „Status quo“

Für den heutigen Stand der Technik werden 1,34 kWh/km sowie eine Reichweite von 330 km angenommen. Dies ergibt eine Gesamtsumme von 2,33 Mrd. km, die modelliert zurückgelegt werden, davon werden ca. 28 Mio. km jenseits von 330 km vom Einladebezirk gefahren. Die Statistik Austria spricht in ihrer Statistik „Fahrten im Straßengüterverkehr ab 2006“ [60] von 2,06 Mrd. km im Inlandsverkehr für das Jahr 2022, wobei aber nur in Österreich zugelassene Fahrzeuge in dieser Zahl berücksichtigt werden. Eine Abschätzung des Prozentsatzes, der nicht von in Österreich zugelassenen Fahrzeugen gefahrenen Kilometer kann über die verschiedene Transportleistung erfolgen. Laut der Statistik „Güterverkehr auf Österreichs Straßen“ [40] werden 8,5% der Tonnenkilometer im Jahre 2022 von nicht in Österreich zugelassenen Fahrzeugen befördert. Eine Erhöhung des Wertes der Statistik Austria um diesen Prozentsatz, bewirkt eine bleibende Abweichung des modellierten Wertes von +2,8% bezogen auf den modellierten Wert.

Insgesamt ergibt sich ein Energiebedarf für Depotladungen von E-LKWs 3088,7 GWh. Für das Laden an Ladesäulen auf der Strecke werden 37,25 GWh benötigt, wovon auch ein Teil in Bayern und Südtirol bezogen wird. In Abbildung 6-1 sind die Ergebnisse der Modellierung für das Depotladen aufgelöst für Bezirke dargestellt. Während inneralpine Bezirke weniger Energie benötigen würden, wäre der Verbrauch vor allem entlang der Donau sowie den wirtschaftlich stärkeren Regionen Österreichs wie Graz und Salzburg größer. Eine Auflistung der Einzelergebnisse findet sich im Anhang dieser Arbeit.

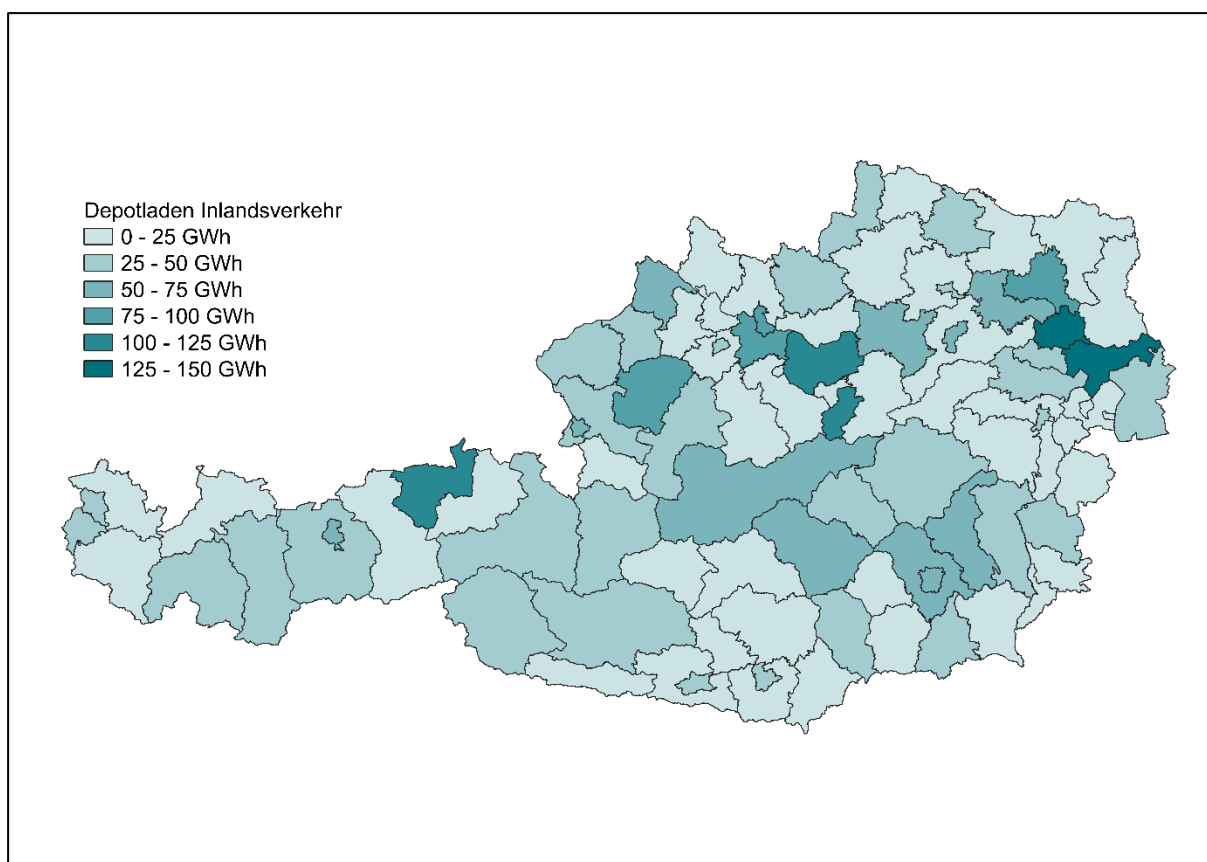


Abbildung 6-1: Ergebnisse für den Energiebedarf fürs Depotladen durch den Inlandsverkehr pro Bezirk – Szenario „Status quo“

6.1.3 Ergebnisse für 2030 und 2040

Wie in den vorherigen Kapiteln erläutert, wird in den Jahren 2030 und 2040 mit veränderten Rahmenbedingungen gerechnet. Einerseits wird bis 2040 der Verkehr je nach Szenario im Vergleich zu Status quo ab- oder zunehmen. Andererseits wird ein Verbrauch von 1,05 kWh/km und eine Reichweite von 500 km angenommen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6-2 für die jeweiligen Zeithorizonte angeführt.

Tabelle 6-2: Ergebnisse für den Energiebedarf durch den Inlandsverkehr für die Jahre 2030 und 2040 für die jeweiligen Szenarien.

Jahr	2030		2040	
	Klimaschutz	Verkehrszunahme	Klimaschutz	Verkehrszunahme
Szenario	GWh	GWh	GWh	GWh
Änderung zu Status quo	-2,50%	+30%	-5%	+40%
Energiebedarf im Depot	2383,24	3177,65	2322,13	3422,09

6.2 Versand und Empfang

Güter werden nicht nur innerhalb nationaler Grenzen transportiert. Fahrten von Fahrzeugen, die in Österreich starten und ein Ziel in einem anderen Staat haben, fallen in die Kategorie Versand. Konträr dazu werden Fahrten, die außerhalb Österreichs starten und ein Ziel in Österreich haben, zum Empfang gerechnet.

In der Frage, ob ein Fahrzeug in der Kategorie „Versand“ in Österreich zuvor die Strecke auflädt oder ob ein Fahrzeug der Kategorie „Empfang“ die Batterie bei der Ankunft am Zielort in Österreich wieder auflädt, wird letzteres angewandt. Dies ist konsequent in der Methodik dieser Arbeit. Der Versand hat 13,3% weniger Fahrten als der Empfang bezogen auf den Empfang. Die Tonnenkilometer im Inland unterscheiden sich um 0,1% (bezogen auf den Empfang). Eine Gleichsetzung ist dennoch nicht möglich, denn der Unterschied zwischen Versand und Empfang von den Bundesländern in bestimmte Staaten(gruppen) und andersherum beträgt teilweise über 50%.

6.2.1 Vorgehensweisen und Annahmen

Ziel ist es, zwei Matrizen für den Energiebedarf des Empfangs zu erhalten. Eine Matrix soll dabei den Energiebedarf für das Depotladen in jedem Bezirk angeben, die andere Matrix soll den Energiebedarf für das Laden an Ladesäulen auf der Strecke zwischen zwei Bezirken beziffern.

Grundlage für die Matrizen sind die Daten der Statistik Austria für das Jahr 2022 [40]. Ausgegangen wird von einer Matrix mit der Anzahl der Fahrten von jedem Bundesland in eine andere Staatengruppe. Die Staatengruppen werden dann für jedes Bundesland den Grenzübergängen zugeordnet. Welcher Grenzübergang welchem Nachbarland zugeordnet ist, ist in Tabelle 10-6 und Abbildung 6-2 ersichtlich.

Eine beispielhafte Zuordnung sei anhand von Niederösterreich, Salzburg und Tirol in Tabelle 6-3 beschrieben.

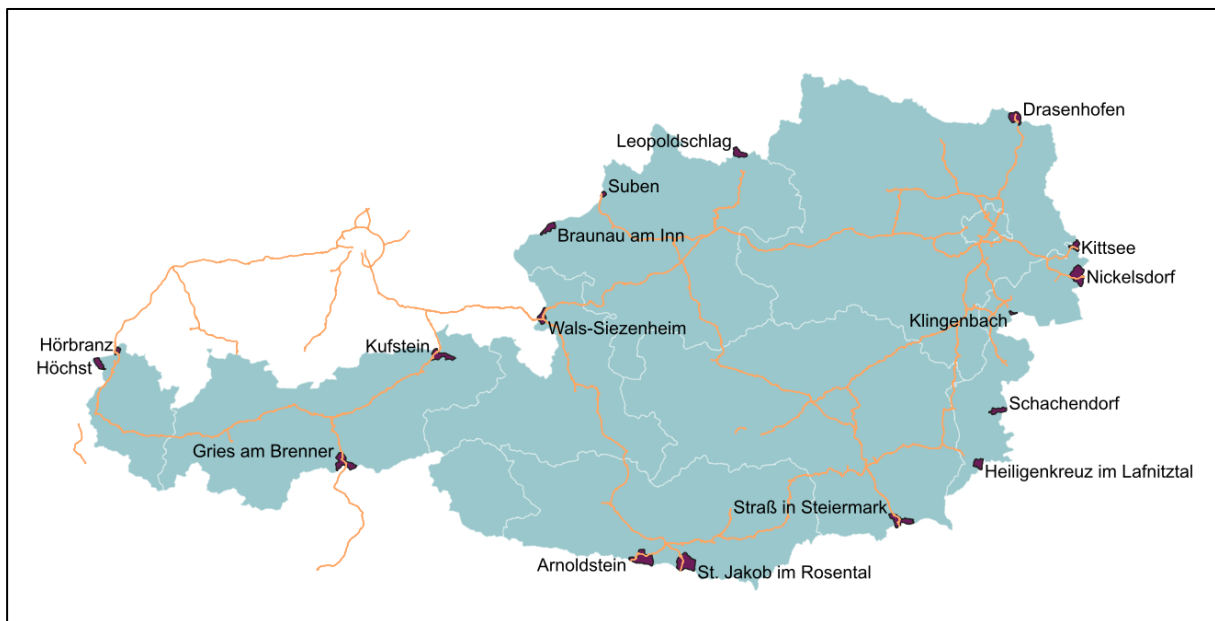


Abbildung 6-2: Österreich, höherrangiges Straßennetz und alle betrachteten Grenzübergänge.

Tabelle 6-3: Zuordnung der Grenzübergänge für Fahrten aus den Nachbarländern für die Bundesländer Niederösterreich, Salzburg und Tirol.

Nachbarland	Niederösterreich	Salzburg	Tirol
Italien	Arnoldstein	Gries am Brenner	Gries am Brenner
		Arnoldstein	
Slowenien	Spielfeld	St. Jakob im Rosental	Gries am Brenner
Ungarn	Nickelsdorf	Nickelsdorf	Schachendorf
Slowakei	Kittsee	Kittsee	Kittsee
Tschechien	Drasenhofen	Leopoldschlag	Kufstein
Deutschland	Braunau am Inn	Braunau am Inn	Kufstein
	Suben	Suben	
	Wals-Siezenheim	Wals-Siezenheim	
Schweiz	Braunau am Inn	Wals-Siezenheim	Höchst
	Suben		
	Wals-Siezenheim		

Die Fahrten jedes Bundeslandes werden über die Ergebnisse aus dem Inlandsverkehr auf die Bezirke umgelegt. Man erhält eine Matrix mit der Anzahl der Fahrten von jedem Grenzübergang in jeden Bezirk. Eine weitere Matrix mit der Distanz von jedem Grenzübergang zu jeder Bezirkshauptstadt lässt analog zur Berechnung des Energiebedarfs im Inlandsverkehr den Energiebedarf durch den Empfang berechnen. Dazu wird die Anzahl der Fahrten von jedem Grenzübergang in jeden Bezirk mit der Distanz zwischen jedem Grenzübergang und jeder Bezirkshauptstadt multipliziert. Zusätzlich wird zu diesen in Österreich zurückgelegten Distanzen des Empfangsverkehres der Faktor 2,15 multipliziert. Dieser Faktor berücksichtigt die zurückgelegte Strecke außerhalb Österreichs. Er ergibt sich aus den Kilometern, die im Ausland zurückgelegt wurden, durch die Kilometer, die im Inland zurückgelegt wurden. Für das Jahr 2022 waren das im Empfangsverkehr durch die in Österreich zugelassenen Fahrzeuge in etwa 167 Mio. km im Ausland und in etwa 78 Mio. km im Inland laut Statistik „Fahrten im Straßengüterverkehr ab 2006“ [60].

$$\frac{\text{Kilometer im Ausland}}{\text{Kilometer im Inland}} = \frac{167228215 \text{ km}}{77687461 \text{ km}} = 2,15 \quad \text{Gleichung 6-2}$$

Multipliziert man die Kilometer, die die Fahrzeuge bei der Ankunft im Bezirk zurückgelegt haben, mit dem Verbrauch an kWh/km, ergibt sich die Energie, die für das Depotladen in diesem Bezirk gebraucht wird. Je nach betrachtendem Szenario (Status quo, 2030, 2040) werden Kilometer ab einer gewissen Distanz (entspricht der Reichweite) nur mehr mit dieser Restdistanz (Distanz minus Reichweite) berücksichtigt, weil davon ausgegangen wird, dass bei einem Zwischenlanden an Ladesäulen nur so viel aufgeladen wird, dass die Distanz bis zum Ziel gerade bewältigt werden kann. Ladungen auf der Strecke in Österreich werden mit den Kilometern seit Fahrtbeginn dem Laden auf der Strecke zugerechnet.

6.2.2 Ergebnisse für das Szenario „Status quo“

Für den heutigen Stand der Technik werden 1,34 kWh/km sowie eine Reichweite von 330 km angenommen. Dies ergibt eine Gesamtsumme von 582 Mio. km, die modelliert zurückgelegt werden, davon werden ca. 12,8 Mio. km jenseits von 330 km noch in Österreich gefahren. Die Statistik Austria spricht in ihrer Statistik „Fahrten im Straßengüterverkehr ab 2006“ [60] von 78 Mio. km im Empfangsverkehr für das Jahr 2022, wobei aber nur in Österreich zugelassene Fahrzeuge in dieser Zahl berücksichtigt werden. Eine Abschätzung des Prozentsatzes, der nicht von in Österreich zugelassenen Fahrzeugen gefahrenen Kilometer kann über die verschiedene Transportleistung erfolgen. Laut der Statistik „Güterverkehr auf Österreichs Straßen“ [40] werden 88,5% der Tonnenkilometer im Jahre 2022 von nicht in Österreich zugelassenen Fahrzeugen befördert. Eine Erhöhung des Wertes der Statistik Austria um diesen Prozentsatz, bewirkt eine bleibende Abweichung des modellierten Wertes von -16,1% bezogen auf den modellierten Wert.

Insgesamt ergibt sich ein Energiebedarf für Depotladungen von E-LKWs 1198,5 GWh. Für das Laden an Ladesäulen auf der Strecke werden 23,1 GWh benötigt. In Abbildung 6-3 sind die Ergebnisse des Energiebedarfes durch das Depotladen dargestellt. Diese zeigt eine eindeutige Konzentration des Energiebedarfes von Wien als Stadt, die viel Empfang vorzuweisen hat. Weiters gehen eine dichtere Besiedelung sowie stärkere Wirtschaftsleistung auch mit mehr Energiebedarf für die Aufladung ankommender LKW einher. So ergeben sich höhere Energiebedarfe entlang der Donau, im Raum Salzburg und in Graz.

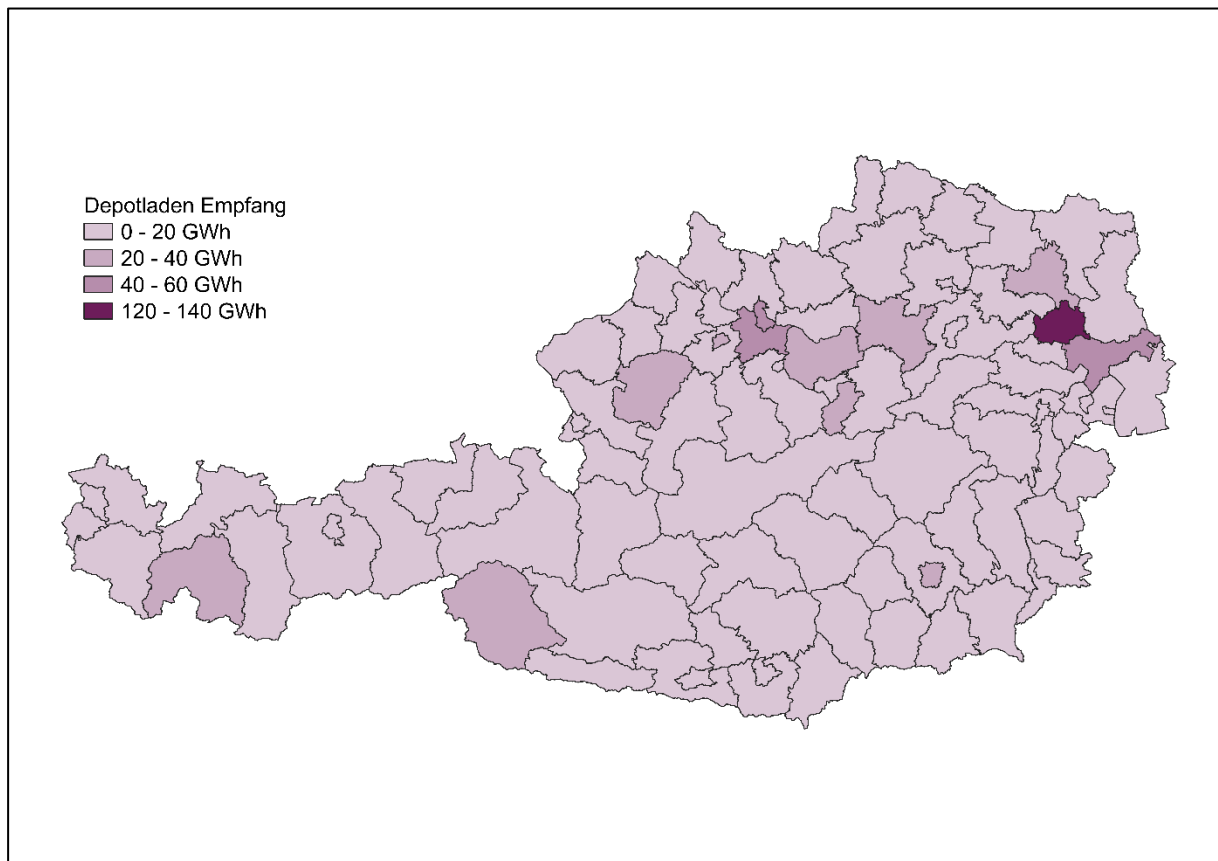


Abbildung 6-3: Ergebnisse des Energiebedarfes fürs Depotladen durch den Empfang – Szenario „Status quo“

6.2.3 Ergebnisse für 2030 und 2040

Wie in den vorherigen Kapiteln erläutert, wird in den Jahren 2030 und 2040 mit veränderten Rahmenbedingungen gerechnet. Einerseits wird bis 2040 der Verkehr je nach Szenario im Vergleich zu Status quo ab- oder zunehmen. Andererseits wird ein Verbrauch von 1,05 kWh/km und eine Reichweite von 500 km angenommen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6-4 für die jeweiligen Zeithorizonte angeführt.

Tabelle 6-4: Ergebnisse für den Energiebedarf durch den Versand- und Empfangsverkehr für die Jahre 2030 und 2040 für die jeweiligen Szenarien.

Jahr	2030		2040	
	Klimaschutz	Verkehrszunahme	Klimaschutz	Verkehrszunahme
	GWh	GWh	GWh	GWh
Änderung zu Status quo	-4,7%	+30%	-9,5%	+40%
Energiebedarf im Depot	1101,30	1502,29	1045,83	1617,86

6.3 Transit

Verkehr in Österreich ist nicht auf Fahrten mit einem Ziel- oder Startpunkt oder beidem in Österreich beschränkt. Der sogenannte Transit beschreibt Fahrten durch Österreich, wobei der Start und das Ziel nicht in Österreich liegen. Ein Beispiel hierfür wäre eine direkte Fahrt von München nach Mailand ohne Zwischenstopp zum Be- und Entladen. Hier entsteht ein Transitverkehr in Österreich auf der Strecke zwischen Kufstein und dem Brenner. Mangels Zieles in Österreich wird jedes Zwischenladen des gesamten Transitverkehrs in Österreich an Ladestationen auf der Strecke und in keinem Depot vorstättgehen. Dadurch wird sämtlicher Energiebedarf dem Streckenladen zugerechnet.

6.3.1 Vorgehensweisen und Annahmen

Einzelne Fahrten des Transitverkehrs können durch die vorliegende Datenlage nicht in ihrer Länge einzeln genau bestimmt und lokalisiert werden. Der Ansatz wird demnach entsprechend abgewandelt und über Wahrscheinlichkeiten der Ladebedarfe auf österreichischen Strecken wird der Energiebedarf ermittelt. Dabei wird zur Ermittlung des Energiebedarfes die Streckenlänge innerhalb eines Bundeslandes mit der Anzahl der Fahrten entlang dieser Strecke und dem Verbrauch pro Kilometer multipliziert. Da die Datenlage keine Zuordnung zu einzelnen Bezirken zulässt, wird der Streckenladebedarf pro Bundesland eruiert.

Von der Statistik Austria wird eine Matrix zur Verfügung gestellt, welche die Anzahl der Fahrten von Quellländern in Zielländern mit Transitstrecke durch Österreich angibt [40]. In einem ersten Schritt werden Fahrten aus nicht an Österreich angrenzenden Ländern wie Frankreich oder Spanien einem Nachbarland Österreichs zugeordnet. Dies geschieht nach der in Tabelle 6-5 beschriebenen Art und Weise. Zu beachten ist die Aufteilung des Transitverkehrs aus Polen, welcher geographisch bedingt nur Italien und Slowenien sowie diesen Ländern nachgelagerte Länder als Zielland haben kann. Das Verhältnis zwischen Italien und Slowenien in Bezug auf Fahrten aus Polen, die durch Österreich verkehren ist in Hin- und Rückrichtung in etwa 10:1 (Italien zu Slowenien). Fahrten über den Brenner nach Italien sind damit gegeben. Aus diesem Grund wird auch Kufstein-Kiefersfelden als Eintrittsgrenzübergang für Polen in Betracht gezogen. Somit teilt sich der aus Polen kommende Transitverkehr zu je einem Drittel auf Kufstein, Leopoldschlag und Drasenhofen auf.

Tabelle 6-5: Zuordnung der Quellstaaten des Transitverkehrs zum Nachbarland, von dem aus der Verkehr Österreich betritt.

Nachbarländer	Miteinbezogene Länder(gruppen)
Deutschland	Norwegen + Schweden + Finnland + Dänemark Polen (1/3) Vereinigtes Königreich + Irland + Benelux Frankreich + Spanien + Portugal (je nach Zielland)
Tschechische Republik	Estland + Lettland + Litauen Polen (2/3)
Slowakei	
Ungarn	Bulgarien + Rumänien
Slowenien	Griechenland + Zypern Kroatien
Italien	Frankreich + Spanien + Portugal (je nach Zielland)
Schweiz + Liechtenstein	

Im nächsten Schritt werden die Fahrten den Grenzübergängen, die schon im vorangegangenen Kapitel definiert wurden, zugeordnet. Dadurch wird die Matrix mit der Anzahl von Fahrten aus jedem Quellland in jedes Zielland zu einer Matrix mit Fahrten von jedem Grenzübergang zu jedem Grenzübergang.

Da die Daten keine konkrete Zuordnung der Fahrten zu den Grenzübergängen ermöglicht, werden die Fahrten gleichmäßig auf alle Grenzübergänge aufgeteilt. Der zahlenmäßig stärkste Austausch, jener zwischen Deutschland und Italien, wird dabei gesondert betrachtet. Die Erhebung zum alpenquerenden Güterverkehr (Cross Alpine Freight Transport, CAFT) im Jahre 2019 analysiert die Grenzübergänge Brenner und Arnoldstein und lässt Rückschlüsse auf die Verteilung des Verkehrs zwischen Deutschland und Italien auf diesen Grenzübergängen zu. Durch die zusätzlichen Daten wird ein Verhältnis von 10:1 (Brenner zu Arnoldstein) definiert und die Verteilung der Fahrten in diesem Verhältnis auf deutscher und italienischer Seite für den Verkehr zwischen diesen Ländern vorgenommen. [61]

Nach Inkludierung der Fahrten aus nicht an Österreich angrenzenden Länder(gruppen) kann der Transitverkehr in Österreich folgendermaßen beschrieben werden: Der Verkehr zwischen Deutschland und Italien umfasst 40,3% aller Transitzfahrten in Österreich. Weiters machen die Fahrten von Deutschland nach Ungarn (18,5%), Italien nach Tschechien (16,9%), Deutschland nach Slowenien (12,2%) und jeweils retour zusammen mit den Fahrten Deutschland-Italien 88,0% des Transitverkehrs aus.

Um die gefahrenen Kilometer je Bundesland zu berechnen, wird jede Kombination von Fahrten einer Strecke innerhalb eines Bundeslandes zugeordnet und mit der Distanz dieser multipliziert und dann aufsummiert. Als Beispiel seien Fahrten von Slowenien über den Grenzübergang Spielfeld (Straß in der Steiermark) in Richtung Deutschland über den Grenzübergang Suben erwähnt. Diese werden in der

Betrachtung der Steiermark der Strecke von Spielfeld-Straß bis zum Bosrucktunnel (Ardning, steirisch-oberösterreichische Grenze) zugerechnet und mit der Distanz dazwischen multipliziert. Oberösterreich erhält die Strecke vom Bosrucktunnel bis Suben. Ebenso werden Fahrten von Spielfeld-Straß nach Leopoldschlag der Steiermark im Ausmaß der Strecke Spielfeld-Bosrucktunnel zugeordnet. Die Fahrten Spielfeld-Straß nach Drasenhofen werden hingegen der Strecke von Spielfeld-Straß nach Zöbern (steirisch-niederösterreichische Grenze) zugerechnet. Dies geschieht mit allen Fahrten der Matrix für jedes Bundesland. Übergänge zwischen den Bundesländern werden nur am höherrangigen Straßennetz aus Autobahnen und Schnellstraßen angenommen. Einzige Ausnahme bildet der Übergang Friesach-Neumarkt in der Steiermark, da es sich hierbei um eine geplante und im Ausbau befindliche Strecke handelt.

Allein die Tatsache, dass die Fahrten von beispielsweise Kittsee nach Arnoldstein nicht ausschließlich über den Semmering entlang der S37 und der S36, sondern auch über die A2 über Graz verlaufen könnten, zeigt die Komplexität der Zuordnung. Einflüsse wie Verkehrslage, Witterung oder Mautgebühren können zu anderen Entscheidungen bei der Streckenwahl führen. Auch aus diesem Grund werden im ersten Schritt keine detaillierteren Ergebnisse als jene auf Bundesländerebene berechnet. Ähnliche Situationen ergeben sich auch in anderen Bundesländern.

Dass die Wahl der Route Abweichungen von unter 12% ausmacht, zeigen die zwei folgenden Beispiele in Tabelle 6-6 und Tabelle 6-7. Bei der Wahl der Route von Drasenhofen nach Arnoldstein sind bei Bezugnahme auf die Strecke, die ausschließlich entlang der A2 verläuft (Zöbern-Preitenegg) Abweichungen von unter 5% in der Streckenlänge gegeben. Bei allen Möglichkeiten von Deutschland nach Ungarn zu kommen, ist nur die Strecke Walserberg-Nickelsdorf um 11,1% länger als die Bezugsstrecke Suben-Schachendorf, alle weiteren Strecken weichen weniger als 10% ab. Für das österreichweite Ergebnisse ist die Routenwahl demnach zu vernachlässigen, für die Bundesländerergebnisse wird auf eine ausgewogene Verteilung auf alle Routen geachtet.

Tabelle 6-6: Vergleich der Streckenlängen bei verschiedenen Routen von Drasenhofen nach Arnoldstein.

CZ-NÖ	NÖ-ST	ST-K	K-IT	Strecke in den Bundesländern			Σ	Abweichung
				NÖ	ST	K		
-	-	-	-	km	km	km	km	%
Drasenhofen	Zöbern	Preitenegg	Arnoldstein	169	161	138	468	Bezug
Drasenhofen	Semmering	Preitenegg	Arnoldstein	175	171	138	484	+3,4%
Drasenhofen	Semmering	Friesach	Arnoldstein	175	173	97	445	-4,9%
Drasenhofen	Zöbern	Friesach	Arnoldstein	169	221	97	487	+4,1%

Tabelle 6-7: Vergleich der Streckenlängen bei verschiedenen Routen von Deutschland nach Ungarn.

Route Deutschland-Ungarn	Strecke in den Bundesländern				Σ	Abweichung
	S	OÖ	NÖ/ST	B		
-	km	km	km	km	km	%
Suben-Ardning-Fürstenfeld-Schachendorf		149	187	46,1	382,1	Bezug
Braunau am Inn-Ardning-Fürstenfeld-Schachendorf		174	187	46,1	407,1	+6,5%
Walserberg-Thalgau-Ardning-Fürstenfeld-Schachendorf	28,6	155	187	46,1	416,7	+9,1%
Braunau am Inn-Grein-Pottendorf-Klingenbach		174	171	26,9	371,9	-2,7%
Braunau am Inn-Grein-Parndorf-Nickelsdorf		174	198	26,8	398,8	+4,4%
Suben-Grein-Pottendorf-Klingenbach		150	171	26,9	347,9	-9,0%
Suben-Grein-Parndorf-Nickelsdorf		150	198	26,8	374,8	-1,9%
Walserberg-Thalgau-Grein-Pottendorf-Klingenbach	28,6	171	171	26,9	397,5	+4,0%
Walserberg-Thalgau-Grein-Parndorf-Nickelsdorf	28,6	171	198	26,8	424,4	+11,1%

Aufgrund verschiedener Möglichkeiten um Wien herum zu fahren oder auch durch Wien auf höherrangigen Straßen zu fahren, wird Wien mit Niederösterreich gemeinsam gewertet. Zudem fallen durch Fahrten durch Österreich, welche über das deutsche Eck bzw. Südtirol verlaufen, Transitfahrten in Baden-Württemberg, Bayern, Südtirol und Venetien an. Die anfallenden zurückgelegten Kilometer außerhalb Österreichs werden in dieser Arbeit nicht betrachtet.

Die gefahrenen Kilometer jedes Bundeslandes werden mit dem Verbrauch des jeweiligen Szenarios für einen Kilometer multipliziert. Es ergibt sich der Energieverbrauch jedes Bundeslandes. Weiters wird der Energieverbrauch jedes Bundeslandes pro Kilometer höherrangiges Straßennetz berechnet, um eine Vergleichbarkeit zu erhalten. Die Längen des höherrangigen Straßennetzes sind in Tabelle 6-8 in den Ergebnissen zusammengefasst.

6.3.2 Ergebnisse für das Szenario „Status quo“

Für den heutigen Stand der Technik werden 1,34 kWh/km angenommen. Es ergibt sich eine Gesamtsumme von 1,20 Mrd. km, die modelliert zurückgelegt werden. Insgesamt ergibt sich ein Energiebedarf für das Laden an Ladesäulen auf der Strecke von 1608,2 GWh. Aufgeteilt auf alle Kilometer des höherrangigen österreichischen Straßennetzes macht das 714,8 MWh/km. Bei 8760 h pro Jahr ergibt das 8,16 MW pro 100 km an Dauerlastäquivalent für den Transitverkehr. Der Bedarf ist jedoch regional sehr unterschiedlich gegeben und bewegt sich zwischen 91,4 MWh/km in Vorarlberg und 1490 MWh/km in Tirol. Die Ergebnisse für das Streckenladen durch den Transitverkehr sind in Tabelle 6-8 aufgelistet.

Tabelle 6-8: Ergebnisse für das Szenario "Status quo" für den Energiebedarf in den Bundesländern aufgrund des Transitverkehrs. Längen des Straßennetzes aus [61] bezogen.

Bundesland	Energiebedarf	Autobahnen	Schnellstraßen	höherrangiges Straßennetz	Energiebedarf pro Kilometer
	GWh	km	km	km	GWh/km
Burgenland	33,4	80	63	143	0,233
Kärnten	149,8	243	18	261	0,574
Niederösterreich und Wien	336,1	423	177	600	0,560
Oberösterreich	467,8	299	22	321	1,457
Salzburg	137,6	144	0	144	0,956
Steiermark	142,8	308	159	467	0,306
Tirol	332,4	189	34	223	1,490
Vorarlberg	8,3	63	28	91	0,091
Summe	1608,2	1749	501	2250	0,715

Eine Visualisierung der Ergebnisse ist in Abbildung 6-4 und Abbildung 6-5 erfolgt. Dabei ist ersichtlich, dass der größte Energiebedarf in den Bundesländern Oberösterreich, Tirol sowie Niederösterreich und Wien anfallen. Diese Bundesländer inkludieren auch die zuvor genannten stärksten befahrenen Routen Deutschland-Italien, Deutschland-Ungarn, Tschechien-Italien und Deutschland-Slowenien. Gerechnet auf den Energiebedarf pro Kilometer höherrangiges Straßennetz ist Tirol mit 1,49 GWh/km das Bundesland mit dem meisten Bedarf, danach folgt mit 1,46 GWh/km Oberösterreich, welches in absoluten Zahlen mit 467,8 GWh den höchsten Energiebedarf hat. Salzburg als Transitbundesland für die Nord-Südachse benötigt in absoluten Zahlen am drittwenigsten Energie, gerechnet am höherrangigen Straßennetz liegt es jedoch an dritter Stelle nach Tirol und Oberösterreich.

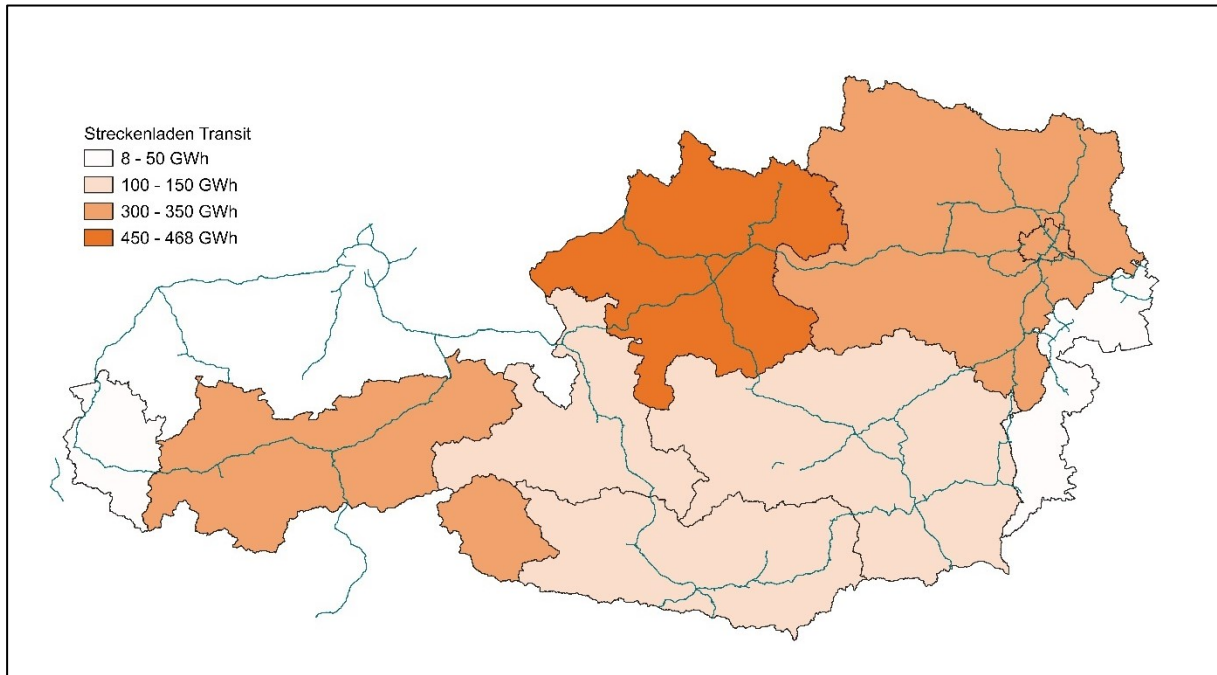


Abbildung 6-4: Ergebnisse für den Energiebedarf fürs Streckenlanden durch den Transit – Szenario „Status quo“.

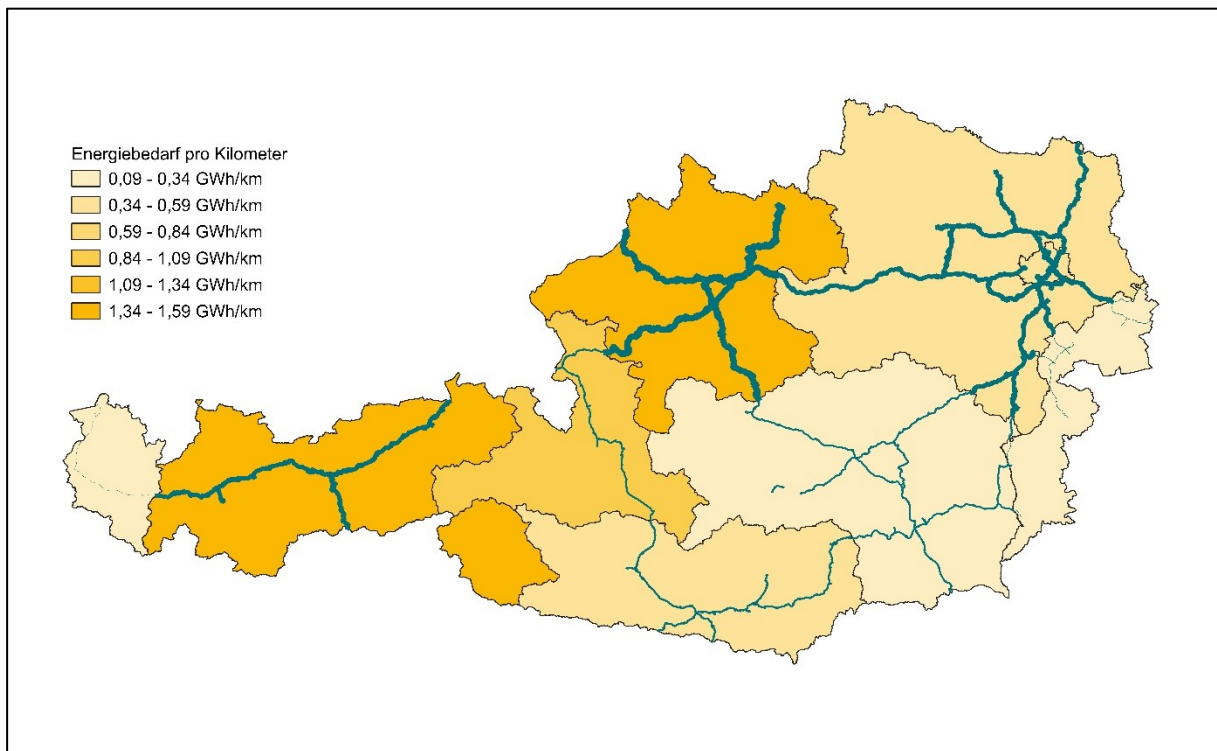


Abbildung 6-5: Ergebnisse des Energiebedarfes pro Kilometer für jedes Bundesland durch den Transit. Die Stärke der Autobahnen und Schnellstraßen geben den Energiebedarf des Bundeslandes durch den Transit wieder – Szenario „Status quo“.

6.3.3 Ergebnisse für 2030 und 2040

Da die Änderung der Reichweite in der Berechnung keine Auswirkung hat, wird der Transitverkehr für die Jahre 2030 und 2040 nur über die Änderung des Verkehrsaufkommens sowie des Verbrauches von 1,34 kWh/km auf 1,05 kWh/km berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6-9 angeführt, die Abbildung 6-4 und Abbildung 6-5 ändern sich nur um den angegebenen Prozentsatz, jedoch nicht in der Verteilung.

Tabelle 6-9: Ergebnisse für den Ladebedarf durch den Transitverkehr für die Jahre 2030 und 2040 für die jeweiligen Szenarien.

Jahr Szenario	2030		2040	
	Klimaschutz	Verkehrszunahme	Klimaschutz	Verkehrszunahme
	GWh	GWh	GWh	GWh
Änderung zu Status quo	-7,5%	+30%	-15%	+40%
Burgenland	24,19	34,00	22,23	36,61
Kärnten	108,58	152,60	99,78	164,34
Niederösterreich und Wien	243,62	342,39	223,87	368,73
Oberösterreich	339,10	476,57	311,60	513,23
Salzburg	99,74	140,18	91,66	150,96
Steiermark	103,49	145,44	95,10	156,63
Tirol	240,91	338,57	221,38	364,62
Vorarlberg	6,03	8,47	5,54	9,12
Summe	1165,66	1638,22	1071,16	1764,24

6.4 Zuordnung des Energiebedarfes an Ladestationen auf der

Strecke Das Laden an Ladesäulen auf der Strecke kann nicht auf die Bezirke gleichmäßig verteilt werden, da nicht alle Bezirke über stark befahrene Verkehrsrouten verfügen. Möglich ist jedoch ein Zuschlagen des Ladebedarfs auf der Strecke pro Bundesland an alle Bezirke, die an den Hauptverkehrsrouten liegen. Die Aufteilung erfolgt zu gleichen Teilen. In Abbildung 6-6 sind die Bezirke, die pro Bundesland Anteil am höherrangigen Straßenverkehrsnetz haben, farblich markiert.

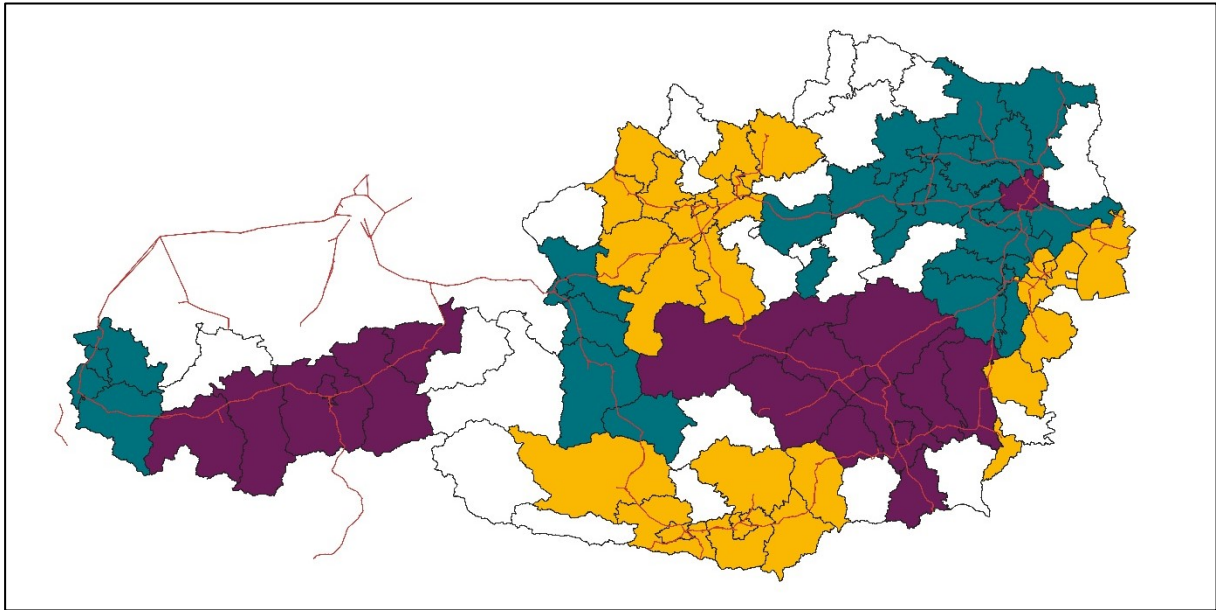


Abbildung 6-6: Bezirke Österreichs, die Anteil am höherrangigen Straßennetz haben, farbig markiert pro Bundesland. Eigenes Werk.

Das Laden auf der Strecke wird für den Inlands-, Empfangs-, Versands- und Transitverkehr in Summe mit 1,67 TWh im Szenario „Status quo“ errechnet. Diese Summe teilt sich auf die Bundesländer nach Tabelle 6-10 auf. Der Ladebedarf je Bezirk wird dem jeweiligen Bezirk zugeschlagen. Die Zuordnung ergibt sich durch Eruierung der Route, welche eine Strecke über der Reichweite von 330 km wählt. Transporte von beispielsweise Neusiedl am See nach Imst sind zwar dem Inlandsverkehr zugehörig, jedoch ergibt sich ein Ladebedarf in Bayern. Entsprechend sind die Ladebedarfe durch den Inlands- und Empfangsverkehr auch für Südtirol und Venetien sowie Bayern und Baden-Württemberg ausgewiesen.

Tabelle 6-10: Verteilung des Ladebedarfs auf der Strecke auf die Bezirke der Bundesländer – Szenario „Status quo“.

Bundesland	Ladebedarf an der Strecke				Bezirke mit Autobahn / Schnellstraße	Ladebedarf je Bezirk
	Inlandsverkehr	Empfang	Transit	Summe		
	GWh	GWh	GWh	GWh		
-					-	GWh
Burgenland	0,07	2,29	33,37	35,74	7	5,11
Kärnten	1,13	2,05	149,81	152,99	8	19,12
Niederösterreich und Wien	3,34	6,35	336,12	345,81	17	20,34
Oberösterreich	7,39	2,94	467,84	478,17	12	39,85
Salzburg	5,42	1,04	137,61	144,08	5	28,82
Steiermark	1,15	5,61	142,78	149,54	10	14,95
Tirol	3,85	0,70	332,37	336,93	6	56,15
Vorarlberg	2,30	0,56	8,32	11,17	4	2,79
Summe	24,65	21,54	1608,22	1654,43	69,00	23,98
Bayern/Baden- Württemberg	10,87	0,95	-	11,82	-	
Südtirol/Venetien	1,77	0,8	-	2,58	-	

In Österreich wird im „Status quo“ ein Energiebedarf von 1,65 TWh für das Laden auf der Strecke benötigt. Der Ladebedarf für die Jahre 2030 und 2040 ist nachfolgend in Tabelle 6-11 angeführt, eine Verteilung auf die Bundesländer erfolgt analog. Eine Reduktion des Energiebedarfes für das Laden auf der Strecke im Szenario „Verkehrszunahme“ im Jahre 2030 ist auf die größere Reichweite zurückzuführen.

Tabelle 6-11: Ergebnisse für den Ladebedarf auf der Strecke für die Jahre 2030 und 2040 für die jeweiligen Szenarien.

Jahr	2030		2040	
	Klimaschutz	Verkehrszunahme	Klimaschutz	Verkehrszunahme
	GWh	GWh	GWh	GWh
Summe	1172,29	1647,11	1077,56	1773,81

6.5 Gesamter Energiebedarf

In den vorangegangenen Kapiteln wurde der Energiebedarf in Österreich für die Elektrifizierung des Güterverkehrs für jeden Bezirk eruiert. Eine Aufsummierung des Energiebedarfes für Inlandsverkehr, Versand und Empfang sowie Transitverkehr für das Szenario „Status quo“ findet sich im Anhang in Bezirksergebnisse

Tabelle 10-7 und Tabelle 10-8. Es ergibt sich für das Szenario „Status quo“ ein Energiebedarf von 5,94 TWh pro Jahr. Wien, welches als einziges Bundesland nicht weiter in Bezirke unterteilt wurde, hat den höchsten Energiebedarf von 265,07 GWh. Es folgen die Bezirke Bruck an der Leitha, Linz-Land und Kufstein mit Energiebedarfen zwischen 167,51 GWh und 201,29 GWh. Die drei Bezirke mit dem geringsten Energiebedarf sind Eferding, Feldkirchen und Lilienfeld (in dieser Reihenfolge) mit Werten zwischen 3,01 GWh und 4,76 GWh. Die Energiebedarfe für den Güterverkehr, falls dieser komplett elektrisch betrieben wird, sind in Tabelle 6-12 dargestellt. Für die regionale Einordnung der Ergebnisse des Status quo soll Abbildung 6-7 dienen. Die Ergebnisse für Status quo und die Jahre 2030 und 2040 in den jeweils betrachteten Szenarien sind in Tabelle 6-13 zusammengefasst. Das Szenario „Klimaschutz“ orientiert sich in der Verkehrsentwicklung an den österreichischen Klimazielen, wohingegen das Szenario „Verkehrszunahme“ die aktuelle Entwicklung fortschreibt. Dabei wurden auch die Beiträge der Verkehrsbereiche aufgeschlüsselt.

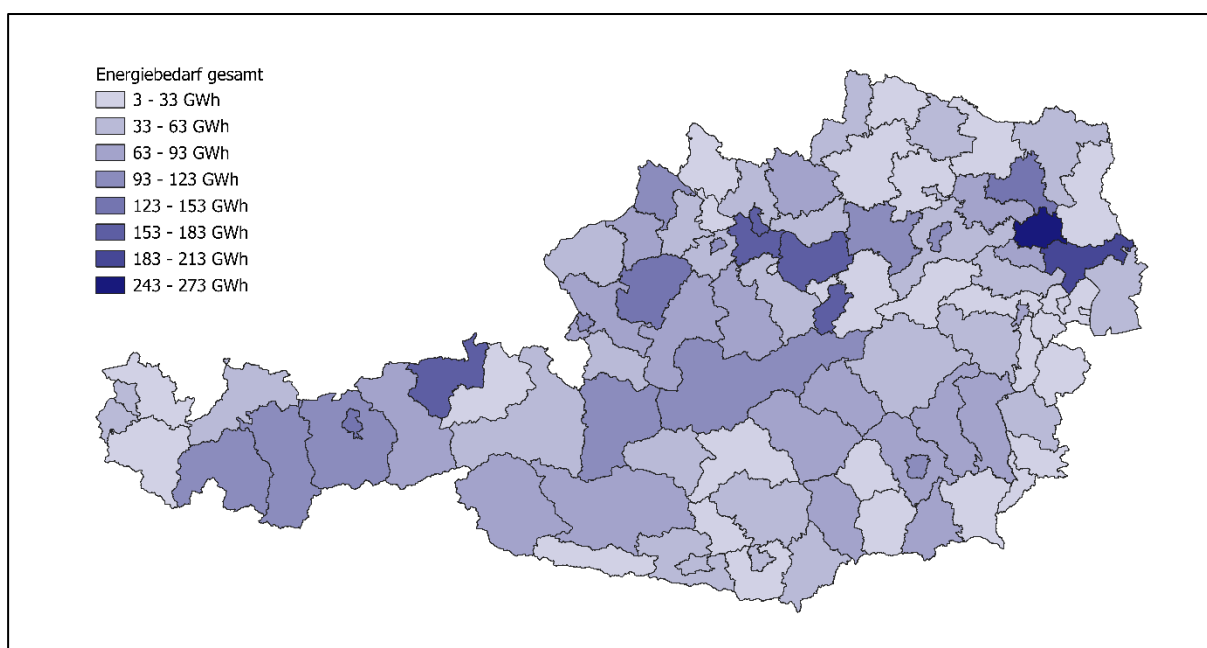


Abbildung 6-7: Gesamter Energiebedarf in Österreich nach Bezirken - Szenario „Status quo“.

Tabelle 6-12: Ergebnisse für den Energiebedarf im Status quo sowie für die Jahre 2030 und 2040 für die jeweiligen Szenarien.

Jahr /Szenario	Status quo	2030		2040	
		Klimaschutz	Verkehrszunahme	Klimaschutz	Verkehrszunahme
Szenario	TWh	TWh	TWh	TWh	TWh
Inlandsverkehr (Depot)	3,09	2,38	3,18	2,32	3,42
Empfang und Versand (Depot)	1,20	1,10	1,50	1,05	1,62
Streckenladen	1,65	1,17	1,65	1,08	1,77
Summe	5,94	4,65	6,32	4,44	6,80

Aufgeteilt auf die Verkehrsbereiche ist der Anteil der Verkehrsbereiche auf das Gesamtergebnis sichtbar. Mehr als die Hälfte des Energiebedarfes kommt demnach aus dem Inlandsverkehr. Das „Streckenladen“ umfasst neben dem Transit auch das Streckenladen im Inlands-, Empfangs- und Versandverkehr. Dieses ist aufgrund der Annahme, dass möglichst viel in den Depots geladen wird, im Vergleich zum Transit gering in dieser Kategorie vertreten. Über 96% des Streckenladens entsteht durch den Transitverkehr. Die Verteilung ist in Tabelle 6-13 zu sehen. Die Tabelle wird in Abbildung 6-8 und in Abbildung 6-9 visualisiert. Zu erkennen ist in den Abbildungen, dass die Steiermark, Vorarlberg und das Burgenland den höchsten Anteil an Energiebedarf durch den Inlandsverkehr aufweisen. Vorarlberg hat zudem den größten prozentuellen Anteil an Empfang und Versand. Beim Transit ist Tirol führend, wobei in absoluten Werten Oberösterreich den höchsten Energiebedarf durch Transitverkehr hat.

Tabelle 6-13: Verteilung des Energiebedarfes auf die Verkehrsbereiche und Bundesländer - Szenario „Status quo“.

	Inlandsverkehr	Empfang und Versand	Streckenladen	Summe
	GWh	GWh	GWh	GWh
Burgenland	121	40	36	197
Kärnten	199	61	153	413
Niederösterreich und Wien	957	405	346	1708
Oberösterreich	626	301	478	1405
Salzburg	221	72	144	437
Steiermark	519	158	150	827
Tirol	364	122	337	823
Vorarlberg	83	39	11	134
Summe	3089	1199	1654	5943

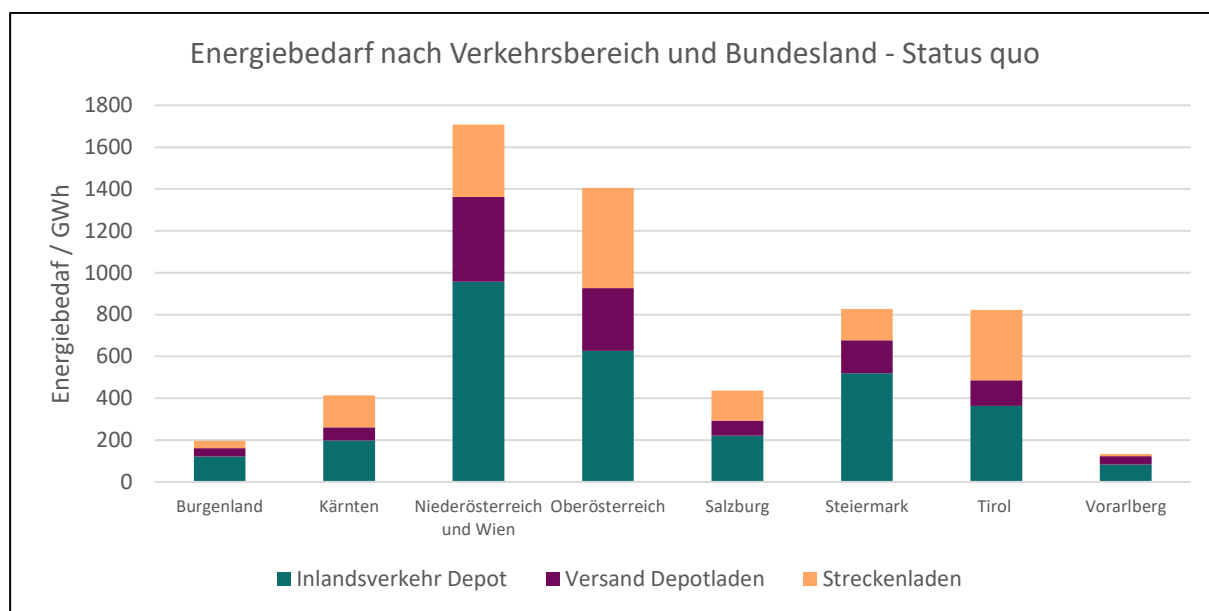


Abbildung 6-8: Energiebedarf aufgeschlüsselt nach Bundesländern und Verkehrsbereich - Status quo.

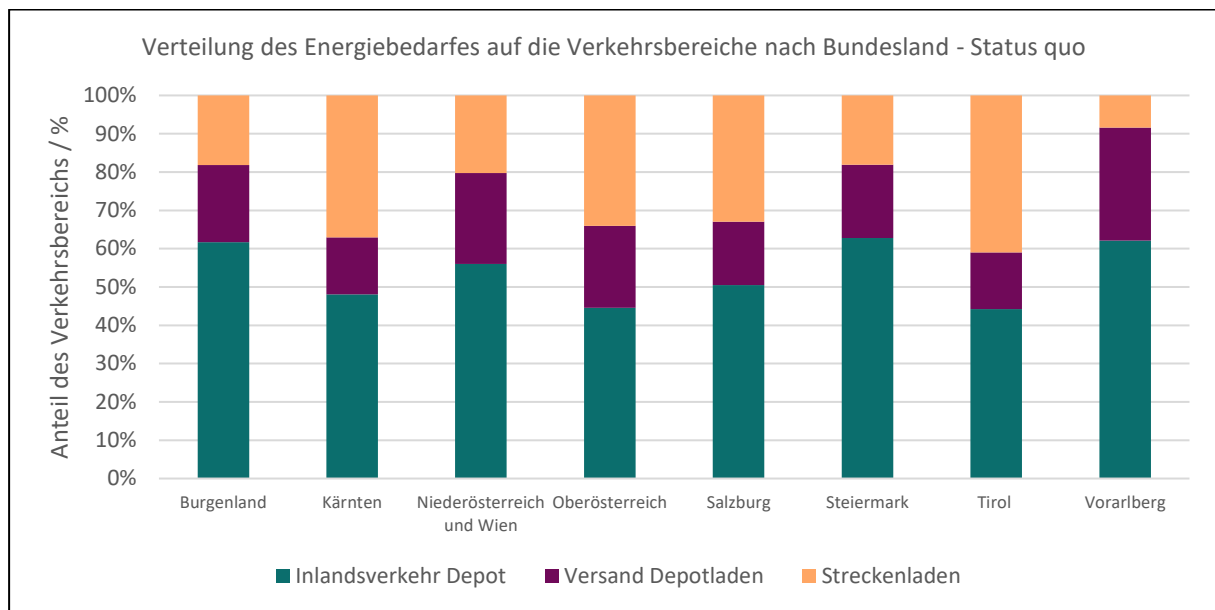


Abbildung 6-9: Verteilung des Energiebedarfes auf die Verkehrsbereiche nach Bundesländern - Status quo.

In den folgenden Abbildungen (Abbildung 6-10, Abbildung 6-11, Abbildung 6-12, Abbildung 6-13) ist die Entwicklung der Energiebedarfe in den einzelnen Bundesländern für 2030 und 2040 in den beiden Szenarien abgebildet. Es zeigt sich bei allen Bundesländern eine Abnahme des Energiebedarfes bei den Klimaschutz-Szenarien und hierbei besonders im Transitverkehr, der den Großteil des „Streckenladen“ ausmacht. Aus diesem Grund ist auch in Tirol der relative Rückgang in den Klimaschutz-Szenarien am größten. Um auch die Entwicklung in Bundesländern mit geringeren Energiebedarfen zu zeigen, wurden die Bundesländer nach deren Energiebedarf angeordnet und die Skalierung angepasst.

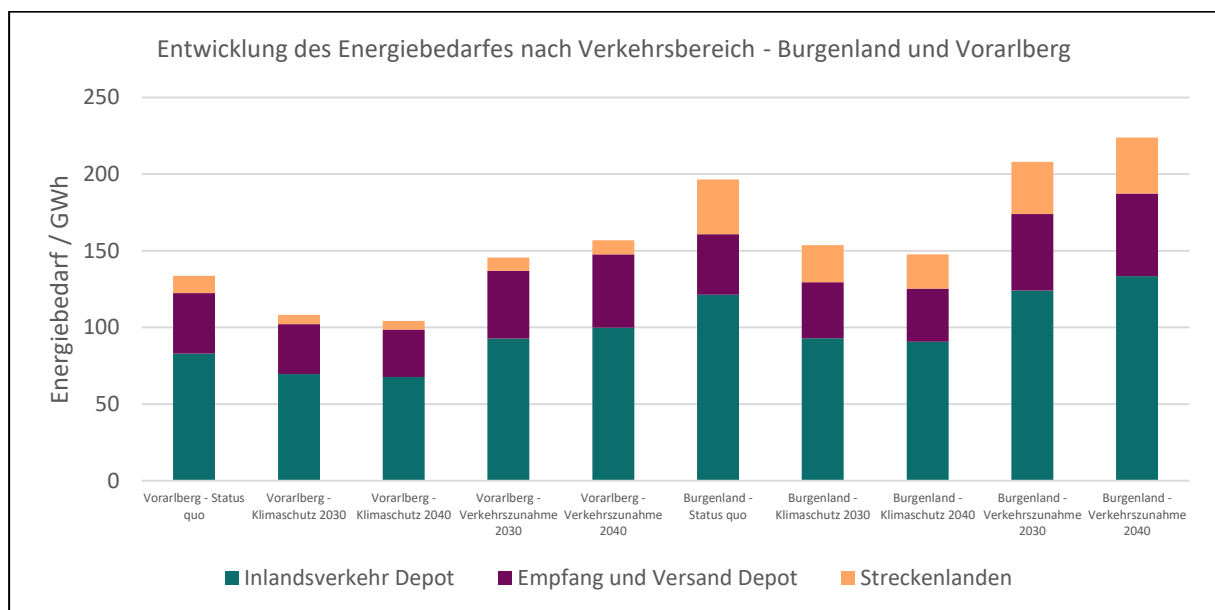


Abbildung 6-10: Entwicklung des Energiebedarfes im Burgenland und in Vorarlberg in den Szenarien „Status quo“ sowie „Klimaschutz“ und „Verkehrszunahme“ für die Jahre 2030 und 2040 nach Verkehrsbereich.

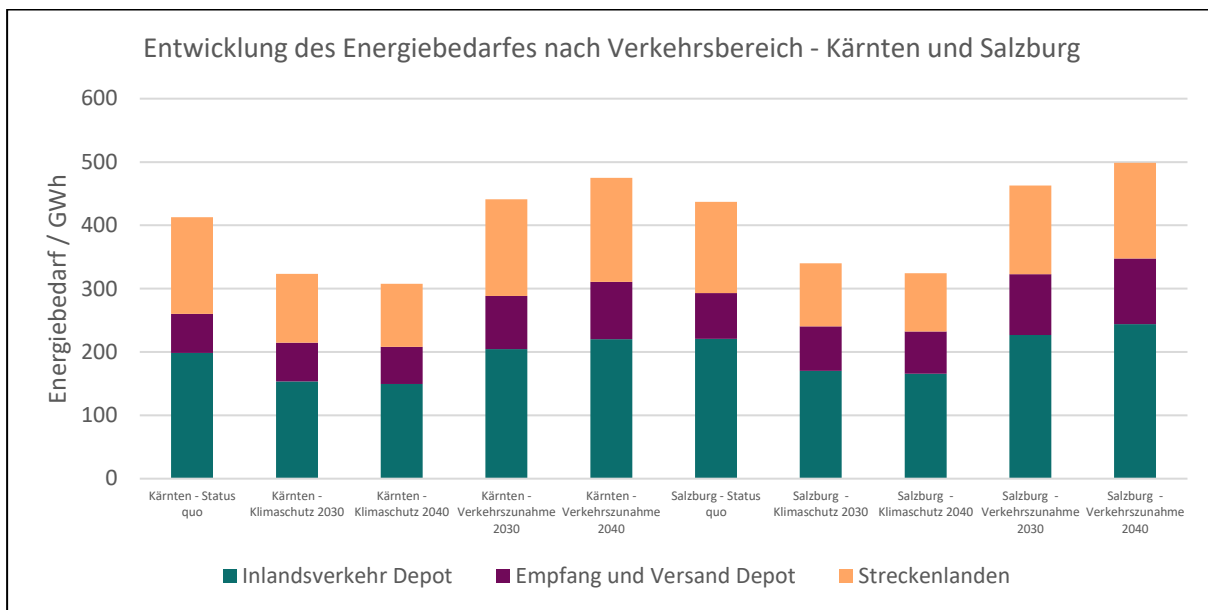


Abbildung 6-11: Entwicklung des Energiebedarfes in Kärnten und Salzburg in den Szenarien „Status quo“ sowie „Klimaschutz“ und „Verkehrszunahme“ für die Jahre 2030 und 2040 nach Verkehrsbereich.

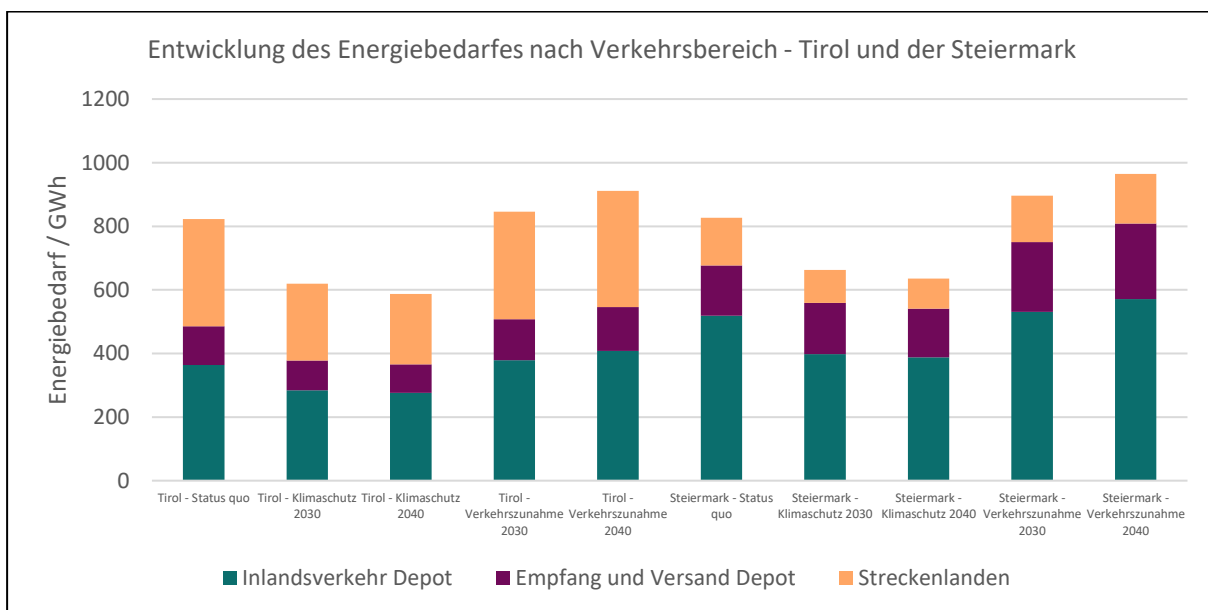


Abbildung 6-12: Entwicklung des Energiebedarfes in Tirol und der Steiermark in den Szenarien „Status quo“ sowie „Klimaschutz“ und „Verkehrszunahme“ für die Jahre 2030 und 2040 nach Verkehrsbereich.

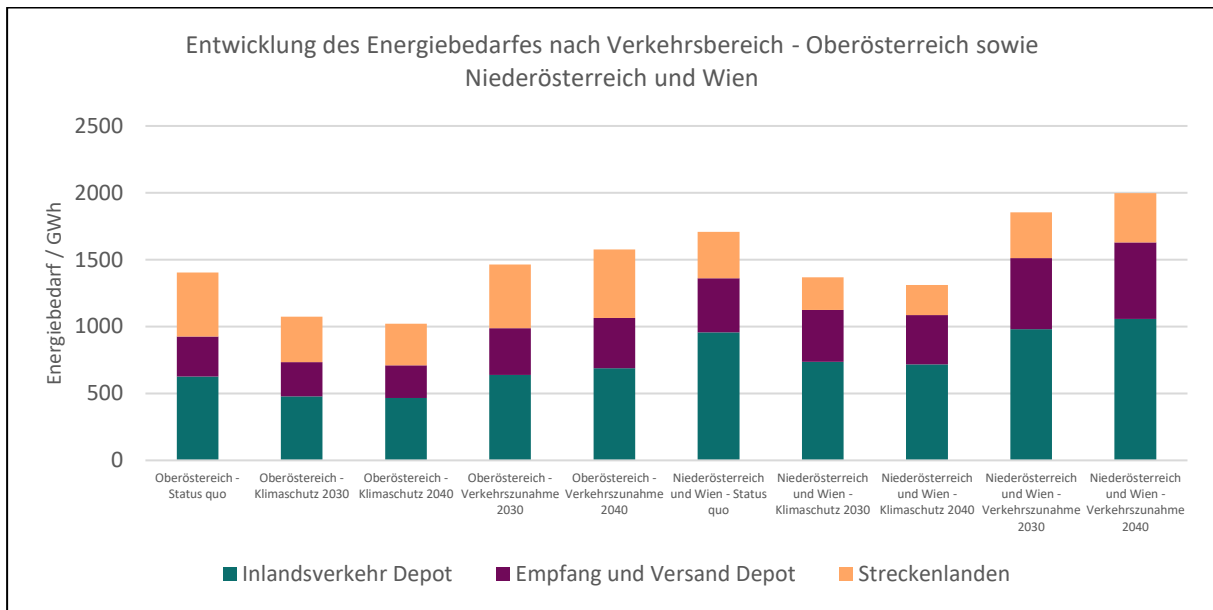


Abbildung 6-13: Entwicklung des Energiebedarfes in Oberösterreich sowie Niederösterreich und Wien in den Szenarien „Status quo“ sowie „Klimaschutz“ und „Verkehrszunahme“ für die Jahre 2030 und 2040 nach Verkehrsbereich.

7 ERUIERUNG DES LADEBEDARFES

In den vorangegangenen Kapiteln konnten durch statistische Auswertungen sowohl die Energiebedarfe in Depots und auf den Strecken der Bezirke als auch skalierte Ladelastkurven für die Bundesländer erhalten werden. In der Kombination ergeben sich die Ladelastkurven je Bezirk. Die Methodik zur Erlangung der skalierten Ladelastkurven sorgt dafür, dass der gesamte Verkehr berücksichtigt wird. Es bedarf keiner weiteren Unterteilung in die verschiedenen Verkehrsbereiche Inlandsverkehr, Empfang, Versand und Transit, da sie bereits aus der Summe des gesamten Verkehrs gewonnen wurden. Wenn der Energiebedarf über die genannten Verkehrsbereiche summiert wurde, muss er jeweils noch auf die Kategorie der Tage aufgeteilt werden. Wie in Kapitel 5.3 bestimmt ergeben sich im Durchschnitt 250,45 Werk-, 50,9 Sams- und 63,9 Sonn- und Feiertage in einem Jahr. Zur Eruierung der Ladelastkurven der Bezirke werden folgende Schritte gesetzt:

- Da die Tageskategorien unterschiedlich viel Verkehr und damit Ladebedarf haben, werden zu den skalierten Ladelastkurven die Integrale gebildet, die die Verkehrsintensität widerspiegeln. (Gleichung 7-1)
- Die Integrale der skalierten Ladelastkurven jeder Tageskategorie werden mit der Anzahl der Tage der Tageskategorie multipliziert. (Gleichung 7-1)
- Aus diesen Produkten wird eine Summe gewonnen. (Gleichung 7-1)
- Jedes Integral einer skalierten Ladelastkurve wird durch diese Summe dividiert und man bekommt den Anteil eines Tages der jeweiligen Tageskategorie am gesamten jährlichen Energiebedarf eines Bezirkes. (Gleichung 7-1)
- Im nächsten Schritt wird der jährliche Energiebedarf auf die Tageskategorien aufgeteilt. Dafür wird der Anteil mit dem jährlichen Energiebedarf multipliziert. (Gleichung 7-2)
- Multipliziert man nun diesen täglichen Energiebedarf mit den Werten der skalierten Ladelastkurven, erhält man die Ladelastkurve des untersuchten Bezirkes. (Gleichung 7-2)

Rechenweg am Beispiel für die Ladelastkurve an Werktagen für Bezirk Y:

$$\frac{\int_0^{24} p_{\text{Werktag}}(x)}{250,45 \cdot \int_0^{24} p_{\text{Werktag}}(x) + 50,9 \cdot \int_0^{24} p_{\text{Samstag}}(x) + 63,9 \cdot \int_0^{24} p_{\text{Sonntag}}(x)} = x_{\text{Werktag}} \quad \text{Gleichung 7-1}$$

$$x_{\text{Werktag}} \cdot E_{\text{Bezirk Y}} \cdot p_{\text{Werktag}}(x) = P_{\text{Werktag,Bezirk Y}}(x) \quad \text{Gleichung 7-2}$$

$p_{\text{Werktag}}(x)$	skalierte Ladelastkurve des Bezirkes Y an Werktagen
$p_{\text{Samstag}}(x)$	skalierte Ladelastkurve des Bezirkes Y an Samstagen
$p_{\text{Sonntag}}(x)$	skalierte Ladelastkurve des Bezirkes Y an Sonntagen
x_{Werktag}	Anteil der Werktage am gesamten jährlichen Energiebedarf
$E_{\text{Bezirk Y}}$	Gesamter jährlicher Energiebedarf des Bezirkes Y
$P_{\text{Werktag,Bezirk Y}}(x)$	Ladelastkurve des Bezirkes Y an Werktagen

In Abbildung 7-1 und Abbildung 7-2 sieht man die skalierte Ladelastkurve der oben genannten Rechnung und das Ergebnis anhand des Beispiels Tirols und dem Bezirk Imst. Der tägliche Energiebedarf wird dabei aus dem jährlichen Energiebedarf eruiert, indem der Anteil eines Tages der Tageskategorie am jährlichen Energiebedarf über die skalierten Ladelastkurven berechnet wird.

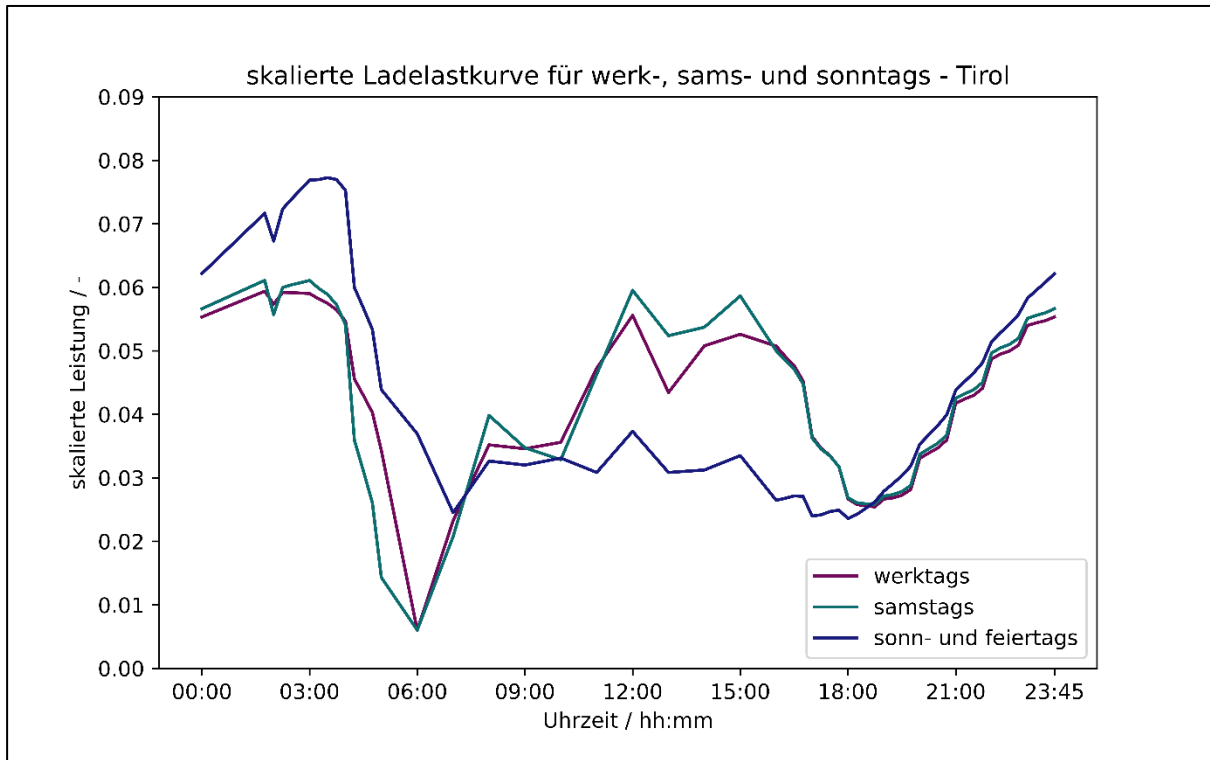


Abbildung 7-1: Skalierte Lastkurve für Tirol.

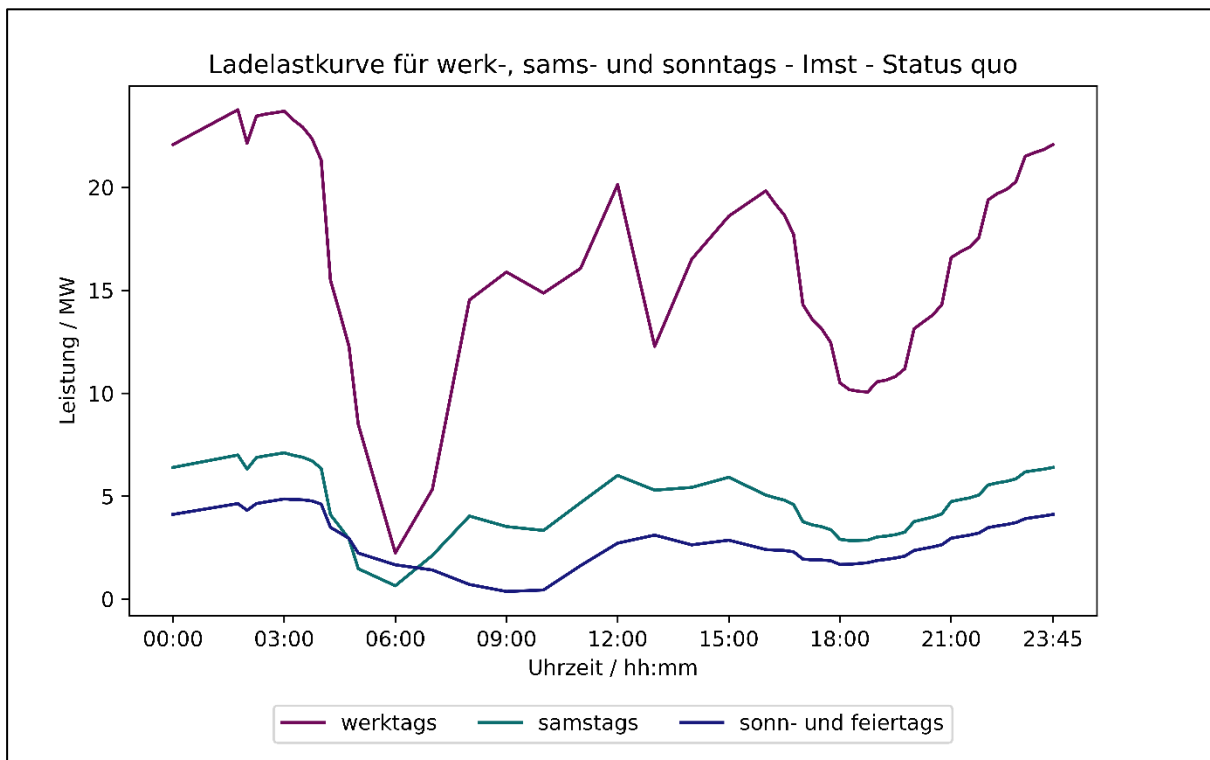


Abbildung 7-2: Ladelastkurve von Imst.

In Abbildung 7-3 und Abbildung 7-4 sind der Bezirk mit dem geringsten und dem größten Energiebedarf in der Steiermark abgebildet. Beide fußen auf derselben Lastkurve, weisen jedoch andere Spitzenwerte auf. Während in Murau maximal 3 MW benötigt werden, sind es in Graz 25 MW.

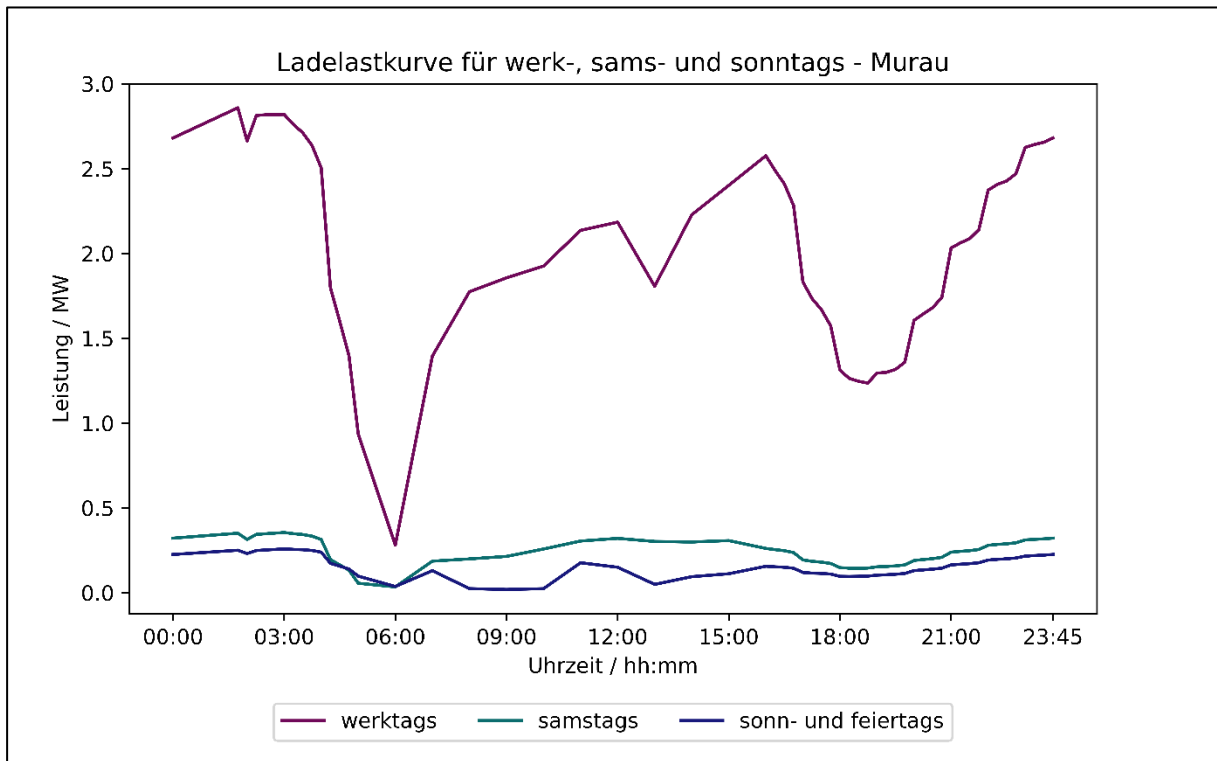


Abbildung 7-3: Ladelastkurve für Murau an Werk-, Sams- und Sonntagen mit Demand-Side-Management.

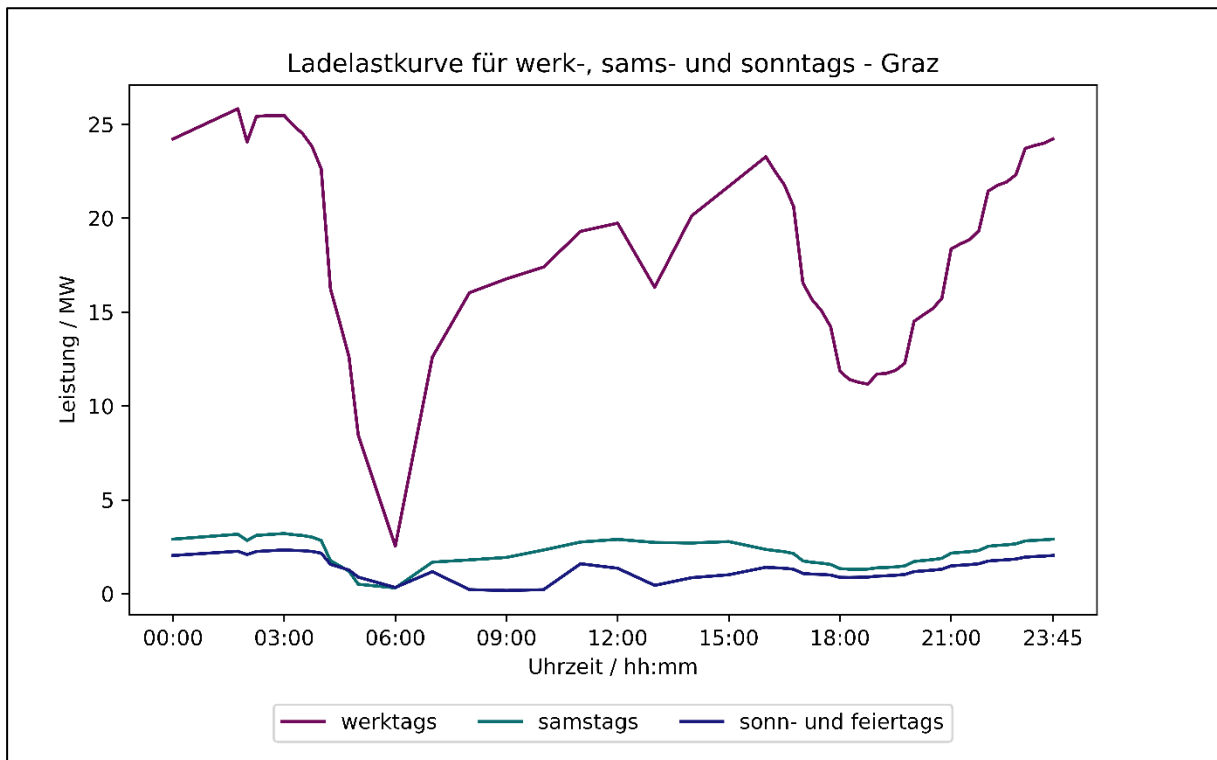


Abbildung 7-4: Ladelastkurve für Graz an Werk-, Sams- und Sonntagen mit Demand-Side-Management.

Für Gesamtösterreich ergeben sich, wie in Abbildung 7-5 ersichtlich, 1,4 GW an benötigter Leistung um ca. 2:00 Uhr. Für die Betrachtungen der Last im Stromnetz sind die Werktage und hier besonders die Spitzen um 2:00 Uhr, 12:00 Uhr und 16:00 Uhr von Bedeutung. Die sich von Gesamtösterreich durch verschiedene Verkehrsaufkommen unterscheidenden Bundesländerladekurve sind im Anhang abgebildet.

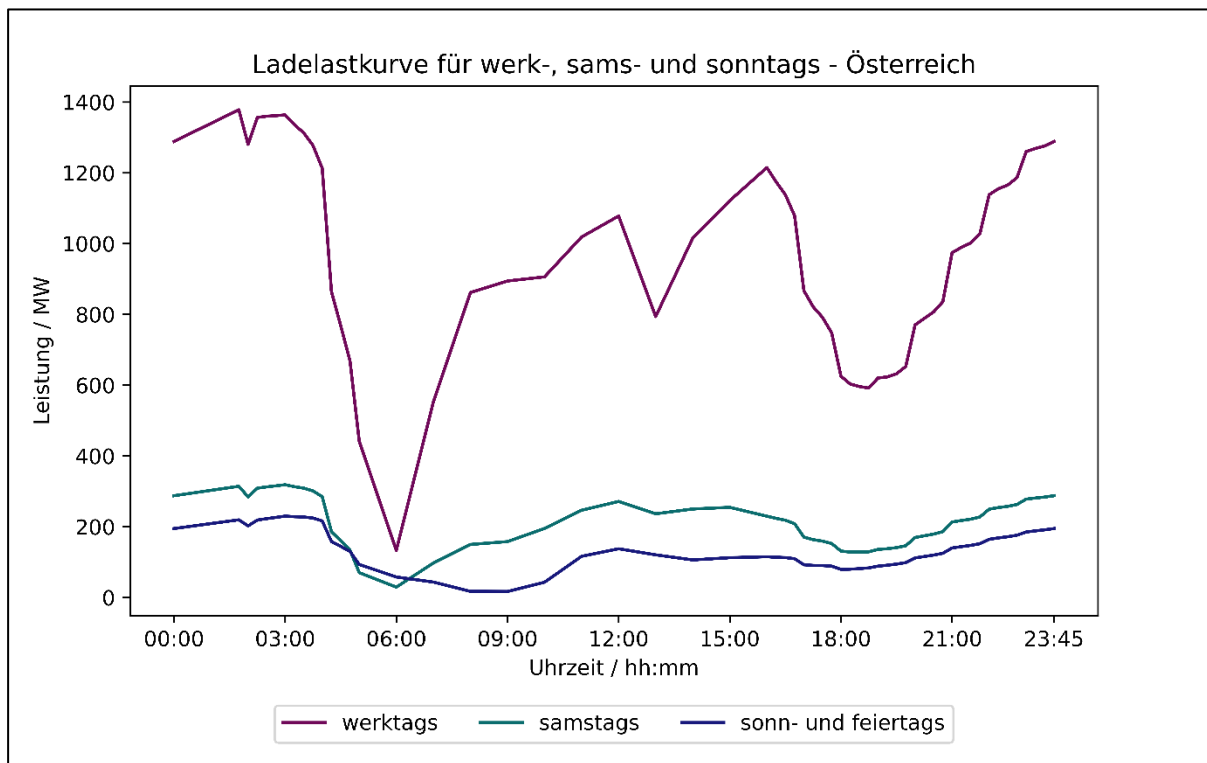


Abbildung 7-5: Ladelastkurve für ganz Österreich an Werk-, Sams- und Sonntagen.

Für die Jahre 2030 und 2040 sind abhängig vom hinterlegten Szenario die Spitzenleistungen bei implementierten Demand-Side-Management nach der Tabelle 7-1 zu erwarten. Die geringeren Werte für 2040 ergeben sich durch die Verteilung des Ladebedarfes durch autonom fahrende Fahrzeuge. Die Ladelastkurven für die Szenarien sind anschließend angeführt (Abbildung 7-5, Abbildung 7-6, Abbildung 7-7, Abbildung 7-8, Abbildung 7-9), wobei der vergleichsweise hohe Anteil an Grundlast im Jahr 2040 zu beachten ist. Dieser resultiert aus der Verteilung der Last durch autonom fahrende Fahrzeuge.

Tabelle 7-1: Ergebnisse die Spitzenlast im Status quo sowie für die Jahre 2030 und 2040 für die jeweiligen Szenarien.

Jahr	Status quo	2030		2040	
		Klimaschutz	Verkehrszunahme	Klimaschutz	Verkehrszunahme
Szenario					
	GW	GW	GW	GW	GW
Summe	1,40	1,07	1,46	0,90	1,39

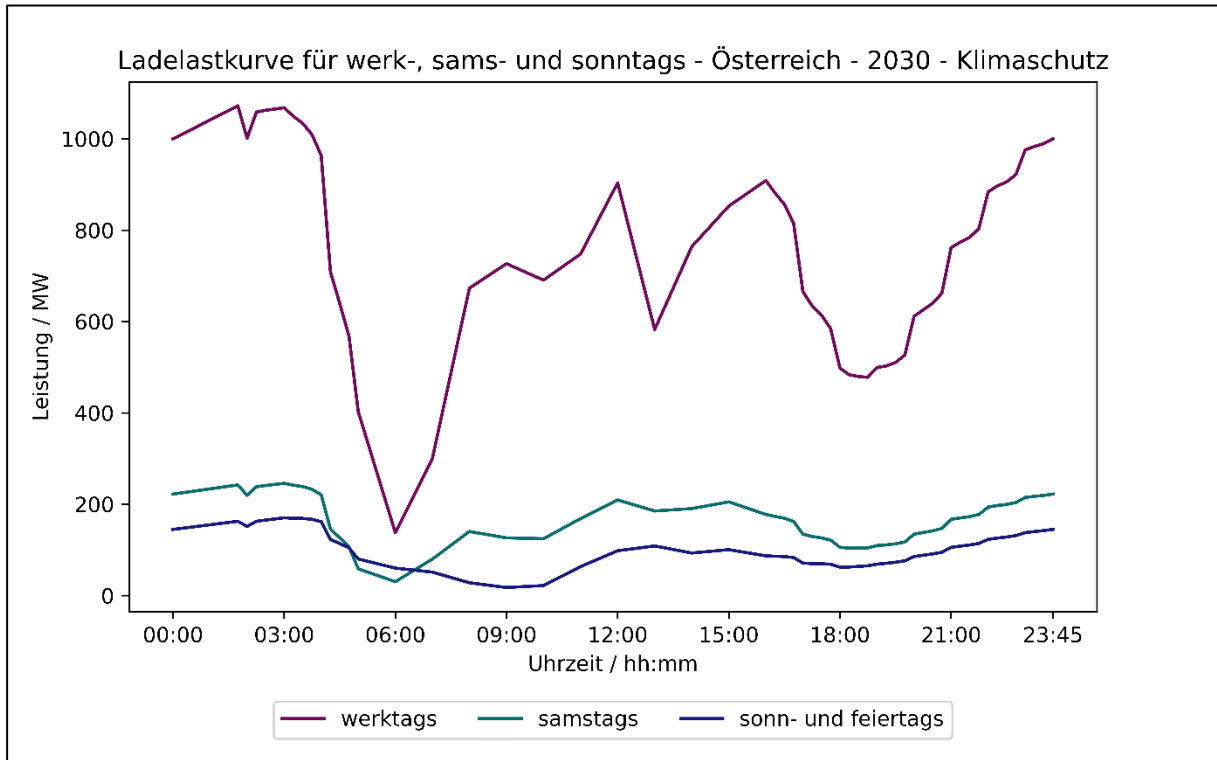


Abbildung 7-6: Ladelastkurve für ganz Österreich an Werk-, Sams- und Sonntagen im Szenario Klimaschutz 2030.

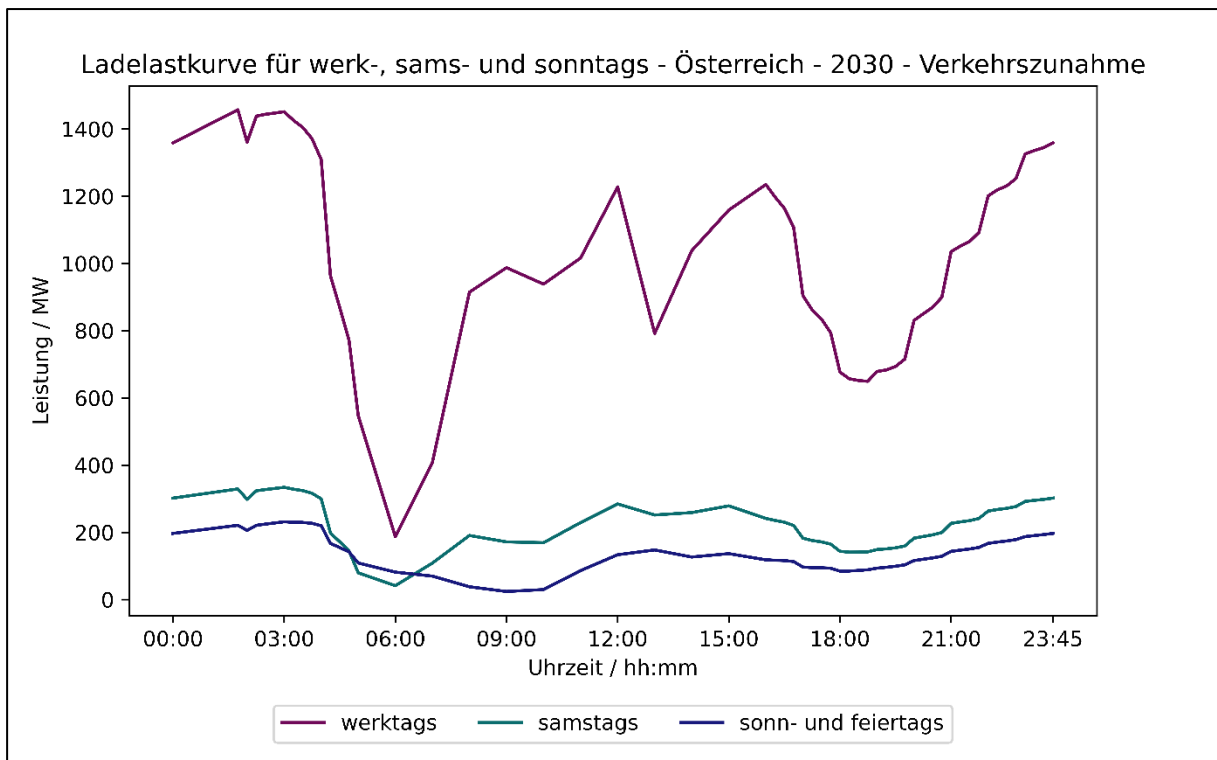


Abbildung 7-7: Ladelastkurve für ganz Österreich an Werk-, Sams- und Sonntagen im Szenario Verkehrszunahme 2030.

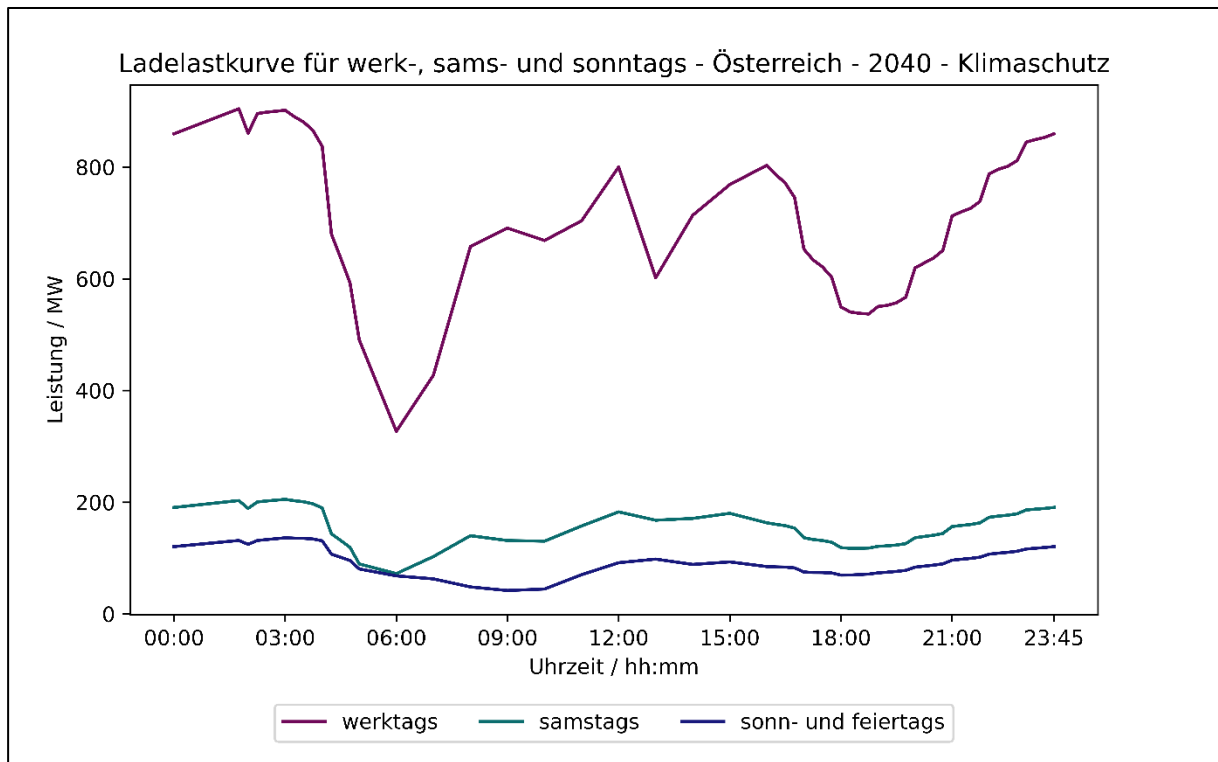


Abbildung 7-8: Ladelastkurve für ganz Österreich an Werk-, Sams- und Sonntagen im Szenario Klimaschutz 2040.

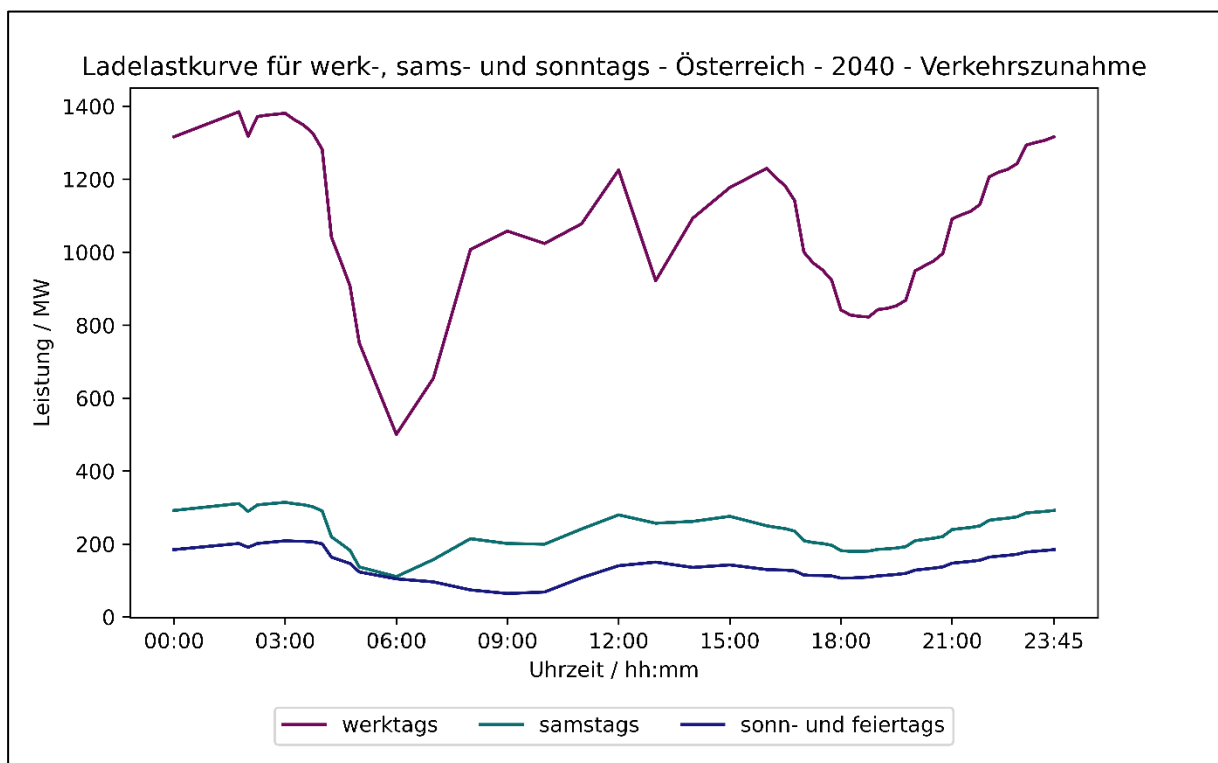


Abbildung 7-9: Ladelastkurve für ganz Österreich an Werk-, Sams- und Sonntagen im Szenario Verkehrszunahme 2040.

Geht man stets von 100% batterieelektrischen LKWs im Güterverkehr aus, ergeben sich je nach angelegtem Szenario und Zeithorizont unterschiedliche Spitzenlasten. Die ähnlichen Verläufe, die in Abbildung 7-10 zu sehen sind, unterscheiden sich dabei vom Status quo in ihrem Grundlastanteil aufgrund von autonom fahrenden Fahrzeugen (35% autonom fahrende Fahrzeuge 2040). Dadurch weist das Szenario Verkehrszunahme im Jahr 2040 nicht die höchste Lastspitze auf, obwohl hier der größte Energiebedarf bestünde. Besonders unter Tag erkennt man ähnliche Lasten der Kurven, die den Status quo und die Verkehrszunahme einerseits abbilden. Andererseits bewegen sich auch die Lasten, die „Klimaschutz“ verfolgen, nahe beieinander.

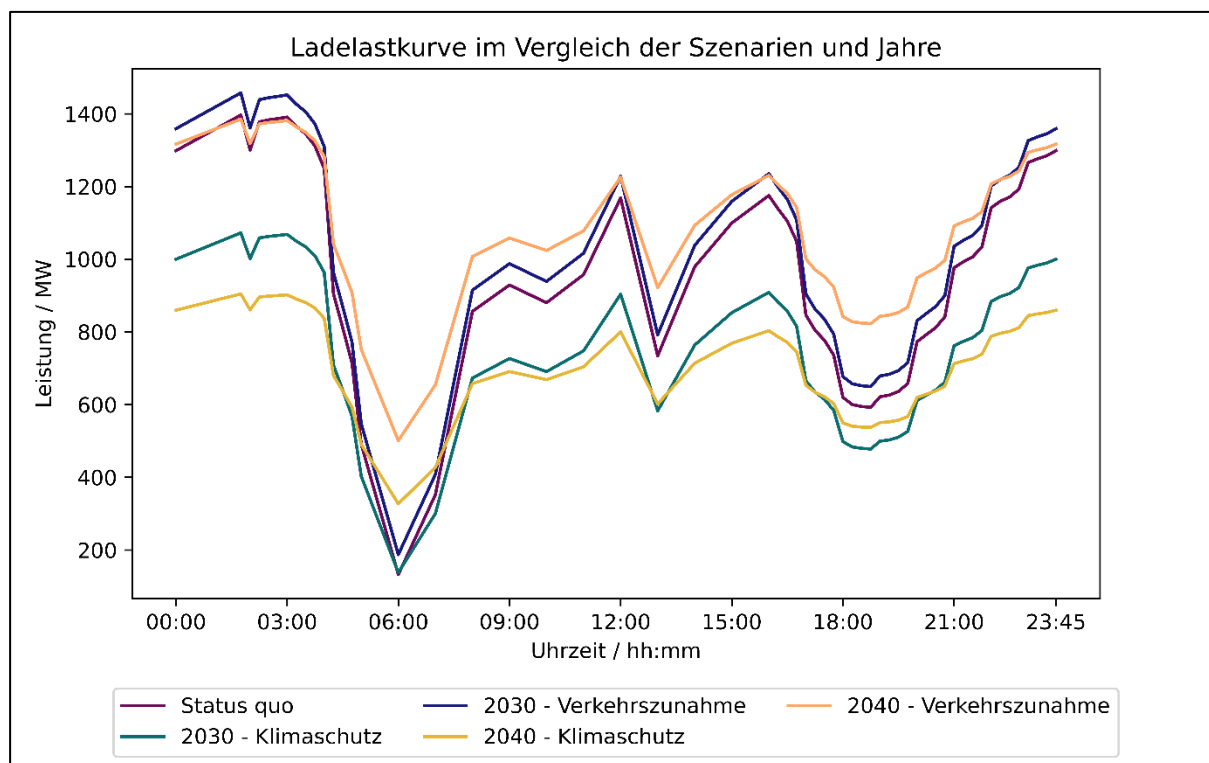


Abbildung 7-10: Vergleich der Ladelastkurven von Werktagen im Status quo und den Jahren 2030 und 2040 in den jeweiligen Szenarien für ganz Österreich.

Zum Vergleich zur sonst in Österreich auftretenden Last sei erwähnt, dass im Zeitraum vom 1. April 2023 bis 30. März 2024 die maximale Ist-Last 10,4 GW in einer 15-Minuten-Auflösung am 4. Dezember 2023 zwischen 8:45 Uhr und 9:00 Uhr laut Austrian Power Grid GmbH erreicht wurde. Die minimale Ist-Last entsprach 4,0 GW am 29. Mai 2023 von 3:45 Uhr bis 4:00 Uhr. [62]

Da die Maximalwerte in dieser Modellierung um 2:00 Uhr auftreten, sind die Maximal- und Minimalwerte der Ist-Last im erwähnten Zeitraum zwischen 1:00 Uhr und 3:00 Uhr in Österreich 7,2 GW (5. Dezember 2023) und 4,1 GW (29. Mai 2023) ebenso zu betrachten. Im Status quo ist demnach maximal mit einer Erhöhung um +34% zu rechnen. [62]

8 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Basierend auf Messwerten im Straßenverkehr, statistischen Daten und Literaturwerten wurde in dieser Arbeit der Energie- und Ladebedarf für einen zur Gänze elektrisch betriebenen Güterverkehr für jeden österreichischen Bezirk eruiert. Dabei wurden neben dem Status quo auch der Energie- und Ladebedarf für die Jahre 2030 und 2040 in zwei Szenarien prognostiziert. Entwicklungen, die das Erreichen der Klimaziele ermöglichen, sind dabei einerseits die Grundlage des Szenarios „Klimaschutz“. Das Szenario „Verkehrszunahme“ geht andererseits von einer Fortschreibung der aktuellen Zuwächse im Güterverkehr aus. Die Szenarien unterscheiden sich nicht nur in Abnahme oder Zunahme allgemein, sondern auch in unterschiedlichen Entwicklungen in den Verkehrsbereichen (Inlandsverkehr, Empfang und Versand, Transit). In allen Szenarien wird vom einem zu 100% elektrisch betriebenen Güterverkehrs ausgegangen.

Der Energiebedarf ergibt sich grundlegend aus Daten der Statistik Austria, über welche Fahrten von jedem Bezirk in Österreich in jeden anderen modelliert werden konnten. Für die Modellierung wurden die Distanzen zwischen den Bezirkshauptstädten gewählt. Dies wurde für die Verkehrsbereiche Inlands-, Empfangs- und Versand- sowie Transitverkehr durchgeführt. In Kombination mit Verbrauch und Reichweite wurden die Energiewerte jedes Bezirkes aufsummiert. Die Ergebnisse der Energiebedarfe für Österreich sind in Tabelle 8-1 zusammengefasst. Die Tabelle zeigt, dass der Energiebedarf für einen elektrisch betriebenen Güterverkehr im Status quo bei knapp 6 TWh liegen würde. Je nach angelegtem Szenario würde dieser bis 2040 um ca. 1,5 TWh (Klimaschutz) sinken oder um ca. 1,8 TWh (Verkehrszunahme) steigen. In den Ladespitzen ergibt sich einerseits bis 2040 mit 0,90 GW (Klimaschutz) ein geringerer Wert als im Status quo mit 1,40 TWh. Auch bei mehr Energiebedarf durch eine Verkehrszunahme bleibt der Wert nahezu konstant, da von einer breiteren Verteilung der Last über den Tag durch autonom fahrende Fahrzeuge ausgegangen wird.

Tabelle 8-1: Ergebnisse für den Status quo sowie für die Jahre 2030 und 2040 für die jeweiligen Szenarien.

Jahr Szenario	Einheit	Status quo	2030		2040	
			Klimaschutz	Verkehrszunahme	Klimaschutz	Verkehrszunahme
Energie- bedarf	TWh	5,94	4,65	6,32	4,44	6,80
Ladespit- zenlast	GW	1,40	1,07	1,46	0,90	1,39

Zeitlich verteilt sich der Ladebedarf über den Tag gemäß Abbildung 8-1. Der Ladebedarf konnte über die Straßenzählstationen bzw. deren Werte für den Schwerverkehr in allen sechs Bundesländern, die Daten zur Verfügung stellten, stündlich ermittelt werden. Hinzu kommt ein Demand-Side-Management, um die Netzlast in den Abendstunden gering zu halten. Das Maximum der Last verschiebt sich dadurch auf 2:00 Uhr in der Nacht. Dies ergab sich durch Hinterlegung der Erzeugung und Einspeicherung von Pumpspeicherkraftwerken, da so auch Strompreise miteinbezogen werden konnten. Die prognostizierten Ladekurven für die Jahre 2030 und 2040 sind dem Anhang zu entnehmen. Sie haben eine verhältnismäßig größere Grundlast aufgrund von autonom fahrenden LKWs. Dies ist in Abbildung 8-2 dadurch zu erkennen, dass die gelbe und orange Kurve, die beide das Jahr 2040 beschreiben, ein höheres Minimum

und ein vergleichsweise kleineres Maximum haben. Die höhere Grundlast bewirkt eine kleinere Spanne zwischen Maximum und Minimum.

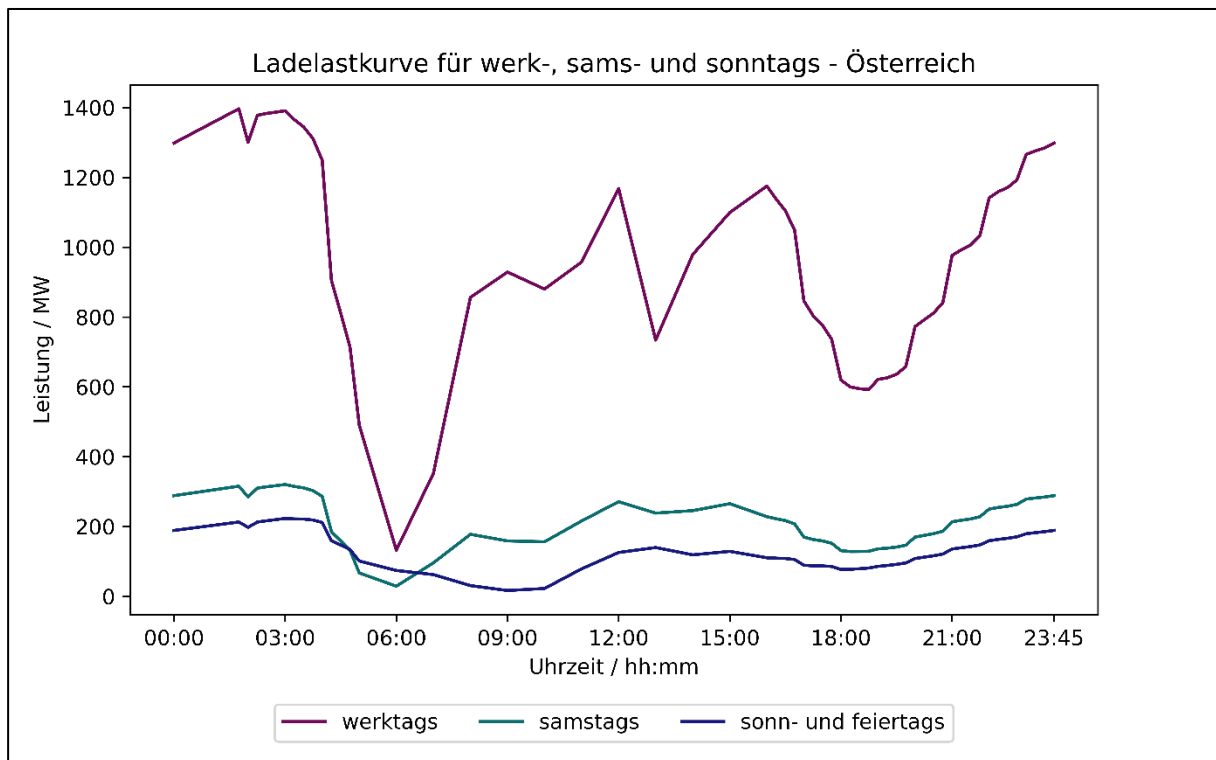


Abbildung 8-1: Ladelastkurve für ganz Österreich an Werk-, Sams- und Sonntagen im Szenario „Status quo“.

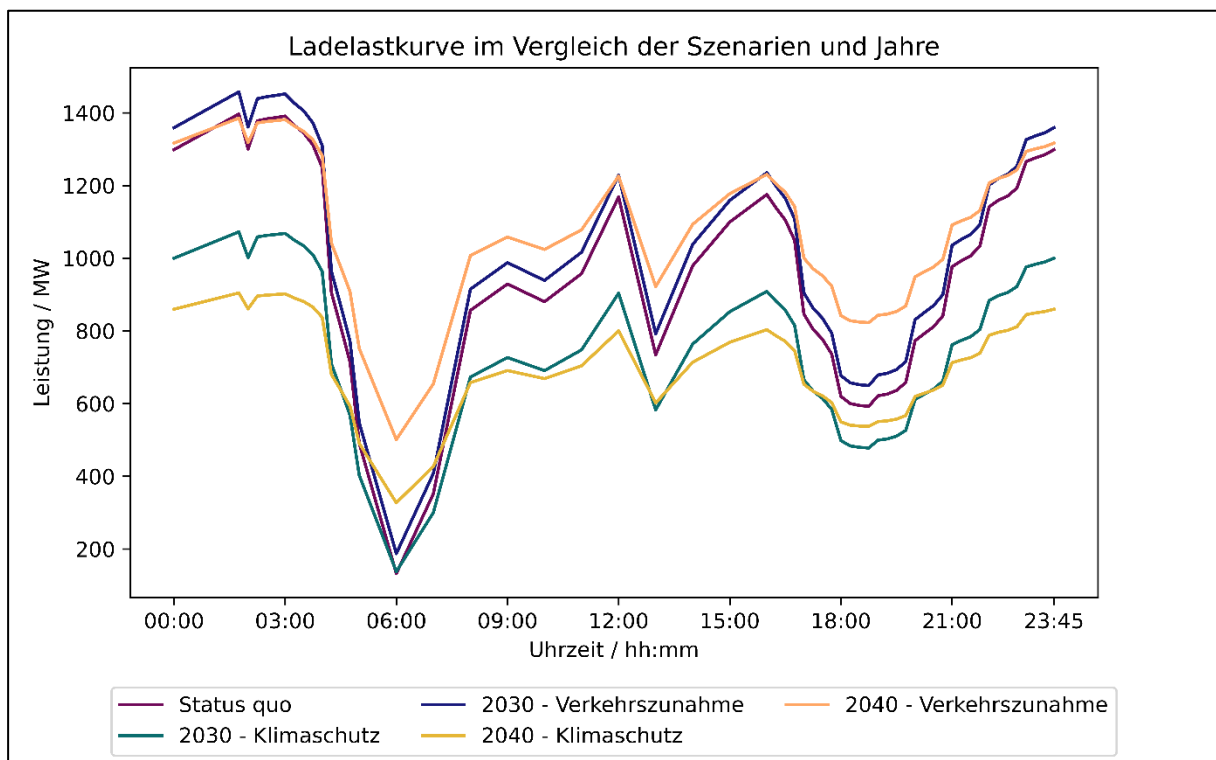


Abbildung 8-2: Vergleich der Ladelastkurven für Werktage für den Status quo, die Jahre 2030 und 2040 in den Szenarien „Klimaschutz“ und „Verkehrszunahme“.

Regional verteilt sich der Energiebedarf wie in Abbildung 8-3 zu sehen. Dabei sind die Bezirke mit dem geringsten Energiebedarf Eferding, Feldkirchen und Lilienfeld (in dieser Reihenfolge) mit Werten zwischen 3,01 GWh und 4,76 GWh. Am meisten wird in Wien (alle Bezirke gemeinsam betrachtet), Bruck an der Leitha, Linz-Land und Kufstein mit Werten von 167,51 GWh bis 265,07 GWh gebraucht. Allgemein wird entlang der Donau sowie in Kufstein und der Region Graz am meisten Energiebedarf zu erwarten sein.

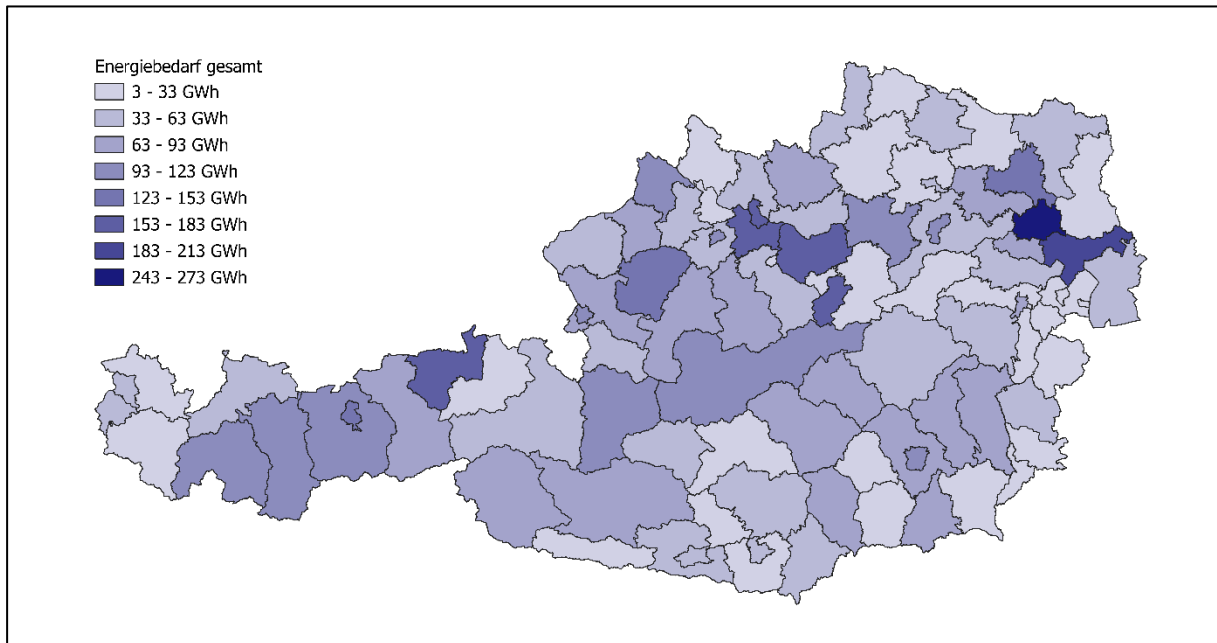


Abbildung 8-3: Gesamter Energiebedarf in Österreich nach Bezirken – Szenario „Status quo“.

Die Aufteilung zwischen den Verkehrsbereichen – Inlands-, Empfangs-, Versand- und Transitverkehr – zeigt, dass der Inlandsverkehr mit mehr als der Hälfte den höchsten Beitrag am Verbrauch ausmacht. Unter Streckenladen sind dabei der Transitverkehr sowie die Pausenladungen des Inlands-, Empfangs- und Versandverkehrs auf der Strecke zusammengefasst, wobei diese unter 4% ausmachen. Die Verteilung ist in Abbildung 8-4 dargestellt.

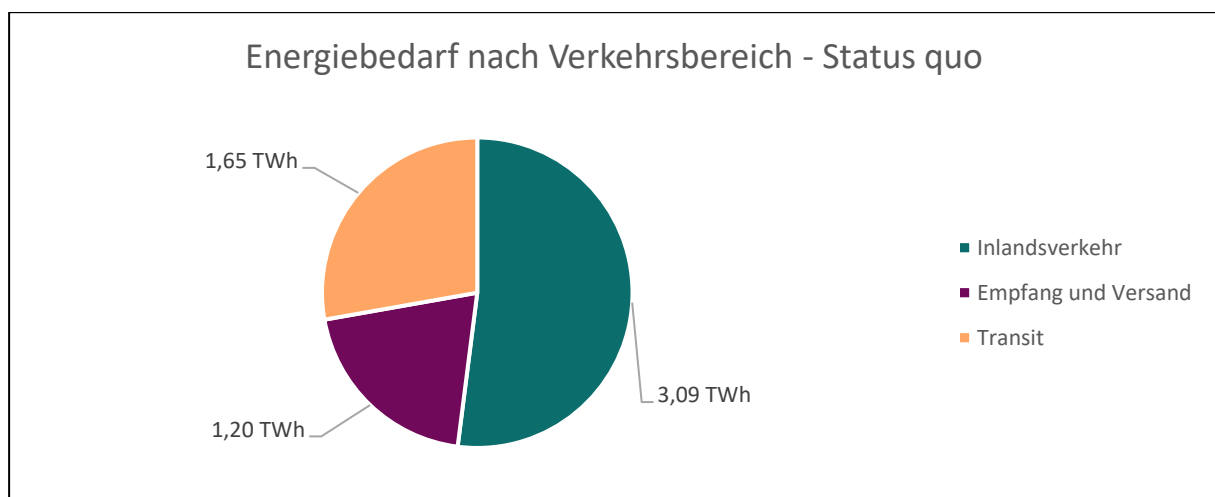


Abbildung 8-4: Verteilung des Energiebedarfes auf die Verkehrsbereiche im Szenario „Status quo“.

Durch die im Rahmen dieser Arbeit getroffenen Annahmen, wie die Veränderung des Verkehrsvolumens, die Fahrdistanz innerhalb der Bezirke, der Bevorzugung des Depotladens oder der direkten Korrelation zwischen Verkehrsveränderung untertags und dem Ladebedarf, ergeben sich Ergebnisse, die von der Realität abweichen können. Eine Validierung des Ergebnisses der Kilometermodellierung wurde vorgenommen und zeigt nur geringfügige Abweichungen (im Inlandsverkehr ca. 5%, im Empfangsverkehr ca. 10%). In einem weiteren Schritt könnten Informationen zur Verteilung der Reichweiten der Fahrten (Entfernungsstufen) genutzt werden, um die Genauigkeit azu erhöhen. Abweichungen können sich auch durch nicht betrachtete Fahrzeuge wie Feuerwehren oder Militärfahrzeuge ergeben.

Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen als Grundlage für weitere Entscheidungen dienen. Zum einen betrifft dies den Ausbau der Netz- und Ladeinfrastruktur, zum anderen ist auch die Stromaufbringung für die zusätzlich benötigte elektrische Energie eine Herausforderung der Zukunft.

9 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] WIRTSCHAFTSKAMMER BURGENLAND: *LKW-Fahrverbote im Ennstal und im Salzkammergut: Betrifft Bundesstraßen B 320, B 158 und B 145*. URL <https://www.wko.at/transport/lkw-fahrverbote-im-ennstal-und-im-salzkammergut#photoid-0>
- [2] UMWELTBUNDESAMT: *Austria's National Inventory Report 2024*. Wien, 2024
- [3] BUNDESMINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, ENERGIE, MOBILITÄT, INNOVATION UND TECHNOLOGIE: *Masterplan Güterverkehr 2030: Eine Umsetzungsstrategie des Mobilitätsmasterplans 2030 für den klimaneutralen Güterverkehr*. Wien, 2023
- [4] STATISTIK AUSTRIA: *Standard-Dokumentation: Metainformationen (Definitionen, Erläuterungen, Methoden, Qualität) zur Statistik des Straßengüterverkehrs*. Wien, 2020
- [5] EUROSTAT: *Road Freight Transport Methodology*. Luxemburg, 2017
- [6] AB VOLVO: *Our Electric Truck Range*. URL <https://www.volvotrucks.com/en-en/trucks/electric/volvo-fh-aero-electric.html>. – Aktualisierungsdatum: 2024-08-10 – Überprüfungsdatum 2024-08-10
- [7] DAIMLER TRUCK AG: *The eActros and its Services*. URL https://www.mercedes-benz-trucks.com/en_GB/emobility/world/our-offer/eactros-and-services.html. – Aktualisierungsdatum: 2024-08-10 – Überprüfungsdatum 2024-08-10
- [8] MAN TRUCK & BUS SE: *Elektro-LKW von MAN: Willkommen in der Ära der eTrucks*. URL <https://www.man.eu/at/de/lkw/elektro-lkw/uebersicht.html>. – Aktualisierungsdatum: 2024-08-10 – Überprüfungsdatum 2024-08-10
- [9] SCANIA AB: *Electric Trucks*. URL <https://www.scania.com/group/en/home/products-and-services/trucks/battery-electric-truck.html>. – Aktualisierungsdatum: 2024-08-10 – Überprüfungsdatum 2024-08-10
- [10] VOLVO: *Häufig gestellte Fragen zu Elektro-Lkw*. URL <https://www.volvotrucks.at/de-at/trucks/alternative-fuels/electric-trucks/faq.html#accordion-9b476d3ad5-item-83362249a2> – Überprüfungsdatum 2023-12-22
- [11] DAIMLER TRUCK HOLDING AG: *Investor Relations Release: Mercedes-Benz eActros LongHaul will celebrate world premiere as eActros 600 in October*. Leinfelden-Echterdingen, 2023
- [12] SCANIA AB: *Annual and Sustainability Report 2022*. Södertälje, 2023
- [13] ÖSTERREICHISCHE ENERGIEAGENTUR: *Auswirkungen der Digitalisierung auf Energieverbrauch und Klima in Österreich: D3.1 - Kurzpapier Szenarien*. Wien, 2022
- [14] FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEM- UND INNOVATIONSFORSCHUNG ISI: *Lieferverkehr mit Batterie-Lkw: Machbarkeit 2021*. Karlsruhe, 2021
- [15] NATIONALE LEITSTELLE LADEINFRASTRUKTUR: *Einfach laden an Rastanlagen: Auslegung des Netzanschlusses für E-Lkw-Lade-Hubs*. Berlin, 2022
- [16] IFEU; PTV TRANSPORT CONSULT: *Vergleichende Analyse der Potentiale von Antriebstechnologien für Lkw im Zeithorizont 2030: Teilbericht im Rahmen des Vorhabens „Elektrifizierungspotential des Güter- und Busverkehrs - My eRoads“*. Heidelberg, 2023
- [17] INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION: *Zero-emission bus and truck market in China: A 2022 update*. Berlin, 2023

- [18] LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY: *Why Regional and Long-Haul Trucks are Primed for Electrification Now*. Berkeley, 2021
- [19] SHOMAN, Wasim ; YEH, Sonia ; SPREI, Frances ; PLÖTZ, Patrick ; SPETH, Daniel: *Battery electric long-haul trucks in Europe: Public charging, energy, and power requirements*. Göteborg, Karlsruhe, 2023
- [20] INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION: *Battery electric tractor-trailers in the European Union: A vehicle technology analysis*. Berlin, 2021
- [21] BASMA, Hussein ; RODRÍGUEZ, Felipe: *The European heavy-duty vehicle market until 2040: Analysis of decarbonization pathways*. Berlin, 2023
- [22] TRANSPORT & ENVIRONMENT: *Die Dekarbonisierung des Lkw-Fernverkehrs in Deutschland: Ein Vergleich der verfügbaren Antriebstechnologien und ihrer Kosten*. Brüssel, 2021
- [23] SMART MOBILITY INSTITUTE: *Klimafreundliche Kühlsysteme für den Straßengüterverkehr: Marktüberblick und Dekarbonisierungspotenziale*. Bremerhaven, 2023
- [24] DU PLESSIS, Martin Johannes ; VAN EEDEN, Joubert ; GOEDHALS-GERBER, Leila ; ELSE, Jacques: *Calculating Fuel Usage and Emissions for Refrigerated Road Transport Using Real-World Data*. Stellenbosch, 2023
- [25] MAIORINO, Angelo ; PETRUZZIELLO, Fabio ; APREA, Ciro: *Refrigerated Transport: State of the Art, Technical Issues, Innovations and Challenges for Sustainability*. Fisciano, 2021 (21)
- [26] SONG, Haiying ; CAI, Minghua ; CEN, Jian ; XU, Chenhua ; ZENG, Qingmeng: *Research on energy saving optimization method of electric refrigerated truck based on genetic algorithm*. Guangdong, 2022
- [27] LIEBHERR: *Elektrische Fahrmischer : Baureihe ETM*. URL <https://www.liebherr.com/external/products/products-assets/8256f08f-cb3f-4760-bcd4-6dedd7b4219d/liebherr-brochure-truck-mixer-ETM-de.pdf>
- [28] STATISTIK AUSTRIA: *NST 2007 - Struktur*. URL https://www.statistik.at/KDBWeb/pages/Kdb_versionDetail.jsp?#3548258 – Überprüfungsdatum 2024-04-13
- [29] BACKHAUS, Richard: *Schnelleres Laden von Pkw und Nfz*. Wiesbaden, 2022
- [30] ASFINAG: *Rastanlagensuche*. URL <https://www.asfinag.at/parken-rasten/rastanlagensuche/?mapClusterMarker=0&facetFilter=%7B%22servicesFacet%22:%5B%22electric%22%5D,%22source%22:%5B%22Asfinag%22%5D%7D&highlightElectric=1> – Überprüfungsdatum 2024-04-21
- [31] ORF: *ASFINAG-Ziel: E-Ladesäule alle 25 Kilometer*. URL <https://oesterreich.orf.at/stories/3186005/>. – Aktualisierungsdatum: 2022-12-12 – Überprüfungsdatum 2024-04-21
- [32] BUNDESMINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, ENERGIE, MOBILITÄT, INNOVATION UND TECHNOLOGIE: *Sofortprogramm: Erneuerbare Energie in der Mobilität: Eine Umsetzungsstrategie des Mobilitätsmasterplan 2030 für die Energiewende im Straßenverkehr*. Wien, 2022
- [33] KAMPKER, Achim (Hrsg.); HEIMES, Heiner Hans (Hrsg.): *Elektromobilität*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2024

- [34] ALMASKATI, Deema ; KERMANSCHACHI, Sharareh ; PAMIDIMUKKULA, Apurva: *Autonomous vehicles and traffic accidents*. Arlington, 2023
- [35] MAN TRUCK & BUS SE: *Sustainability Report 2022*. München, 2023
- [36] AB VOLVO: *Annual Report 2022*. Göteborg, 2023
- [37] DAIMLER TRUCK HOLDING AG: *Daimler Truck Annual Report 2022*. Leinfelden-Echterdingen, 2023
- [38] FUTURE AGENDA LIMITED: *The Future of the Autonomous Vehicles: Global Insights gained from Multiple Expert Discussions*. London, 2020
- [39] ANDERSSON, Peter ; IVEHAMMAR, Pernilla: *Benefits and Costs of Autonomous Trucks and Cars*. In: *Journal of Transportation Technologies* 09 (2019), Nr. 02, S. 121–145
- [40] STATISTIK AUSTRIA: *Güterverkehr auf Österreichs Straßen*. Wien, 2024
- [41] OECD: *ITF Transport Outlook 2023*. Paris, 2023
- [42] EUROPÄISCHE KOMMISSION: *EU Reference Scenario 2020 : Energy, transport and GHG emissions - Trends to 2050*. Luxemburg, 2021
- [43] KUMMER, Sebastian: *Modal-Studie zum Verlagerungspotential des Güterverkehrs*. Wien, 2021
- [44] ANGELINI, Alessandra ; HEINFELLNER, Holger ; PFAFFENBICHLER, Paul ; SCHWINGSHACKL, Michael: *Transition Mobility 2040: Entwicklung eines Klima- und Energieszenarios zur Abbildung von Klimaneutralität im Verkehr 2040*. Wien: Umweltbundesamt, 2022 (Report / Umweltbundesamt [Neue Folge], 808)
- [45] EUROPÄISCHES PARLAMENT UND RAT: *Verordnung (EG) Nr. 561/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. März 2006 zur Harmonisierung bestimmter Sozialvorschriften im Straßenverkehr und zur Änderung der Verordnungen (EWG) Nr. 3821/85 und (EG) Nr. 2135/98 des Rates sowie zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 3820/85 des Rates* (in Kraft getr. am 15. 3. 2006) (2006-03-15). URL <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:02006R0561-20150302&from=DE>
- [46] BUNDESMINISTER FÜR ARBEIT, SOZIALES UND KONSUMENTENSCHUTZ: *Lenker/innen-Ausnahmereverordnung* (idF v. 27. 12. 2023) (2010). URL <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20006649>
- [47] NATIONALRAT: *Straßenverkehrsordnung 1960* (idF v. 27. 12. 2023) (1960). URL <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10011336&FassungVom=2021-08-31>
- [48] BUNDESMINISTERIUM FÜR HANDEL, GEWERBE UND INDUSTRIE: *Kraftfahrgesetz-Durchführungsverordnung 1967* (in Kraft getr. am 1967) (1967). URL <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10011385>
- [49] DAIMLER TRUCK AG: *Für das Maximum an eActros*. 2023
- [50] UMWELTBUNDESAMT DEUTSCHLAND: *Lärmindernde Fahrbahnbeläge: Ein Überblick über den Stand der Technik*. Desslau-Roßlau, 2014
- [51] WIRTSCHAFTSKAMMER BURGENLAND: *Lkw-Fahrverbote A 12 Inntal Autobahn (Tirol): Sektorales Fahrverbot : Eingeschränkter Transport bestimmter Güter*

- [52] WIRTSCHAFTSKAMMER BURGENLAND: *LKW Fahrverbot wegen Feinstaub | Burgenland: Infos, Fristen und Ausnahmen*
- [53] WIRTSCHAFTSKAMMER BURGENLAND: *LKW-Fahrverbot Oberösterreich ab Juli 2016: Gültig für die A1 Westautobahn*
- [54] WIRTSCHAFTSKAMMER BURGENLAND: *Lkw-Fahrverbote A 12 Inntal Autobahn (Tirol): Nachtfahrverbot und Euroklassenfahrverbote: Welche Einschränkungen sind zu beachten?*
- [55] WIRTSCHAFTSKAMMER BURGENLAND: *LKW-Fahrverbote in den steirischen Sanierungsgebieten: Ab 1.1.2018 auch gültig für LKW mit weniger als 7,5 Tonnen*
- [56] WIRTSCHAFTSKAMMER BURGENLAND: *Lkw-Fahrverbot wegen Feinstaub in Wien und dem östlichen Niederösterreich: Welche Fahrzeuge unterliegen dem Fahrverbot? Gibt es Ausnahmen? Wie sehen die Kennzeichnungspflichten aus?*
- [57] EUROPÄISCHES PARLAMENT UND RAT: *Verordnung (EG) Nr. 715/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2007 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6) (idF v. 28. 12. 2023) (2020)*. URL <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A02007R0715-20200901>
- [58] STATISTIK AUSTRIA: *Transportaufkommen und Transportleistung des Straßengüterverkehrs ab 2006*. Wien, 2024
- [59] STATISTIK AUSTRIA: *Standort der Arbeitsstätten Gebietsstand 01.01.2021 (Politischer Bezirk) nach Anzahl an Beschäftigten, Zensusjahr und ÖNACE 2008 (Abschnitt)*. 2024, Wien
- [60] STATISTIK AUSTRIA: *Fahrten im Straßenverkehr ab 2006*. Wien, 2024
- [61] BUNDESMINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, ENERGIE, MOBILITÄT, INNOVATION UND TECHNOLOGIE: *Erhebung alpenquerender Güterverkehr 2019 Österreich: CAFTA 2019*. URL <https://www.bmk.gv.at/themen/verkehrsplanung/statistik/caft/caft19.html>. – Aktualisierungsdatum: 2024-04-21
- [62] AUSTRIAN POWER GRID GMBH: *Markttransparenz*. Wien, 2024

10 ANHANG

Tabelle 10-1: Aufschlüsselung der Produktkategorie nach NST 2007 mit detaillierter Benennung der für Kühl- und Betontransport relevanten Kategorien. [28]

Code	Bezeichnung	Relevanz
01	- Erzeugnisse der Landwirtschaft, Jagd und Forstwirtschaft; Fische und Fischereierzeugnisse	
	1 Getreide	
	2 Kartoffeln	
	3 Zuckerrüben	
	4 Anderes frisches Obst und Gemüse	Kühlung
	5 Forstwirtschaftliche Erzeugnisse	
	6 Lebende Pflanzen und Blumen	
	7 Andere Erzeugnisse pflanzlichen Ursprungs	Kühlung
	8 Lebende Tiere	
	9 Kuh-, Schaf- und Ziegenmilch, roh	Kühlung
	A Andere Erzeugnisse tierischen Ursprungs	Kühlung
	B Fische und Fischereierzeugnisse	Kühlung
02	Kohle; rohes Erdöl und Erdgas	
03	Erze, Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse; Torf; Uran- und Thoriumerze	
04	Nahrungs- und Genussmittel	
	1 Fleisch, rohe Häute und Felle, Fleischerzeugnisse	Kühlung
	2 Fisch und Fischerzeugnisse, verarbeitet und haltbar gemacht	Kühlung
	3 Obst und Gemüse, verarbeitet und haltbar gemacht	Kühlung
	4 Tierische und pflanzliche Öle und Fette	Kühlung
	5 Milch, Milcherzeugnisse und Speiseeis	Kühlung
	6 Mahl- und Schälmlenerzeugnisse; Stärke und Stärkeerzeugnisse; Futtermittel	
	7 Getränke	
	8 Sonstige Nahrungsmittel a.n.g. und Tabakerzeugnisse (außer im Paketdienst oder als Sammelgut)	
	9 Sonstige Nahrungsmittel und Tabakerzeugnisse im Paketdienst oder als Sammelgut	
05	Textilien und Bekleidung; Leder und Lederwaren	
06	Holz sowie Holz-, Kork- und Flechtwaren (ohne Möbel); Papier, Pappe und Waren daraus; Verlags- und Druckerzeugnisse, bespielte Ton-, Bild- und Datenträger	
07	Kokereierzeugnisse und Mineralölerzeugnisse	

08	Chemische Erzeugnisse und Chemiefasern; Gummi- und Kunststoffwaren; Spalt- und Brutstoffe	
	1 Chemische Grundstoffe, mineralisch	
	2 Chemische Grundstoffe, organisch	Kühlung
	3 Stickstoffverbindungen und Düngemittel (ohne natürliche Düngemittel)	Kühlung
	4 Basiskunststoffe und synthetischer Kautschuk, in Primärformen	
	5 Pharmazeutische und parachemische Erzeugnisse	Kühlung
	6 Gummi- oder Kunststoffwaren	
	7 Spalt- und Brutstoffe	
09	Sonstige Mineralerzeugnisse	
	1 Glas und Glaswaren, Porzellan und keramische Erzeugnisse	
	2 Zement, Kalk, gebrannter Gips	
	3 Sonstige Baumaterialien und -erzeugnisse	Beton
	10 Metalle und Halbzeug daraus; Metallerzeugnisse, ohne Maschinen und Geräte	
	Maschinen und Ausrüstungen a.n.g.; Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräte und -einrichtungen; Geräte der Elektrizitätserzeugung und -verteilung u. Ä.;	
11	Nachrichtentechnik, Rundfunk- und Fernsehgeräte sowie elektronische Bauelemente; Medizin-, Mess-, steuerungs- und regelungstechnische Erzeugnisse; optische Erzeugnisse; Uhren	
12	Fahrzeuge	
13	Möbel, Schmuck, Musikinstrumente, Sportgeräte, Spielwaren und sonstige Erzeugnisse	
14	Sekundärrohstoffe; kommunale Abfälle und sonstige Abfälle	
15	Post, Pakete	
16	Geräte und Material für die Güterbeförderung	
17	Im Rahmen von privaten und gewerblichen Umzügen beförderte Güter; von den Fahrgästen getrennt befördertes Gepäck; zum Zwecke der Reparatur bewegte Fahrzeuge; sonstige nichtmarktbestimmte Güter a.n.g.	
18	Sammelgut: eine Mischung verschiedener Arten von Gütern, die zusammen befördert werden	
19	Nicht identifizierbare Güter: Güter, die sich aus irgendeinem Grund nicht genau bestimmen lassen und daher nicht den Gruppen 01-16 zugeordnet werden können	
20	Sonstige Güter a.n.g.	

10.1 Verkehrsintensität der Bundesländer

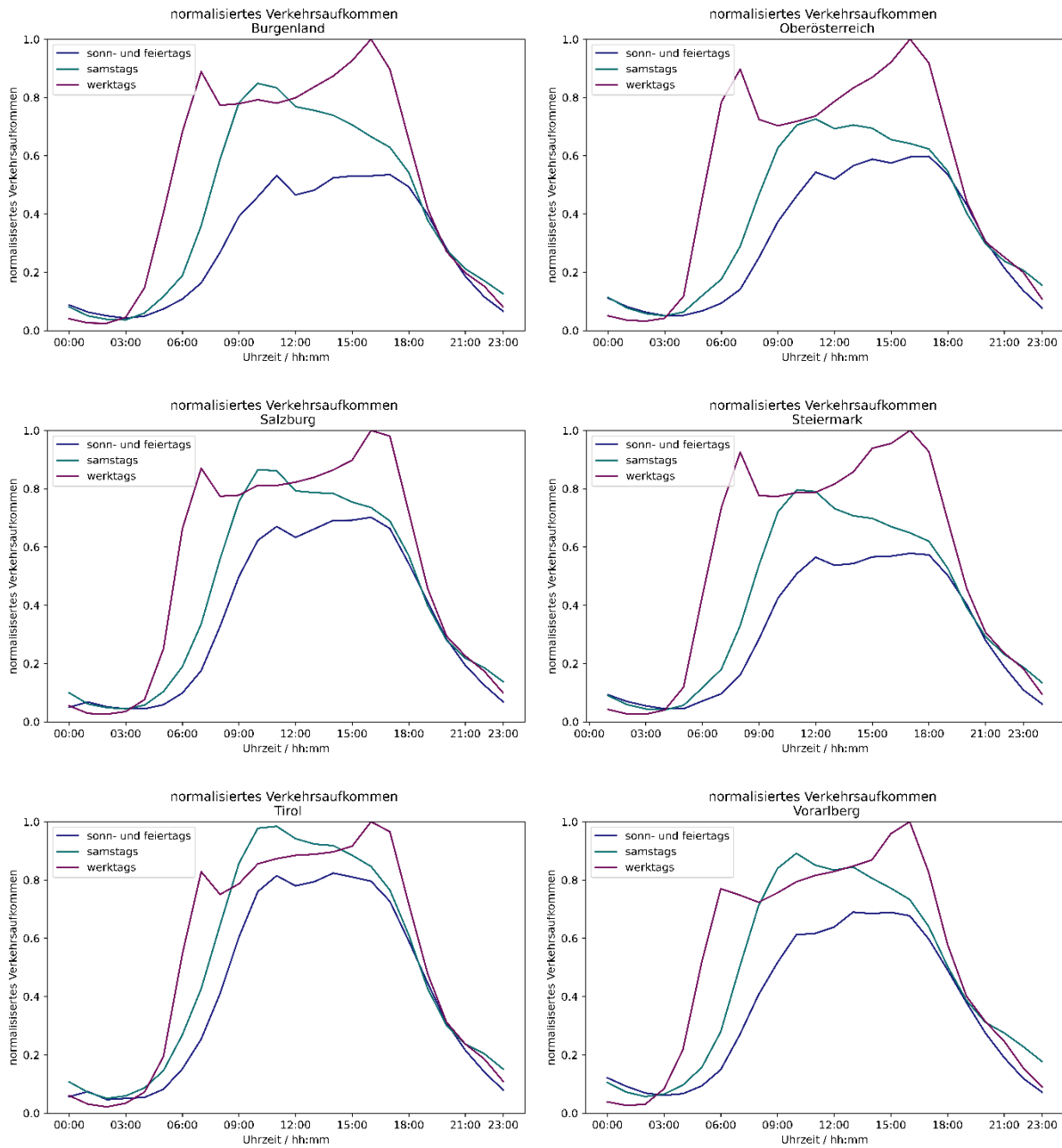


Abbildung 10-1: Normalisiertes Verkehrsaufkommen aller Kfz in den Bundesländern.

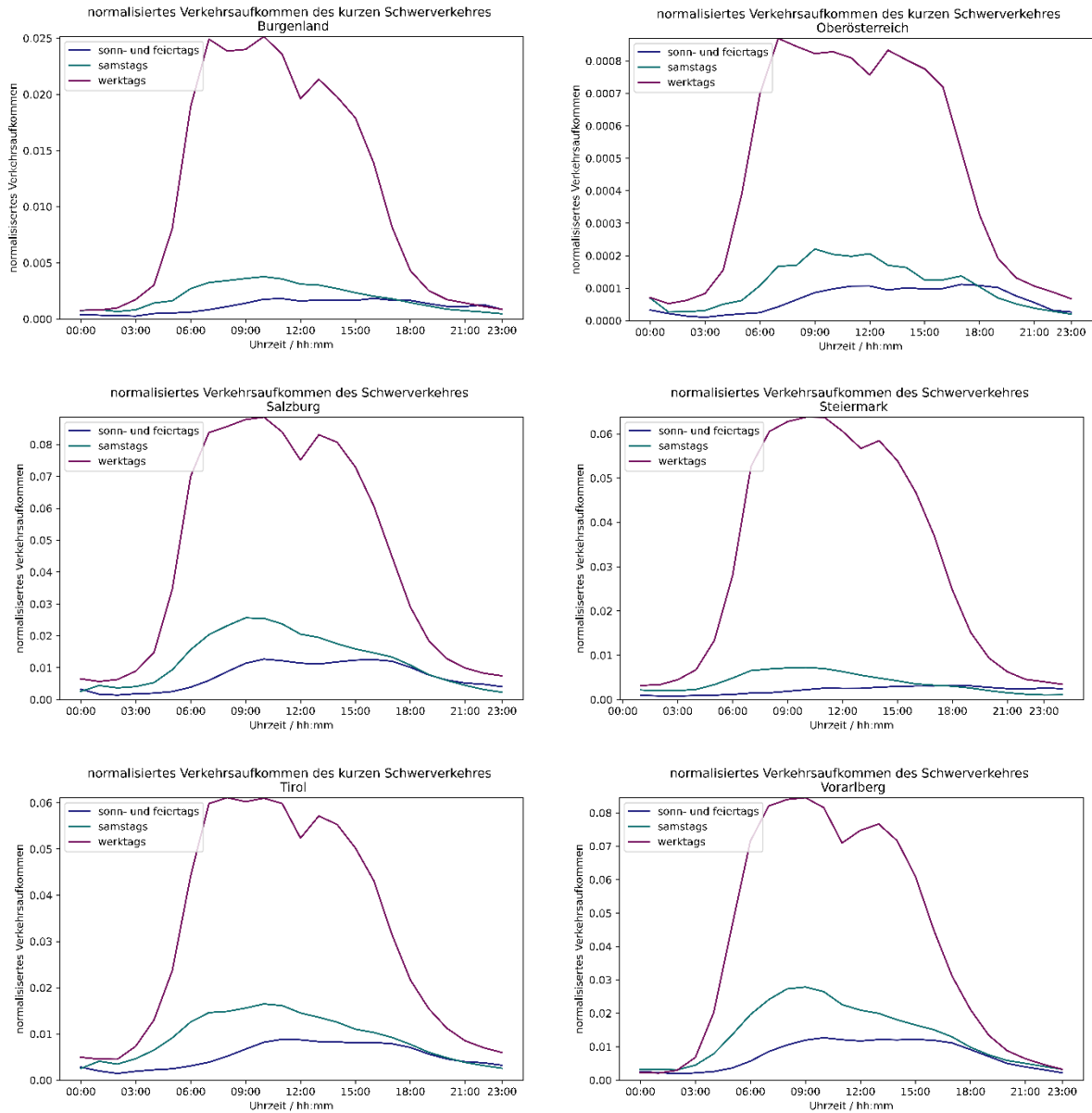


Abbildung 10-2: Normalisiertes Verkehrsaufkommen des (kurzen) Schwerververkehrs in den Bundesländern.

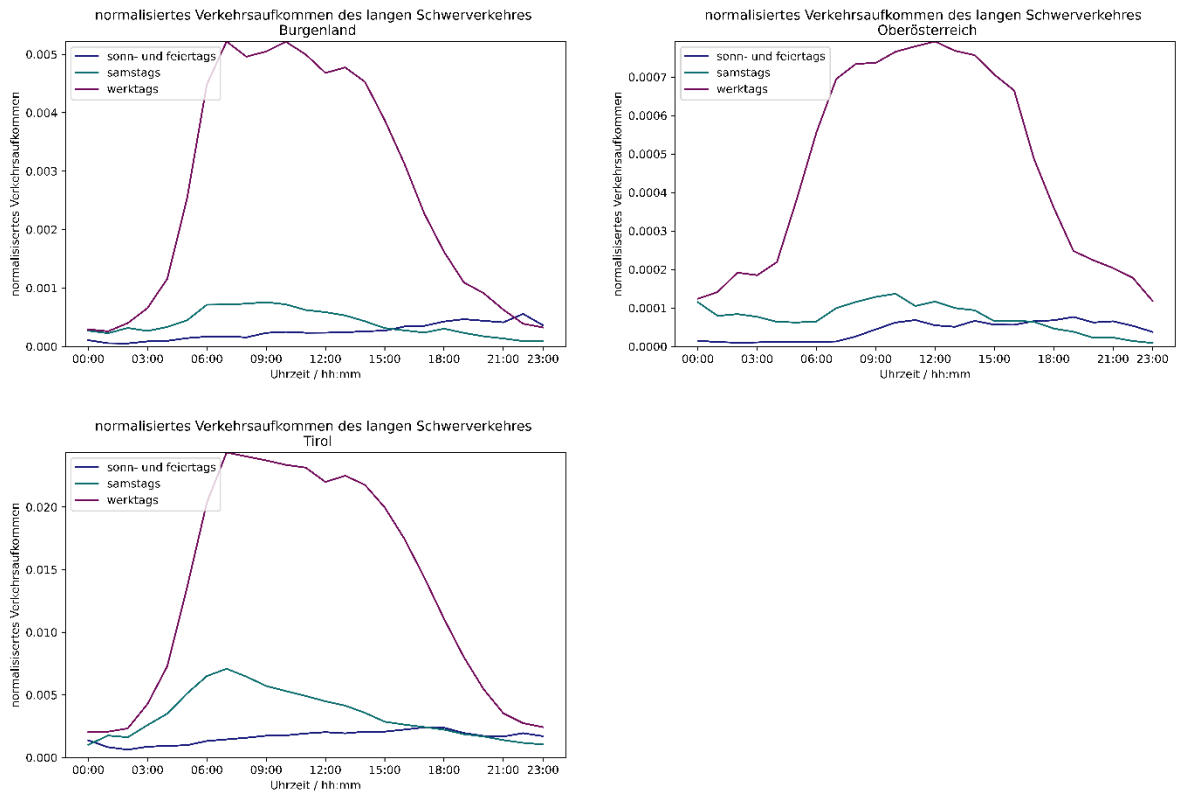


Abbildung 10-3: Normalisiertes Verkehrsaufkommen des langen Schwerverkehres in den Bundesländern Burgenland, Oberösterreich und Tirol.

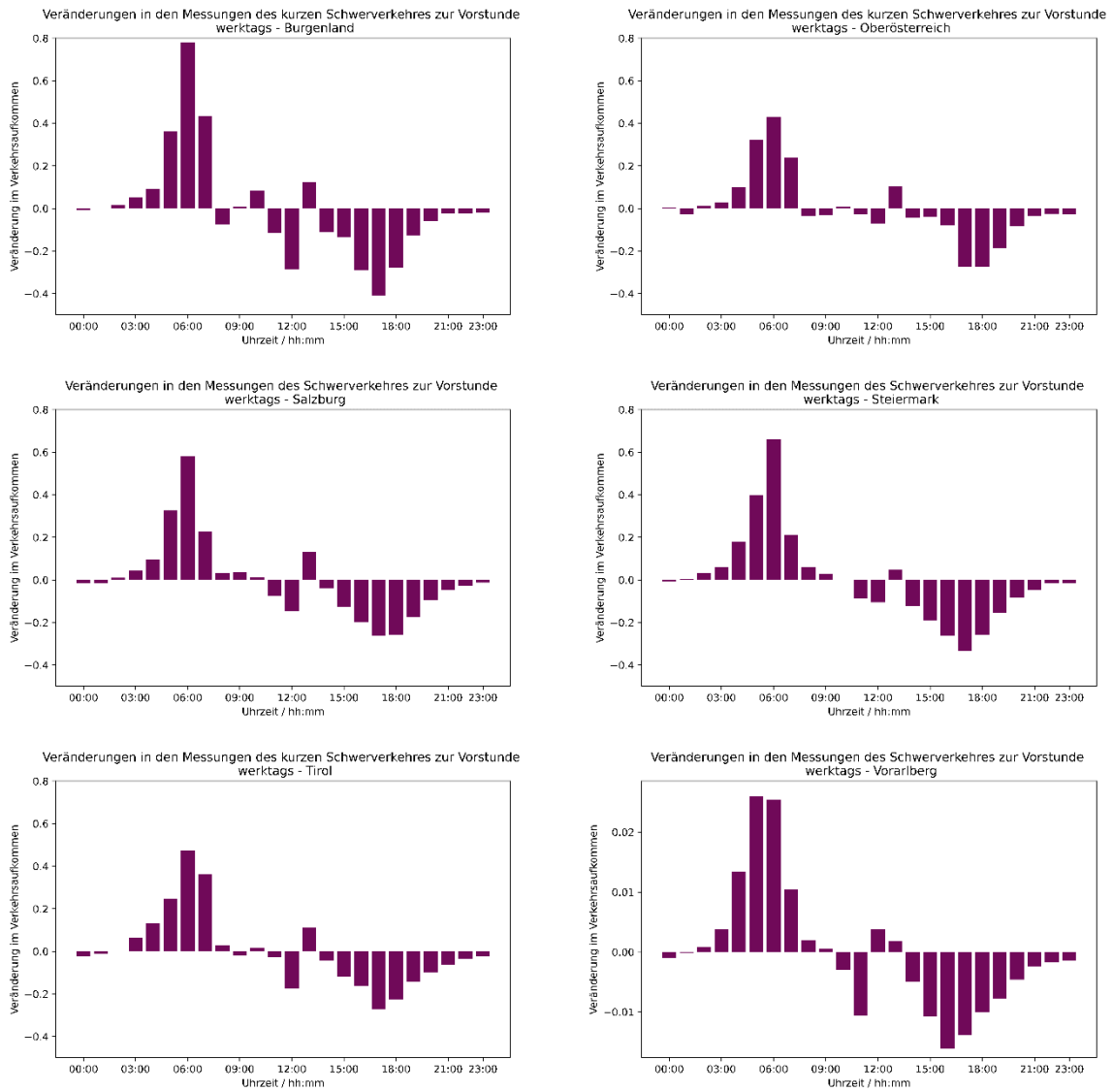


Abbildung 10-4: Veränderungen des (kurzen) Schwerverkehres in den Bundesländern Werktagen.

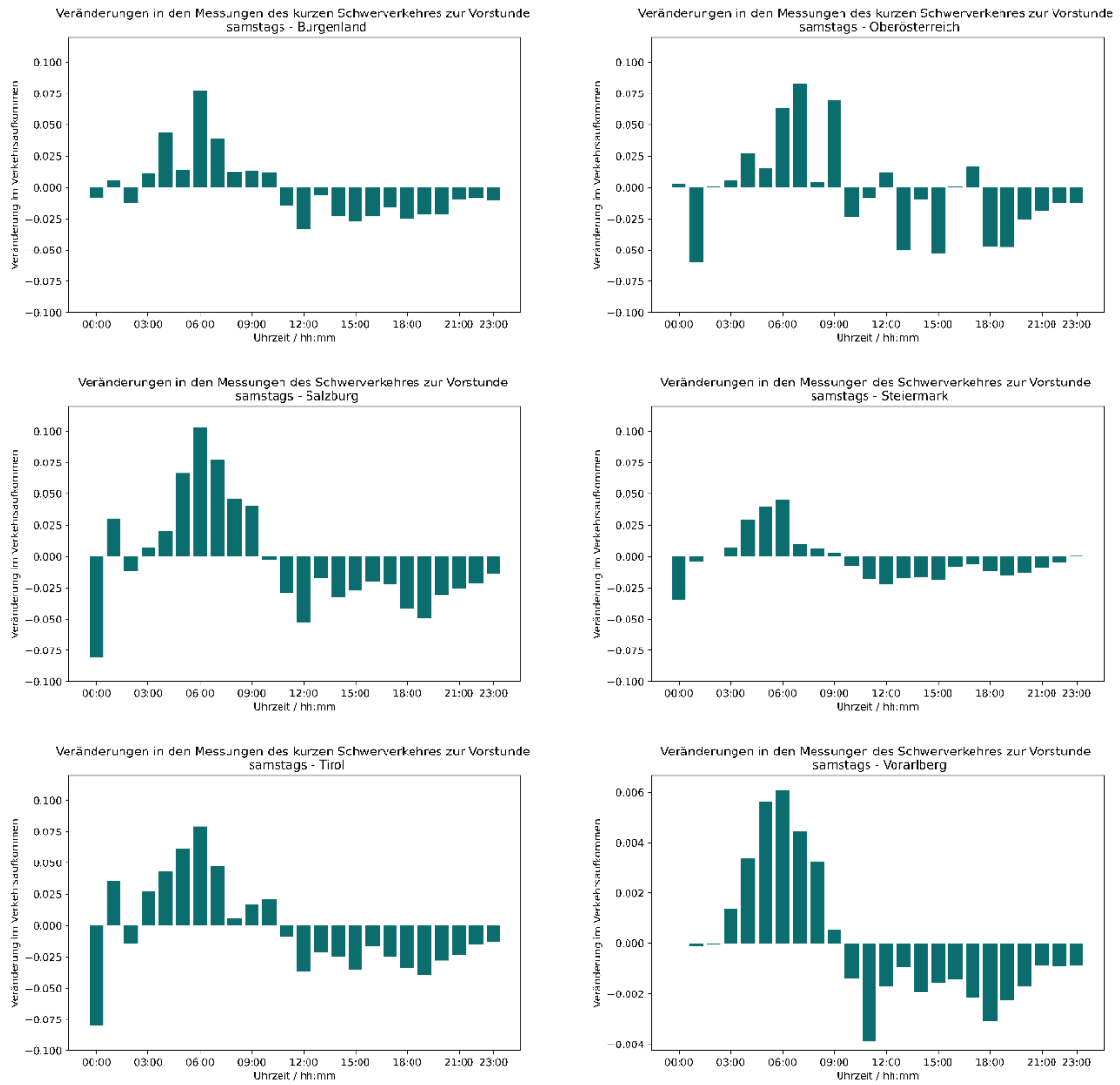


Abbildung 10-5: Veränderungen des (kurzen) Schwerverkehres in den Bundesländern an Samstagen.

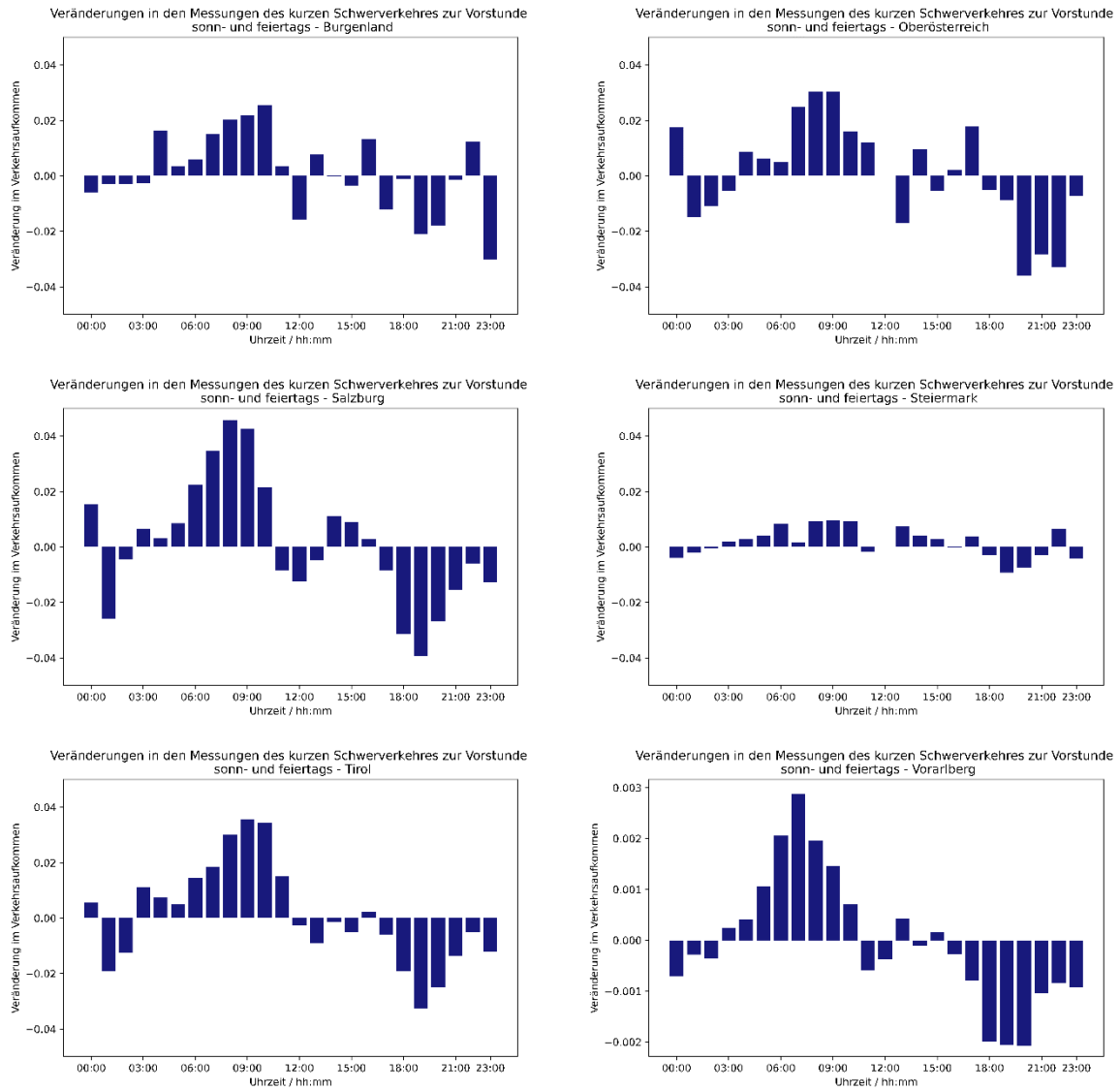


Abbildung 10-6: Veränderungen des (kurzen) Schwerverkehres in den Bundesländern an Sonn- und Feiertagen.

10.2 Zuordnungen

Tabelle 10-2: Einteilung Österreichs in NUTS-2- und NUTS-3-Regionen und Zuordnung der Bezirke in dieser Arbeit – Teil 1.

NUTS-2-Ebene	NUTS-3-Ebene	Bezirksebene	Kennziffer
Bundesländer	zusammengehörige Bezirke		
Burgenland	Mittelburgenland	Oberpullendorf	108
		Eisenstadt (Stadt)	101
	Nordburgenland	Rust (Stadt)	102
		Eisenstadt-Umgebung	103
		Mattersburg	106
		Neusiedl am See	107
		Güssing	104
	Südburgenland	Jennersdorf	105
		Oberwart	109
		Klagenfurt-Villach	Klagenfurt Stadt
Villach Stadt	202		
Klagenfurt Land	204		
Villach Land	207		
Kärnten	Oberkärnten	Hermagor	203
		Feldkirchen	210
		Spittal an der Drau	206
	Unterkärnten	Sankt Veit an der Glan	205
		Völkermarkt	208
		Wolfsberg	209

Tabelle 10-3: Einteilung Österreichs in NUTS-2- und NUTS-3-Regionen und Zuordnung der Bezirke in dieser Arbeit – Teil 2.

NUTS-2-Ebene	NUTS-3-Ebene	Bezirksebene	Kennziffer	
Bundesländer	zusammengehörige Bezirke			
Niederösterreich	Mostviertel-Eisenwurzen	Waidhofen an der Ybbs (Stadt)	303	
		Amstetten	305	
		Melk	315	
		Scheibbs	320	
	Niederösterreich-Süd	Wiener Neustadt (Stadt)	304	
		Lilienfeld	314	
		Neunkirchen	318	
		Wiener Neustadt (Land)	323	
		Baden	306	
	St. Pölten	Sankt Pölten (Stadt)	302	
		Sankt Pölten (Land)	319	
	Waldviertel	Krems (Land)	313	
		Krems an der Donau (Stadt)	301	
		Gmünd	309	
		Horn	311	
		Waidhofen an der Thaya	322	
		Zwettl	325	
		Weinviertel	Hollabrunn	310
			Mistelbach	316
			Gänserndorf	308
		Wiener Umland / Nordteil	Korneuburg	312
	Tulln		321	
	Wiener Umland / Südteil	Bruck an der Leitha	307	
Mödling		317		

Tabelle 10-4: Einteilung Österreichs in NUTS-2- und NUTS-3-Regionen und Zuordnung der Bezirke in dieser Arbeit – Teil 3.

NUTS-2-Ebene Bundesländer	NUTS-3-Ebene zusammengehörige Bezirke	Bezirksebene	Kennziffer
Oberösterreich	Innviertel	Braunau am Inn	404
		Grieskirchen	408
		Ried im Innkreis	412
		Schärding	414
	Linz-Wels	Linz (Stadt)	401
		Wels (Stadt)	403
		Eferding	405
		Urfahr-Umgebung	416
		Linz-Land	410
		Wels-Land	418
	Mühlviertel	Freistadt	406
		Perg	411
		Rohrbach	413
	Steyr-Kirchdorf	Steyr (Stadt)	402
		Kirchdorf an der Krems	409
		Steyr-Land	415
	Traunviertel	Gmunden	407
		Vöcklabruck	417
Salzburg	Lungau	Tamsweg	505
	Pinzgau-Pongau	Sankt Johann im Pongau	504
		Zell am See	506
	Salzburg und Umgebung	Salzburg (Stadt)	501
		Hallein	502
	Salzburg-Umgebung	503	

Tabelle 10-5: Einteilung Österreichs in NUTS-2- und NUTS-3-Regionen und Zuordnung der Bezirke in dieser Arbeit – Teil 4.

NUTS-2-Ebene Bundesländer	NUTS-3-Ebene zusammengehörige Bezirke	Bezirksebene	Kennziffer
Steiermark	Graz	Graz (Stadt)	601
		Graz-Umgebung	606
	Liezen	Liezen	612
		Östliche Obersteiermark	Leoben
	Bruck-Mürzzuschlag		621
	Oststeiermark	Weiz	617
		Hartberg-Fürstenfeld	622
		Südoststeiermark	623
		Deutschlandsberg	603
	West- und Südsteiermark	Leibnitz	610
		Voitsberg	616
	Westliche Obersteiermark	Murau	614
		Murtal	620
	Tirol	Außerfern	Reutte
Innsbruck		Innsbruck-Stadt	701
		Innsbruck-Land	703
Osttirol		Lienz	707
Tiroler Oberland		Imst	702
		Landeck	706
Tiroler Unterland		Kitzbühel	704
		Kufstein	705
	Schwaz	709	
Vorarlberg	Bludenz-Bregenzener Wald	Bludenz	801
		Bregenz	802
	Rheintal-Bodenseegebiet	Dornbirn	803
		Feldkirch	804
Wien	alle 23 Wiener Bezirke		9xxxx

Tabelle 10-6: Liste der betrachteten Grenzübergänge und dazugehörige Nachbarländer

Grenzübergang	Nachbarland
Gries am Brenner (Brenner)	Italien (Südtirol)
Arnoldstein	Italien
St. Jakob im Rosental (Karawankentunnel)	Slowenien
Straß in der Steiermark (Spielfeld)	Slowenien
Heiligenkreuz im Lafnitztal	Ungarn
Schachendorf	Ungarn
Klingenbach	Ungarn
Nickelsdorf	Ungarn
Kittsee	Slowakei
Drasenhofen	Tschechien
Leopoldschlag	Tschechien
Suben	Deutschland
Braunau am Inn	Deutschland
Wals-Siezenheim (Walserberg)	Deutschland
Kufstein	Deutschland
Hörbranz	Deutschland
Höchst	Schweiz/Liechtenstein

10.3 Bezirksergebnisse

Tabelle 10-7: Ergebnisse des Energiebedarfs für alle Bezirke im Szenario „Status quo“ – Teil 1

Bezirk	Depotladen			Streckenladen	Summe
	Inlandsverkehr	Empfang-Versand	Summe		
	GWh	GWh	GWh		
Eisenstadt (Stadt)	13,7	3,4	17,1	5,1	22,2
Rust (Stadt)	7,4	1,8	9,2	0,0	9,2
Eisenstadt-Umgebung	0,1	0,0	0,2	5,1	5,3
Güssing	12,0	5,2	17,2	0,0	17,2
Jennersdorf	7,8	3,6	11,4	5,1	16,5
Mattersburg	11,5	3,1	14,6	5,1	19,7
Neusiedl am See	30,1	7,4	37,4	5,1	42,5
Oberpullendorf	14,5	4,7	19,2	5,1	24,3
Oberwart	25,5	10,6	36,2	5,1	41,3
Klagenfurt Stadt	25,5	7,2	32,7	19,1	51,8
Villach Stadt	31,5	7,6	39,0	19,1	58,1
Hermagor	5,7	1,5	7,1	0,0	7,1
Klagenfurt Land	6,5	1,8	8,4	19,1	27,5
Sankt Veit an der Glan	21,3	7,8	29,1	19,1	48,2
Spittal an der Drau	38,6	10,0	48,7	19,1	67,8
Villach Land	18,7	4,5	23,2	19,1	42,3
Völkermarkt	11,1	4,3	15,3	19,1	34,4
Wolfsberg	38,4	16,7	55,1	19,1	74,2
Feldkirchen	2,9	0,7	3,6	0,0	3,6
Krems an der Donau (Stadt)	30,3	10,2	40,5	20,3	60,8
Sankt Pölten (Stadt)	54,3	17,9	72,2	20,3	92,5
Waidhofen an der Ybbs (Stadt)	6,1	2,3	8,3	0,0	8,3
Wiener Neustadt (Stadt)	45,3	16,8	62,1	20,3	82,4
Amstetten	100,4	37,6	138,0	20,3	158,3
Baden	30,1	10,8	40,9	20,3	61,2
Bruck an der Leitha	144,3	46,8	191,1	20,3	211,4
Gänserndorf	18,4	3,6	22,0	0,0	22
Gmünd	25,5	9,2	34,7	0,0	34,7
Hollabrunn	6,5	1,5	7,9	20,3	28,2
Horn	26,9	9,2	36,1	0,0	36,1
Korneuburg	82,6	23,3	105,9	20,3	126,2
Krems (Land)	8,5	2,8	11,3	20,3	31,6
Lilienfeld	3,4	1,6	5,0	0,0	5
Melk	54,5	20,4	75,0	20,3	95,3
Mistelbach	22,2	4,6	26,8	20,3	47,1
Mödling	34,6	12,0	46,6	20,3	66,9
Neunkirchen	17,5	6,8	24,3	20,3	44,6
Sankt Pölten (Land)	15,4	5,1	20,6	20,3	40,9
Scheibbs	19,5	7,3	26,8	0,0	26,8
Tulln	55,0	17,6	72,5	20,3	92,8
Waidhofen an der Thaya	10,9	3,9	14,8	0,0	14,8
Wiener Neustadt (Land)	7,3	2,7	10,0	20,3	30,3
Zwettl	22,9	8,2	31,1	0,0	31,1
Stadt Linz	79,3	46,0	125,3	39,8	165,1
Stadt Steyr	20,3	12,2	32,5	0,0	32,5
Stadt Wels	43,7	22,7	66,4	39,8	106,2
Braunau	42,0	12,6	54,6	0,0	54,6

Tabelle 10-8: Ergebnisse des Energiebedarfs für alle Bezirke im Szenario „Status quo“ – Teil 2

Bezirk	Depotladen			Streckenladen	Summe
	Inlandsverkehr	Empfang-Versand	Summe		
	GWh	GWh	GWh		
Eferding	2,1	1,1	3,1	0,0	3,1
Freistadt	31,2	14,5	45,7	39,8	85,5
Gmunden	33,6	18,1	51,7	39,8	91,5
Grieskirchen	14,0	5,6	19,6	39,8	59,4
Kirchdorf	20,6	11,2	31,8	39,8	71,6
Linz-Land	90,2	52,3	142,4	39,8	182,2
Perg	22,0	10,3	32,3	0,0	32,3
Ried	38,2	12,7	50,9	39,8	90,7
Rohrbach	21,4	8,8	30,2	0,0	30,2
Schärding	55,0	19,1	74,1	39,8	113,9
Steyr-Land	22,2	13,3	35,6	0,0	35,6
Urfahr-Umgebung	4,1	2,4	6,5	39,8	46,3
Vöcklabruck	76,2	32,4	108,5	39,8	148,3
Wels-Land	13,3	6,9	20,2	39,8	60
Salzburg(Stadt)	72,8	18,1	90,8	28,8	119,6
Hallein	6,9	2,0	8,9	28,8	37,7
Salzburg-Umgebung	47,3	11,8	59,1	28,8	87,9
Sankt Johann im Pongau	47,1	17,8	65,0	28,8	93,8
Tamsweg	12,5	5,7	18,2	28,8	47
Zell am See	35,5	15,9	51,4	0,0	51,4
Graz(Stadt)	71,8	23,4	95,3	14,9	110,2
Deutschlandsberg	23,4	6,8	30,2	0,0	30,2
Graz-Umgebung	53,2	17,3	70,5	14,9	85,4
Leibnitz	44,0	12,4	56,4	14,9	71,3
Leoben	42,7	14,2	56,9	14,9	71,8
Liezen	59,0	16,2	75,2	14,9	90,1
Murau	9,5	2,7	12,2	0,0	12,2
Voitsberg	13,5	3,9	17,4	14,9	32,3
Weiz	52,9	15,4	68,3	14,9	83,2
Murtal	51,7	14,9	66,6	14,9	81,5
Bruck-Mürzzuschlag	33,1	11,0	44,2	14,9	59,1
Hartberg-Fürstenfeld	44,6	12,3	57,0	14,9	71,9
Südoststeiermark	24,1	6,9	31,0	0,0	31
Innsbruck-Stadt	53,1	15,6	68,7	56,2	124,9
Imst	31,2	15,5	46,7	56,2	102,9
Innsbruck-Land	45,0	13,3	58,2	56,2	114,4
Kitzbühel	7,9	1,9	9,7	0,0	9,7
Kufstein	100,5	11,7	112,2	56,2	168,4
Landeck	41,2	22,0	63,2	56,2	119,4
Lienz	43,8	24,5	68,3	0,0	68,3
Reutte	23,1	13,0	36,1	0,0	36,1
Schwaz	23,2	5,0	28,2	56,2	84,4
Bludenz	7,6	5,7	13,4	2,8	16,2
Bregenz	14,5	3,6	18,2	2,8	21
Dornbirn	32,5	13,6	46,1	2,8	48,9
Feldkirch	37,0	16,5	53,5	2,8	56,3
Wien(Stadt)	125,3	121,1	246,4	20,3	266,7
Summe	3125,9	1198,5	4324,4	1654,2	5978,6

10.4 Ladelastkurven der Bundesländer

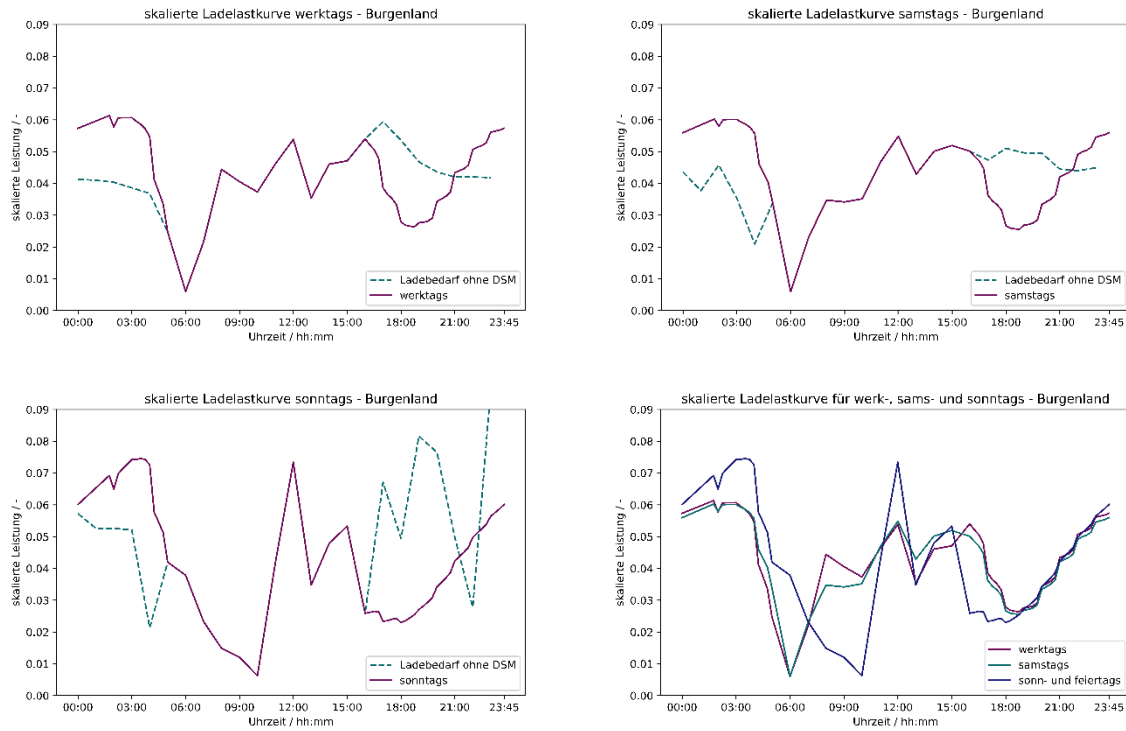


Abbildung 10-7: skalierte Ladelastkurven für das Burgenland (werktags, samstags, sonntags und kombiniert).

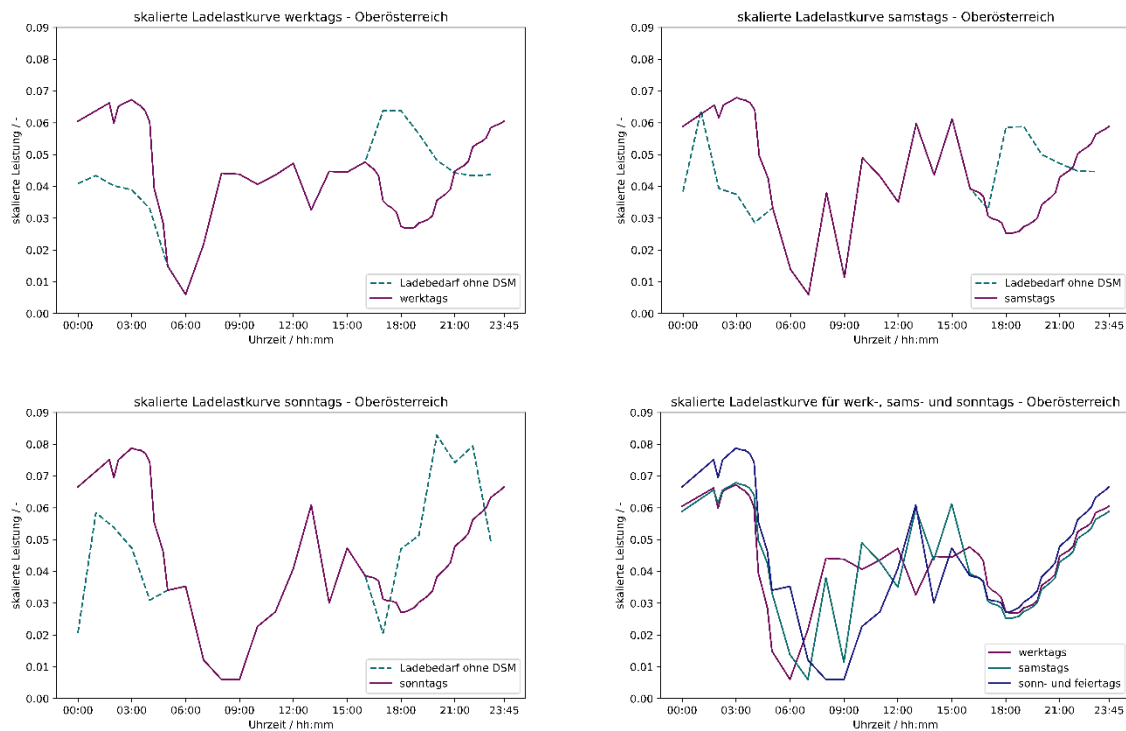


Abbildung 10-8: skalierte Ladelastkurven für Oberösterreich (werktags, samstags, sonntags und kombiniert).

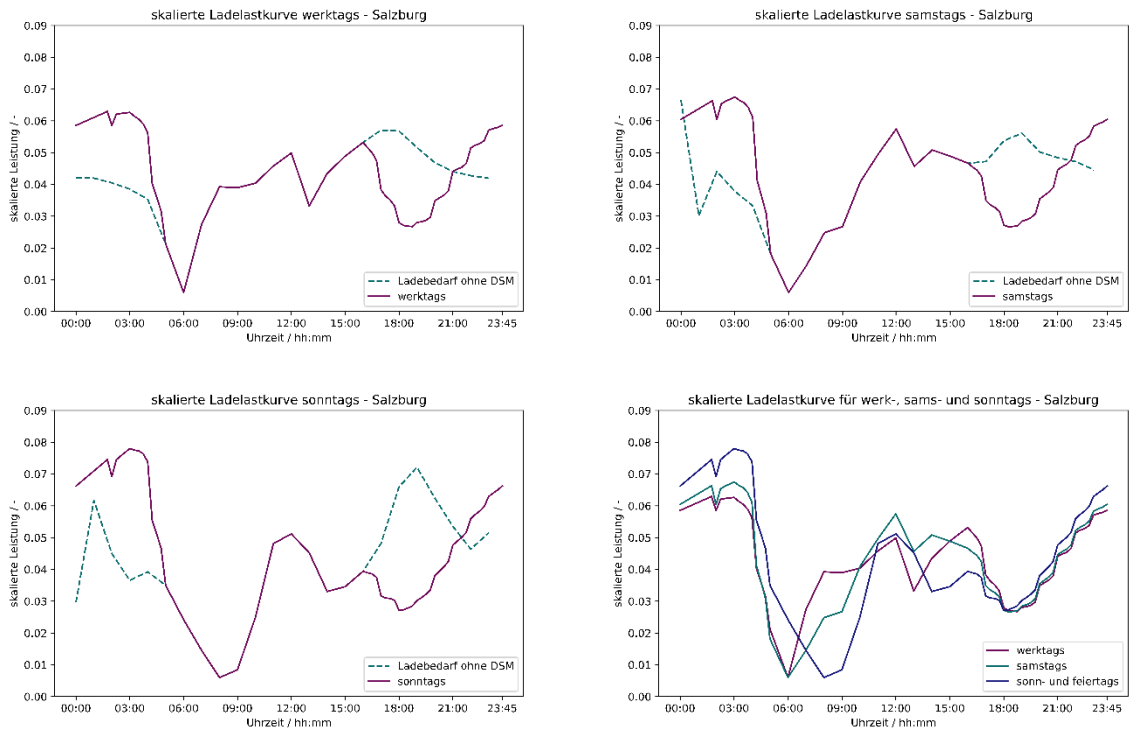


Abbildung 10-9: skalierte Ladelastkurven für Salzburg (werktags, samstags, sonntags und kombiniert).

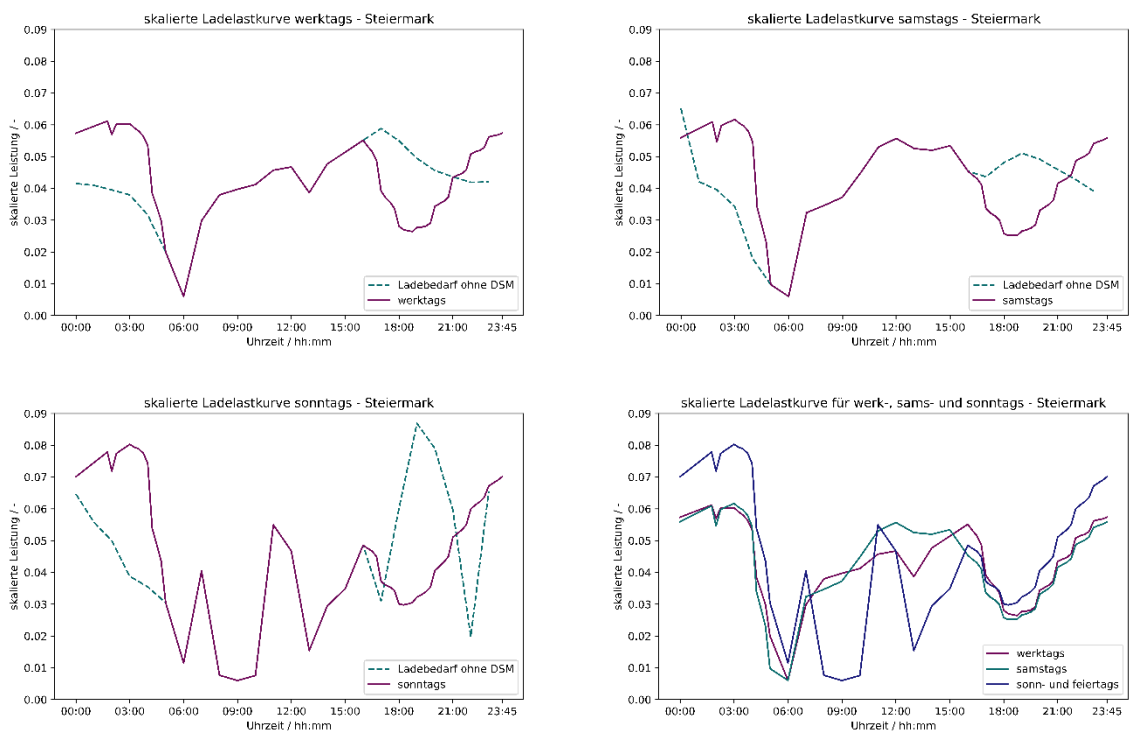


Abbildung 10-10: skalierte Ladelastkurven für die Steiermark (werktags, samstags, sonntags und kombiniert).

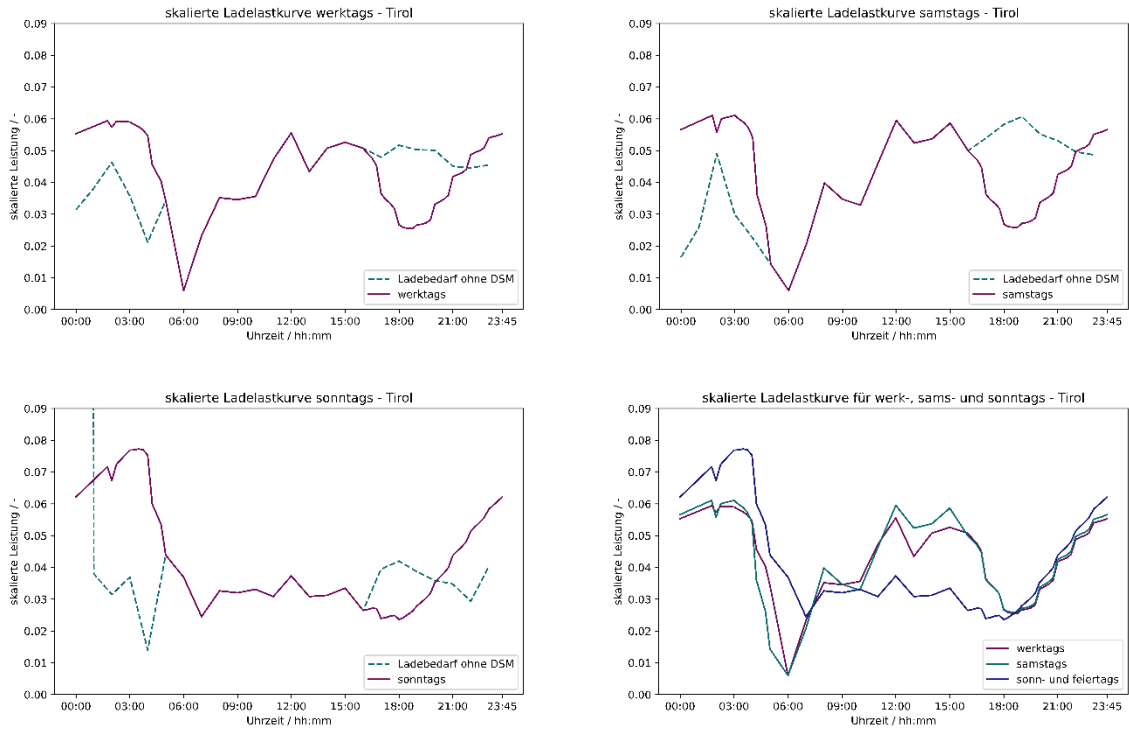


Abbildung 10-11: skalierte Ladelastkurven für Tirol (werktags, samstags, sonntags und kombiniert).

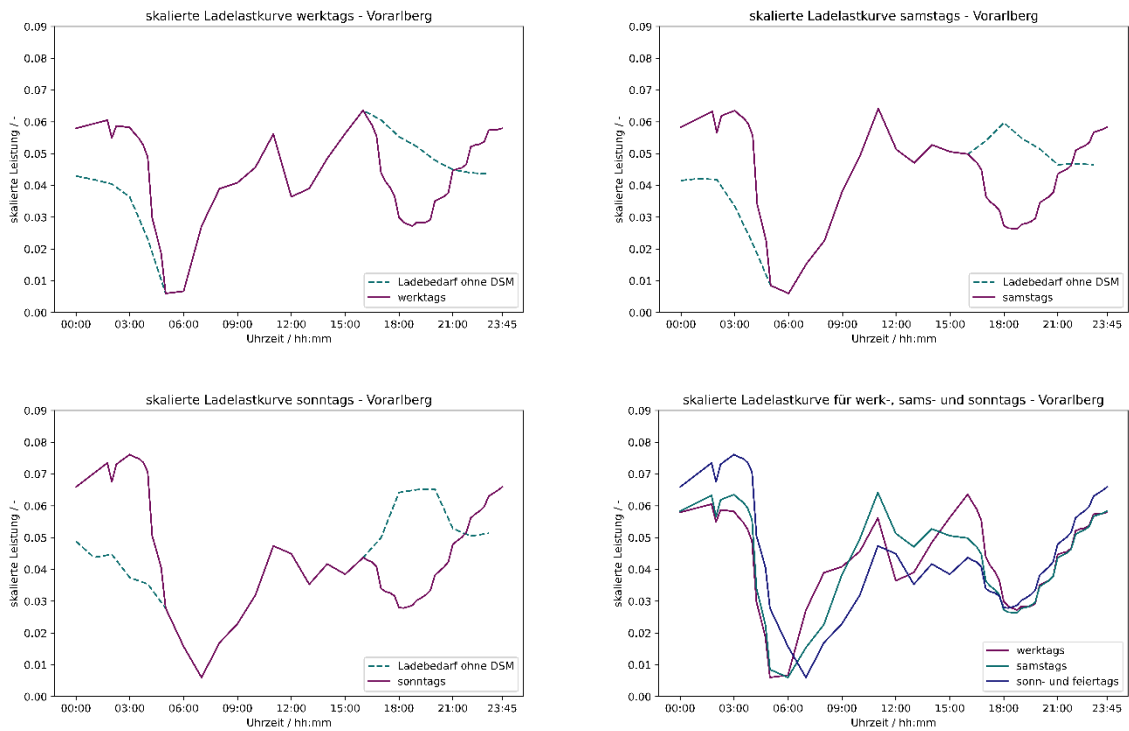


Abbildung 10-12: skalierte Ladelastkurven für Vorarlberg (werktags, samstags, sonntags und kombiniert).

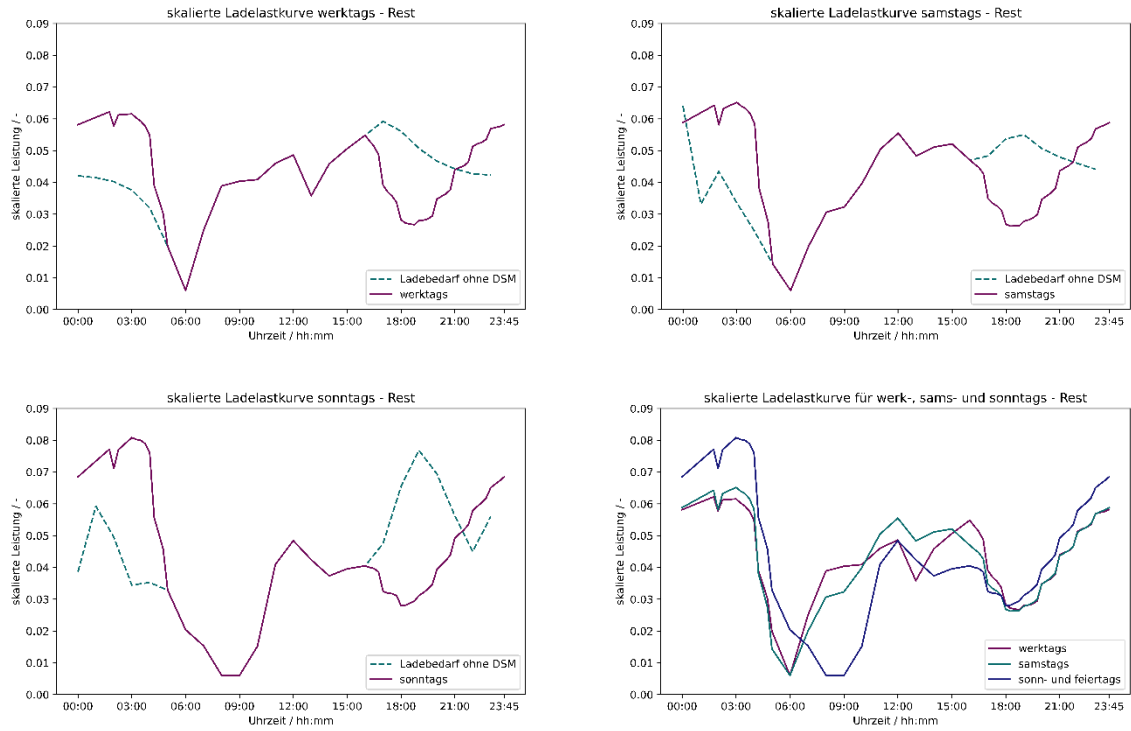


Abbildung 10-13: skalierte Ladelastkurven für die restlichen Bundesländer Kärnten, Niederösterreich und Wien (werktags, samstags, sonntags und kombiniert).

10.4.1 Ladelastkurven für Österreich (Status quo, 2030 und 2040)

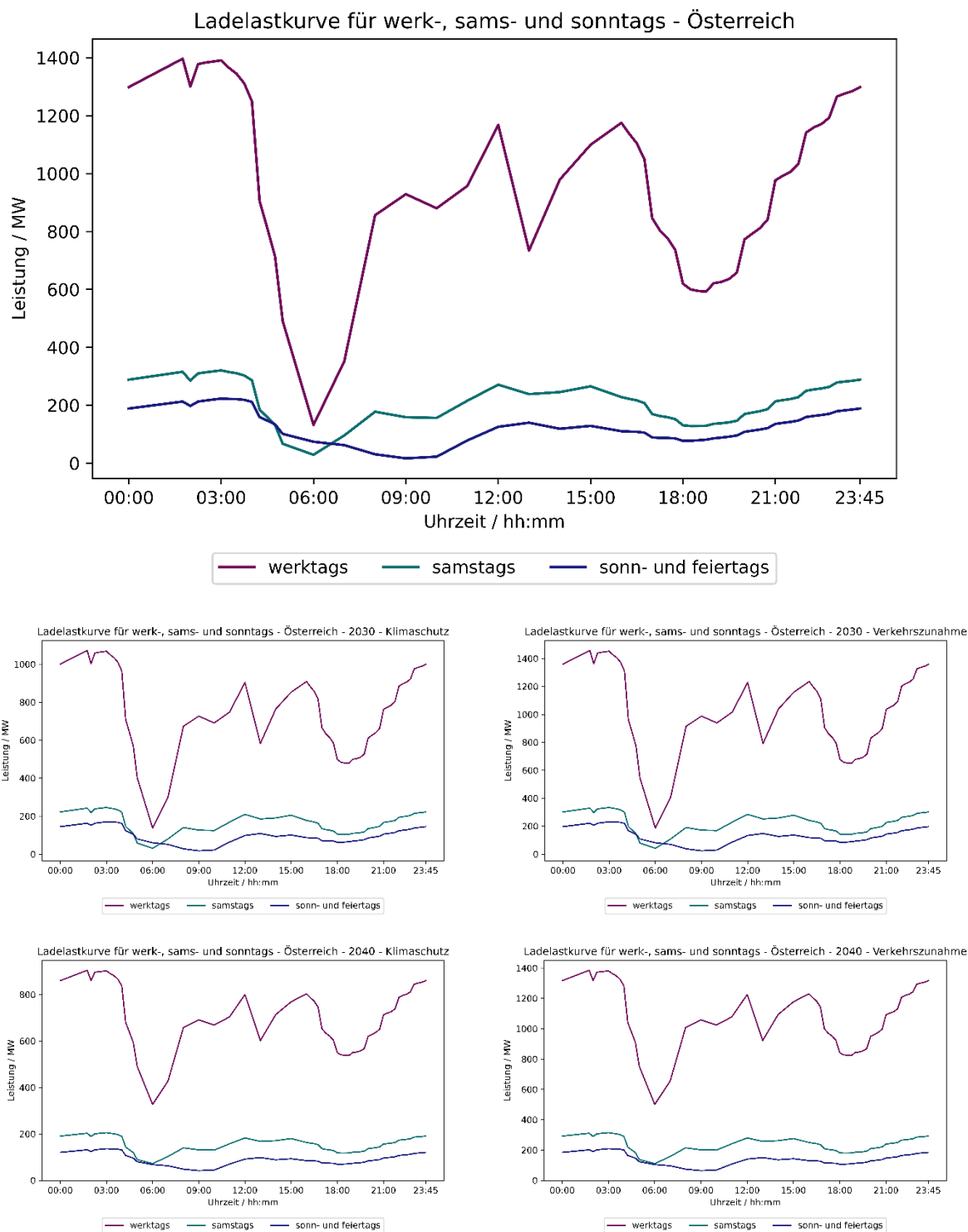


Abbildung 10-14: Ladelastkurven für Österreich gesamt im Status quo und den Jahren 2030 und 2040 sowie in den Szenarien "Klimaschutz" und "Verkehrszunahme".

10.5 Einsatz generativer Werkzeuge und Methoden der künstlichen Intelligenz

In folgender Tabelle sind alle verwendeten KI-Anwendungen gemäß der Richtlinie des Vizerektors für Lehre und Internationales sowie des Studiendekans für den Einsatz KI-basierter generativer Werkzeuge in der geltenden Fassung angeführt.

Tabelle 10-9: Verwendete generative Werkzeuge und Methoden der künstlichen Intelligenz.

Gegenstand	Anteil an KI (in %)	Tool / Version	Anmerkung	Verweis zum Prompting
Unterstützung Programmieren	30%	ChatGPT 3.5	Python	Lehrstuhl
Unterstützung Datenauswertung	10%	ChatGPT 3.5	Python, Excel	Lehrstuhl
Unterstützung Verwendung QGis	10%	ChatGPT 3.5	Befehle in QGis	Lehrstuhl
Übersetzungen auf Englisch	80%	DeepL	-	Kurzfassung

10.6 Schlussbemerkung

Zur Verbesserung der Lesbarkeit und der Verständlichkeit verwendet diese technisch-wissenschaftliche Arbeit das generische Maskulinum. Selbstverständlich sind in allen personenbezogenen Angaben alle Geschlechter gemeint.