

E-Ladestationen in der Hotellerie – am Beispiel des Kantons Graubünden

Masterthesis
im Studiengang Energy Science and Engineering

Gabriel Ackermann

Fachgebiet Landmanagement
Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Linke



Graduate School of
**Energy Science
and Engineering**

M.Sc. Energy Science and Engineering



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

landmanagement

Gabriel Ackermann

Matrikelnummer 2833220

Masterthesis

zur Erlangung des akademischen Grades Master of Science

im Studiengang Energy Science and Engineering

Thema: E-Ladestationen in der Hotellerie – am Beispiel des Kantons Graubünden

Bearbeitungszeitraum: 15.07.2022 - 12.01.2023

Betreuerin: M.Sc. Audrey Bourgoin

Aufgabensteller: Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Linke

Technische Universität Darmstadt

Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften

Institut für Geodäsie

Fachgebiet Landmanagement

Franziska-Braun-Straße 7

64287 Darmstadt

Themenausgabe Masterarbeit M.Sc. Energy Science and Engineering

An das Studienbüro des Studienbereichs Energy Science and Engineering



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

An Herrn

Gabriel Ruben ACKERMANN

Matrikel-Nr.

2833220

wird das Thema einer Masterarbeit mit dem (Arbeits-)Titel

E-Ladestationen in der Hotellerie - am Beispiel des Kantons
Graubünden
E-charging stations in the hotel industry - the example of the canton of
Graubünden

ausgegeben.

Die Arbeit wird von

Herrn Prof. Linke/Frau Bourgoïn, M.Sc.

aus dem Fachgebiet

Institut für Geodäsie/ Landmanagement

des Fachbereichs
betreut.

13

Die Arbeit wird ☒intern / ☐extern angefertigt

Das Thema der Arbeit wurde am

15.07.2022

ausgegeben.

Die fertige Arbeit ist spätestens am

12.01.2023

im Studienbüro einzureichen.

Die Dauer der Masterarbeit darf 26 Wochen nicht überschreiten.

Die Frist kann um höchstens 13 Wochen (APB, §23(5)) auf **begründeten schriftlichen Antrag**
an den Prüfungskommissionsvorsitzenden hin verlängert werden.

Dr.-Ing. Hans Joachim Linke
Technische Universität Darmstadt

Institut für Geodäsie
FG Landmanagement
Franziska-Braun-Straße 7
D-64283 Darmstadt

12.07.22

Datum

H. J. Linke
Unterschrift des Betreuers/der
Betreuerin

Tel.: +49 6151 16 - 25674

Fax: +49 6151 16 - 20210

hlinke@energy.tu-darmstadt.de

Datum

12. Juli 2022

Vom Studierenden vor Abgabe im Studienbüro auszufüllen:

Vergessen Sie nicht, sich vor Abgabe eine Kopie für Ihre Unterlagen zu erstellen!

Ich habe die Aufgabenstellung erhalten und die genannte Abgabefrist zur Kenntnis genommen.

13.07.22

Datum

G. Ackermann
Unterschrift des/der Studierenden

Kurzzusammenfassung

In dieser Thesis werden Szenarien für die E-Mobilität und die benötigte Ladeinfrastruktur erstellt, um aufzuzeigen, wie viele Ladestationen, verteilt auf die Hotels im Kanton Graubünden, notwendig sind, um den zukünftigen Ladebedarf der Hotelgäste zu decken. Dazu wird zum Beispiel das Gästeaufkommen während Spitzenzeiten ermittelt und die Anzahl Gäste mit einem Elektrofahrzeug anhand des Schweizer Personenwagenbestandes berechnet. Ausgehend von den Szenarien wird auch eine quantitative Berechnung des zukünftigen CO₂-Einsparpotenzials und des Energiebedarfs durch die E-Mobilität durchgeführt. Dafür wird unter anderem untersucht, wie sich das Verkehrsverhalten bei längeren Reisen mit Übernachtungen entwickelt und welchen Einfluss die Ladeleistung auf die Benutzer und die Ladeeffizienz bzw. den Stromverbrauch hat. Auch werden antriebspezifische Eigenschaften der Fahrzeuge untersucht, wie zum Beispiel der spezifische Treibstoffverbrauch und die Treibhausgasemissionen. Die Resultate zeigen, bereits 2025 werden rund 1'000 Ladestationen in den Bündner Hotels benötigt, um den Bedarf der Gäste zu decken. Bis 2035 sollen es zwischen 4'366 und 5'430 Ladestationen sein, mit 4'600-5'700 Ladepunkten bzw. Ladeplätzen. Im Szenario „Business as Usual (BAU)“ besteht bis im Jahr 2035 ein Bedarf von 4'600 Ladepunkten. Besonders in den Regionen mit großen Gästekapazitäten sind viele Ladestationen erforderlich, wie in Maloja mit 1'213 Ladepunkten und Prättigau/Davos mit 948 Ladepunkten. Empfohlen werden Langsam-Ladestationen, mit je einem Ladepunkt, für das Laden über Nacht. Im Szenario „Stärkere Förderung der Elektromobilität (SF)“ setzen sich E-Fahrzeuge schneller und stärker durch. Bis 2035 besteht ein Bedarf von 5'144 Langsam-Ladestationen mit 0-11 Kilowatt (kW) und 286 Beschleunigt-Ladestationen (11-22 kW). Im Szenario „Advanced Charging (ADV)“ werden neben der allgemein starken Etablierung der E-Mobilität verstärkt Beschleunigt-Ladestationen gefördert. Durch die leistungsfähigeren Ladestationen, mit meist zwei Ladepunkten, werden im Vergleich zum SF-Szenario weniger Ladestationen und Standorte benötigt. Für 2035 werden kantonsweit 3'429 Langsam- und 1'143 Beschleunigt-Ladestationen berechnet. Bezüglich der CO₂-Einsparungen geht aus der Studie hervor, dass bis 2035 durch die E-Fahrzeuge der Hotelgäste in Graubünden jährlich 11'038-13'805 Tonnen CO₂ eingespart werden können. Im BAU-Szenario werden im Zeitraum von 2021-2035 insgesamt 80'049 t CO₂ eingespart, für das SF-Szenario werden rund 31 % mehr Einsparungen berechnet, insgesamt 104'680 t CO₂. Nach dem erstellten Rechenmodell beträgt der Stromverbrauch für die E-Fahrzeuge der Hotelgäste für das Ausgangsjahr 2021 zwischen 749 und 763 MWh. Im Jahr 2035 werden im BAU-Szenario bereits 14'451 MWh benötigt, im SF-Szenario 18'031 MWh und im ADV-Szenario 17'682 MWh. Verglichen mit dem Gesamtstromverbrauch in Graubünden von knapp 2'000 GWh, machen die bis zu 18 GWh für die E-Fahrzeuge der Hotelgäste einen kleinen Anteil aus.

Schlagwörter: Ladeinfrastruktur, Ladepunkt, E-Ladestation, Elektrofahrzeug, Batterieelektrisches Fahrzeug, Plug-in-Hybrid, Hotelindustrie, Tourismus, E-Mobilität, Graubünden, CO₂-Emissionen, Einsparpotential, Szenarioentwicklung.

Zitierungsvorschlag: Ackermann, Gabriel (2023): E-Ladestationen in der Hotellerie – am Beispiel des Kantons Graubünden, Masterarbeit, Institut für Geodäsie, TU Darmstadt, Darmstadt.

Abstract Summary

This thesis develops scenarios for e-mobility and the required charging infrastructure to assess how many charging stations, distributed among hotels in the canton of Graubünden, are necessary to meet future charging needs of hotel guests. The number of guests during busy peak times is estimated based on historic data and the number of guests with an electric vehicle is determined based on the total Swiss passenger car fleet. Future CO₂ saving potential and the energy demand for e-mobility are calculated for different scenarios. For this purpose, it is assessed how traffic behavior changes for longer trips with overnight stays and what influence charging power has on users, charging efficiency and power consumption. Also, specific characteristics of different vehicle drives, such as the fuel consumption and greenhouse gas emissions, will be investigated. The results show that as early as 2025, around 1'000 charging stations are needed in the hotels of Graubünden to meet the demand of guests, and by 2035 between 4'366 and 5'430 charging stations are needed, with 4'600-5'700 charging points. In the "Business as Usual (BAU)" scenario, there is a need for 4'600 charging points by 2035. Especially in the regions with large guest capacities, many charging stations are needed. The leading regions are Maloja with a demand of 1'213 charging points and Prättigau/Davos with 948 charging points. Low-power charging stations, with one charging point each, for overnight charging are recommended. In the scenario "Stronger Promotion of E-mobility (SF)", e-vehicles are adopted faster and more strongly. By 2035, there is a need for 5'144 low-power charging stations with 0-11 kilowatts (kW) and 286 accelerated charging stations (11-22 kW). In the scenario "Advanced Charging (ADV)", accelerated charging stations are promoted more aggressively in addition to a strong adoption of e-mobility. As a result of the more powerful charging stations, with generally two charging points, fewer charging stations and locations are needed compared to the SF-scenario. For 2035, a need of 3'429 low-power charging stations and 1'143 accelerated charging stations is calculated for the canton. The study shows that by 2035, 11'038-13'805 tons of CO₂ can be saved annually thanks to the e-vehicles of hotel guests in Graubünden. In the BAU-scenario, a total of 80'049 t CO₂ can be saved in the period from 2021 to 2035, while in the SF-scenario about 31% higher savings are calculated, a total of 104'680 t CO₂. According to the model used in this study, the electricity consumption for the e-vehicles of the hotel guests for the baseline year 2021 is between 749 and 763 MWh. In 2035, 14'451 MWh are required in the BAU-scenario, 18'031 MWh in the SF-scenario and 17'682 MWh in the ADV-scenario. Compared to the total electricity consumption in Graubünden of almost 2'000 GWh, the roughly 18 GWh for electric vehicles of hotel guests represent only a small share.

Keywords: charging infrastructure, charging point, charging station, electric vehicle, battery electric vehicle, plug-in hybrid electric vehicle, hotel industry, tourism, e-mobility, Graubünden, CO₂-emissions, saving potential, scenario development.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	iii
Tabellenverzeichnis	v
Formelverzeichnis	vii
Abkürzungsverzeichnis	viii
1. Einleitung	1
1.1. Motivation	1
1.2. Stand der Forschung.....	3
1.3. Problemstellung, Zielsetzung und Aufbau der Arbeit	6
2. Methodisches Vorgehen	9
2.1. Ladekategorien	9
2.2. Definition der Szenarien	10
2.3. Rechenmodelle.....	12
2.3.1. <i>Bedarfsermittlung Ladeinfrastruktur</i>	12
2.3.2. <i>Einsparpotential - CO2-Emissionen</i>	14
3. Bestandsaufnahme E-Mobilität und Hotellerie Graubünden	17
3.1. E-Fahrzeuge (Kategorien, Neuzulassungen und Gesamtbestand)	17
3.1.1. <i>Neuzulassungen Elektrofahrzeuge</i>	17
3.1.2. <i>Anteil Elektrofahrzeuge am Gesamtbestand</i>	18
3.2. E-Ladeinfrastruktur.....	22
3.2.1. <i>Ladestationen in Bündner Hotels – Aktueller Bestand</i>	24
4. Beschreibung und Auswertung der Szenario-Einflussfaktoren	30
4.1. Entwicklung der Hotellerie im Kanton Graubünden	30
4.1.1. <i>Logiernächte</i>	31
4.1.2. <i>Verfügbare Betten (offene Betriebe)</i>	34
4.2. Verkehrsentwicklung.....	36
4.2.1. <i>Hauptverkehrsmittel der Touristen</i>	37
4.2.2. <i>Anteil Elektrofahrzeuge am Gesamtbestand</i>	39
4.2.3. <i>Besetzungsgrad (Reisende pro Fahrzeug)</i>	42
4.2.4. <i>Zurückgelegte Strecken</i>	44
4.3. Fortschritt der Fahrzeugantriebe	47
4.3.1. <i>Elektrofahrzeuge (EV)</i>	49
4.3.2. <i>Verbrennungsfahrzeuge (ICE)</i>	55
4.3.3. <i>Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEV)</i>	59
5. Resultate	60

5.1.	Bedarfsermittlung Ladeinfrastruktur für Hotelbetriebe	60
5.1.1.	Szenario „Business as Usual (BAU)“ - Fokus auf Langsam-Laden	61
5.1.2.	Szenario „Stärkere Förderung der Elektromobilität (SF)“ - Fokus auf Langsam-Laden	62
5.1.3.	Szenario „Advanced Charging (ADV)“ - Fokus auf Beschleunigt-Laden	63
5.1.4.	Hotspots der Hotellerie	63
5.1.5.	Vergleich der Anzahl öffentlicher Ladestationen und Ladestationen in Hotels	65
5.2.	Einsparpotential - CO2-Emissionen	66
5.2.1.	Szenario „Business as Usual (BAU)“ - Fokus auf Langsam-Laden	66
5.2.2.	Szenario „Stärkere Förderung der Elektromobilität (SF)“ - Fokus auf Langsam-Laden	67
5.2.3.	Szenario „Advanced Charging (ADV)“ - Fokus auf Beschleunigt-Laden	68
5.2.4.	CO2-Einsparung pro Ladestation nach Regionen	68
5.2.5.	Energieverbrauch der E-Ladestationen	70
6.	Diskussion	72
6.1.	Beurteilung der Resultate und Handlungsempfehlungen	72
6.2.	Herausforderungen und Einschränkungen der Methodik	75
7.	Schlussfolgerungen und Ausblick	80
	Quellenverzeichnis	83
	Literaturverzeichnis	83
	Internetquellen	87
	Anhang	91
	Anhang A: Tabellen mit zusätzlichen Daten	91
	Anhang B: Excel-Dokumente	98

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1 Schematische Darstellung der Vorgehensweise und Berichtstruktur.	8
Abb. 3-1 Neue Inverkehrsetzungen von Personenwagen nach Treibstoff und Jahr – Schweiz, eigene Grafik mit Daten von (BFS, 2022g).	17
Abb. 3-2 Neue Inverkehrsetzungen von Personenwagen nach Treibstoff und Jahr – Graubünden, eigene Grafik mit Daten von (BFS, 2022g).	18
Abb. 3-3 Bestand der Personenwagen nach Treibstoff und Jahr – Schweiz, eigene Grafik mit Daten von (BFS, 2022a).	20
Abb. 3-4 Bestand der Personenwagen (nur alternative Treibstoffe) – Schweiz, eigene Grafik mit Daten von (BFS, 2022a).	21
Abb. 3-5 Bestand der Personenwagen (nur alternative Treibstoffe) – Graubünden, eigene Grafik mit Daten von (BFS, 2022a).	22
Abb. 3-6 Zeitliche Entwicklung der Anzahl öffentlich zugänglicher Ladestationen in der Schweiz (BFE, 2022d).	23
Abb. 3-7 Ladepunkte in Bündner Hotels, pro Region – Bestand 2021 (eigene Grafik, mit Excel erstellt, unterstützt von Bing © GeoNames, Microsoft, TomTom).	25
Abb. 3-8 Ladepunkte in Bündner Hotels, pro Gemeinde – Bestand 2021 (eigene Grafik, mit Excel erstellt, unterstützt von Bing © TomTom).	26
Abb. 3-9 Beschleunigt- und Schnell-Laden bei Hotelbetrieben in Graubünden - Bestand im Jahr 2021 (eigene Grafik, mit Excel erstellt, unterstützt von Bing © GeoNames, Microsoft, TomTom).	28
Abb. 4-1 Logiernächte – Linearer Forecast, eigene Grafik mit Daten von (BFS, 2022b).	32
Abb. 4-2 Entwicklung der Logiernächte in den Bündner Regionen von 2012-2035, eigene Grafik mit Daten von (BFS, 2022d) und (BFS, 2022e).	34
Abb. 4-3 Betten von geöffneten Betrieben – Linearer Forecast, eigene Grafik mit Daten von (BFS, 2022b).	35
Abb. 4-4 Betten der geöffneten Betriebe – nach Bündner Regionen, eigene Grafik mit Daten von (BFS, 2022c).	36
Abb. 4-5 Anzahl Touristen nach Gruppengröße, eigene Grafik mit Daten von (Schweiz Tourismus, 2018).	42
Abb. 4-6 Herkunft der Hotelgäste (Plaz & Schmid, 2015).	45
Abb. 4-7 Intensität der Treibhausgasemissionen bei der Stromerzeugung (EEA, 2022).	51
Abb. 4-8 Neue Berechnungsmethode mit CO ₂ -Zielwert 118 g/km (WLTP) (BFE, 2022c).	56



Abb. 4-9 Treibstoffverbrauch Benzin und Diesel, Grafik erstellt von Ernst Basler + Partner AG, veröffentlicht in (EnergieSchweiz & TCS, 2022).	58
Abb. 5-1 Ladestationen in Hotels – Graubünden 2021-2035 (eigene Grafik und Daten).	60
Abb. 5-2 Ladepunkte (Ladestellplätze) Bedarf 2021 bis 2035 - Szenario Business as Usual (eigene Grafik und Daten).....	61
Abb. 5-3 Ladepunkte (Ladestellplätze) Bedarf 2021 bis 2035, Szenario Stärkere Förderung der Elektromobilität (eigene Grafik und Daten).	62
Abb. 5-4 Bedarf an Langsam- und Beschleunigt-Ladestationen von 2021-2035, Szenario „Advanced Charging“ (eigene Grafik und Daten).	63
Abb. 5-5 Touristische Hotspots – Bedarf Ladepunkte 2035 Szenario BAU (eigene Daten, Grafik mit Excel erstellt, unterstützt von Bing © GeoNames, Microsoft, TomTom).	64
Abb. 5-6 Jährliche CO ₂ -Einsparungen von 2021-2035 – Szenario BAU (eigene Grafik und Daten).....	66
Abb. 5-7 Jährliche CO ₂ -Einsparungen von 2021-2035 – Szenario SF (eigene Grafik und Daten).	67
Abb. 5-8 Jährliche CO ₂ -Einsparungen von 2021-2035 – Szenario ADV (eigene Grafik und Daten).....	68

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1: Definitionen von Ladebegriffen (Thoma et al., 2017).....	10
Tab. 3-1 Alternativ betriebene PKW-Flotte (M1), %-Anteile der Schweizer Gesamtflotte (EAFO, 2022).	19
Tab. 3-2 Alternativ betriebene PKW-Flotte (M1) Schweiz (EAFO, 2022).	19
Tab. 3-3 Bestand E-Ladepunkte bei Bündner Hotels 2022, nach Ladeleistung (4 von 304 Ladepunkten ohne Angabe). Daten bezogen von: (Electrosuisse, 2022), (Schweiz Tourismus, 2022a) und (Tesla, 2022).....	28
Tab. 3-4 Betriebe mit Ladestationen nach Region (Stand: Juli 2022), Daten bezogen von: (Electrosuisse, 2022), (Schweiz Tourismus, 2022a), (Tesla, 2022), mit Hoteldaten von (BFS, 2022c), einzelne Hoteldaten wurden vom BFS gerundet.	29
Tab. 4-1 Hauptverkehrsmittel der Schweizer Bevölkerung für Reisen mit Übernachtungen (2016-2021) (BFS, 2022j).....	38
Tab. 4-2 Szenario 2035: Marktdurchdringung für Steckerfahrzeuge (PEV) in der Schweiz, Swiss eMobility (Romang, 2021). *Werte für 2025/2030 aus einer Grafik abgelesen, Abweichungen möglich.	41
Tab. 4-3 Berechnung der $\emptyset$ -Gruppengröße pro PKW (Besetzungsgrad), anhand einer Umfrage mit 21'501 teilnehmenden Touristen von Tourismus Monitor Schweiz 2017 (Schweiz Tourismus, 2018).....	43
Tab. 4-4 Ladeverluste beim AC-Laden (ADAC, 2022).	54
Tab. 5-1 Jährliche Einsparung in t CO ₂ / Ladepunkt – Szenario BAU (eigene Daten).....	69
Tab. A-1 Anzahl Ladestationen pro Region BAU (90 % Langsam- und 10 % Beschleunigt-Ladestationen).	91
Tab. A-2 Anzahl Ladestationen pro Region SF (90 % Langsam- und 10 % Beschleunigt-Ladestationen).	91
Tab. A-3 Anzahl Ladestationen pro Region ADV (60 % Langsam- und 40 % Beschleunigt-Ladestationen).	92
Tab. A-4 CO ₂ -Einsparung [t CO ₂] pro Region BAU (90 % Langsam- und 10 % Beschleunigt- Ladestationen).....	92
Tab. A-5 CO ₂ -Einsparung [t CO ₂] pro Region SF (90 % Langsam- und 10 % Beschleunigt-Ladestationen).	93
Tab. A-6 CO ₂ -Einsparung [t CO ₂] pro Region ADV (60 % Langsam- und 40 % Beschleunigt- Ladestationen).....	93



Tab. A-7 Anteile Elektrofahrzeuge (BEV, EV, PHEV) am Gesamtbestand der Schweizer Autoflotte, Werte für 2021 von (EAFO, 2022), Daten für 2025, 2030 und 2035 von (Romang, 2021), weitere Werte sind interpoliert.	94
Tab. A-8 Jährlicher Stromverbrauch [MWh] durch E-Ladestationen in Hotels - Szenario BAU	94
Tab. A-9 Jährlicher Stromverbrauch [MWh] durch E-Ladestationen in Hotels - Szenario SF	95
Tab. A-10 Jährlicher Stromverbrauch [MWh] durch E-Ladestationen in Hotels - Szenario ADV	95
Tab. A-11 Hotel- und Kurbetriebe: Angebot und Nachfrage der geöffneten Betriebe in Graubünden (Jahresergebnisse 2005 - 2021) (BFS, 2022b).	96
Tab. A-12 Hotel- und Kurbetriebe: Geöffnete Betriebe in Graubünden - Stand 2021 und erwartete Werte für 2035. Einzelne Einträge wurden vom BFS gerundet. Für 2035 eigene Werte berechnet, Daten für 2021 von (BFS, 2022b), (BFS, 2022c), (BFS, 2022d) und (BFS, 2022e).	97

Formelverzeichnis

Formel 2-1: Berechnung der Anzahl benötigter E-Ladepunkte (Lade-Parkplätze).	12
Formel 2-2: Berechnung Einsparpotential Emissionen [t CO ₂ -eq].	15
Formel 2-3: Emissionen durch Verbrennungsfahrzeuge (ICE) [g CO ₂ -eq].	15
Formel 2-4: Emissionen durch Laden der Elektrofahrzeuge (EV) [g CO ₂ -eq].	15
Formel 2-5: Berechnung Einsparpotential Emissionen PHEV [t CO ₂ -eq].....	16

Abkürzungsverzeichnis

A	Ampere
AC	Wechselstrom (Alternating Current)
AFID	Alternative Fuel Infrastructure Directive
ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BEV	Battery Electric Vehicle (Batterie-elektrisches Fahrzeug)
BFE	Bundesamt für Energie
BFS	Bundesamt für Statistik
CNG	Compressed Natural Gas (Erdgas)
CO₂	Kohlenstoffdioxid
DC	Gleichstrom (Direct Current)
EV	Elektrofahrzeug (Electric Vehicle)
FCEV	Brennstoffzellenfahrzeug (Fuel Cell Electric Vehicle)
H₂	Wasserstoff
HEV	Hybrid Electric Vehicle (hybridelektrisches Fahrzeug ohne Stecker)
HKV	Herkunftsnachweis
IEA	International Energy Agency (Internationale Energieagentur)
ICE	Internal Combustion Engine – Fahrzeuge (Verbrennungsfahrzeuge)
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
LCA	Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment)
LNG	Liquefied Natural Gas (Flüssigerdgas)
LPG	Liquefied Petroleum Gas (Autogas)
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus (engl. NEDC), (veraltetes Test-Vorgehen)
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PE-BÄ	Primärenergie-Benzinäquivalente
PEV	Steckerfahrzeuge (Plug-in Elektrofahrzeuge, umfasst BEV und PHEV)
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle (Plug-in-hybridelektrische Fahrzeuge)
PKW	Personenkraftwagen (in der Schweiz auch Personenwagen (PW))
SCCER Mobility	Swiss Competence Center for Energy Research - Efficient Technologies and Systems for Mobility
SoC	State of charge (Ladezustand der Batterie)
THG	Treibhausgase
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
V	Volt
WLTP	Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure (neues Testvorgehen)

1. Einleitung

1.1. Motivation

Die Elektrifizierung des motorisierten Individualverkehrs ist weiterhin stark am Wachsen und soll maßgebend dazu beitragen, die emittierten Treibhausgase (THG) des Verkehrssektors zu minimieren. Weltweit gehört der Verkehrssektor zu den größten Verursachern von Kohlenstoffdioxid (CO₂) und ist für 23 % der weltweiten energiebedingten CO₂-Emissionen verantwortlich (IEA, 2022b). Der Schweizer Verkehrssektor (ohne internationalen Flug- und Schiffsverkehr) war im Jahr 2020 für 31.6 % der totalen anthropogenen THG-Emissionen verantwortlich und macht damit den größten Anteil aus (BAFU, 2022a). Europaweit und global haben viele Regierungen die E-Mobilität in ihren Maßnahmenpaketen verankert, um ihre Klimaziele zu erreichen. In den Nachbarländern der Schweiz gelten die EU-Klimaziele, die mit Hilfe des „Fit for 55“-Pakets durch eine Überarbeitung der Verordnung zur Festlegung von CO₂-Emissionsnormen für Personenkraftwagen (PKW) und leichte Nutzfahrzeuge erreicht werden sollen. Die Ziele sind, den Straßenverkehrssektor in die EU-Ziele des europäischen Klimagesetzes einzubinden, die Erreichung der Klimaneutralität bis 2050 und die Netto-Treibhausgasemissionen bis 2030 um 55 % gegenüber 1990 zu senken (Erbach, 2022).

Die Schweiz hat sich mit der Unterzeichnung des Kyoto-Protokolls international verpflichtet, gewisse CO₂-Reduktionsziele zu erreichen, was in den vergangenen Jahren als Richtlinie diente. Basierend darauf sind die wichtigsten Maßnahmen der geltenden CO₂-Gesetzgebung in der Schweiz: die CO₂-Abgabe auf fossilen Brennstoffen, das Gebäudeprogramm, der Emissionshandel, CO₂-Vorschriften für neue Personenwagen, die Kompensation von CO₂-Emissionen, Technologiefonds und das Klimaprogramm. Für die Elektrifizierung des Verkehrs sind insbesondere die CO₂-Vorschriften für neue Personenwagen relevant. In der Schweiz gelten seit Juli 2012, analog zur EU, CO₂-Vorschriften für neue Personenwagen. Die Klimapolitik nach 2020 wird maßgebend durch das Übereinkommen von Paris beeinflusst. Mit der rechtskräftigen Anerkennung des Übereinkommens von Paris hat sich die Schweiz verpflichtet, die Treibhausgasemissionen bis 2030 um 50 % gegenüber 1990 zu senken. Die internationale Staatengemeinschaft hat sich 2015 das Ziel gesetzt, den durchschnittlichen globalen Temperaturanstieg im Vergleich zur vorindustriellen Zeit auf deutlich unter 2 °C zu begrenzen und strebt eine maximale Erwärmung von 1.5 °C an. Konkret müssen daher bis 2050 die weltweiten THG-Emissionen netto Null betragen. Demnach dürfen langfristig nicht mehr Treibhausgase in die Atmosphäre gelangen, als durch natürliche und technische Speicher aufgenommen werden können. Für die Umsetzung des Übereinkommens von Paris wurde vom Parlament in der Herbstsession 2020 eine Totalrevision des CO₂-Gesetzes angenommen, die in der Volksabstimmung vom 13. Juni 2021 jedoch abgelehnt wurde. Als Übergang für die Jahre 2021-2024 hatte das Parlament daher eine Teilrevision zur Verlängerung einzelner klimapolitischer Instrumente beschlossen. Darin ist definiert, dass die THG-Emissionen bis im Jahr 2024 jährlich um weitere 1.5 % gegenüber 1990 sinken sollen. Wie genau die Schweiz nun die längerfristigen Ziele erreichen will, ist nach der Ablehnung der Totalrevision des CO₂-Gesetzes unklar. Fest steht, dass ein mehrheitsfähiges Gesetz ausgearbeitet und

vom Volk angenommen werden muss, um den CO₂-Ausstoss und die daraus resultierenden Folgen der Klimaveränderung für Mensch und Natur zu minimieren (BAFU, 2022b).

Die Klimapolitik und die Energiepolitik sind eng aufeinander abgestimmt. Mit der Annahme des revidierten Energiegesetzes im Jahr 2017, im Rahmen der Energiestrategie 2050, hat das Stimmvolk der Schweiz zugestimmt, den Energieverbrauch zu senken, die Energieeffizienz zu erhöhen und die erneuerbaren Energien zu fördern. Ziel ist es damit die Abhängigkeit der Schweiz von importierten fossilen Energien zu reduzieren und gleichzeitig die erneuerbaren Energien zu stärken. Das Gesetz wurde auf Anfang 2018 in Kraft gesetzt. Energiespar- und Effizienzmaßnahmen werden unter anderem im Verkehrssektor umgesetzt, indem die Zielvorgaben für den CO₂-Ausstoss von Neuwagen weiter gesenkt werden (UVEK, 2017).

Um die CO₂-Zielvorgaben im Durchschnitt über den gesamten Fahrzeugbestand einzuhalten, müssen Autohändler vermehrt Fahrzeuge mit emissionsarmen Antriebstechnologien ins Sortiment aufnehmen, um die gesetzlichen Richtwerte einzuhalten. Ansonsten müssen Strafgebühren bezahlt werden. Elektrofahrzeuge (EV) sind am besten etabliert, den Verkehrssektor maßgeblich emissionsärmer zu gestalten und weisen über die letzten Jahre das größte Wachstum aller Antriebstechnologien auf (EAFV, 2022).

Die *Roadmap Elektromobilität*, ein Programm das vom Schweizerischen Bundesamt für Energie (BFE) und vom Bundesamt für Strassen (ASTRA) getragen wird, soll bei der Etablierung der E-Mobilität helfen. 56 Organisationen haben sich mit Maßnahmen verpflichtet, die folgenden drei Ziele bis 2025 zu erreichen (Roadmap Elektromobilität, 2022):

- 50 % Steckerfahrzeuge (PEV) bei den Neuzulassungen
- 20'000 allgemein zugängliche Ladestationen
- Nutzerfreundlich und netzdienlich laden – zu Hause, am Arbeitsort und unterwegs

Es ist für alle Branchen wichtig, sich rechtzeitig auf den Technologiewandel vorzubereiten. Folglich wird auch in der Hotelindustrie ein attraktives Netz an Elektroladestationen für Hotelgäste, welche mit einem Elektrofahrzeug anreisen, als zunehmend wichtiger Wettbewerbsfaktor erachtet. Ob ein Hotel eine Ladestation vor Ort hat oder nicht, könnte in Zukunft zu einem maßgebenden Kriterium für die Wahl der Unterkunft werden.

Im Rahmen dieser Thesis werden Szenarien für die E-Mobilität und die benötigte Ladeinfrastruktur erstellt, um zu zeigen, wie viele Elektroladestationen, verteilt auf die Hotels im Kanton Graubünden, notwendig sind, um den zukünftigen Ladebedarf der Hotelgäste zu decken. Für den kantonsweiten Bedarf an Ladestationen für Hotels werden dazu Herleitungen hinsichtlich der bevorstehenden Entwicklung erstellt. Beispielsweise wird das zukünftige Fahrzeugaufkommen der Gäste während ausgelasteten Spitzenzeiten bestimmt und berechnet, wie viele der Gäste in Zukunft in einem Elektrofahrzeug anreisen werden. Dazu wird beispielsweise die Entwicklung der gesamtschweizerischen Automobilflotte auf die verschiedenen Antriebsarten untersucht. Anhand der

erstellten Szenarien wird auch eine quantitative Berechnung in Bezug auf den zukünftigen Energiebedarf und das CO₂-Einsparungspotenzial durch die E-Mobilität erstellt. Dafür wird unter anderem das durchschnittliche Verkehrsverhalten für längere Reisen mit Übernachtungen untersucht und welchen Einfluss Langsam- und Beschleunigt-Ladestationen auf die Benutzer und die Ladeeffizienz, respektive den Stromverbrauch, haben. Ebenfalls werden antriebspezifische Eigenschaften der Fahrzeuge untersucht, insbesondere der spezifische Treibstoffverbrauch und die THG-Emissionen.

Der folgende Abschnitt gibt einen Überblick über relevante Studien zur Entwicklung der E-Mobilität, des Tourismus und der Hotellerie. In Abschnitt 1.3 wird detaillierter auf die Forschungsfragen der vorliegenden Masterthesis eingegangen und die vorhandene Forschungslücke erläutert.

1.2. Stand der Forschung

In Bezug auf die E-Mobilität gibt es mehrere Studien, die verschiedene Teilaspekte untersucht haben, die für die branchenspezifische Szenarioentwicklung in dieser Masterarbeit relevant sind. Im Folgenden werden relevante Studien und Szenarien über die Entwicklung der Tourismusbranche in Graubünden und der E-Mobilität mit Fokus auf den Schweizer Markt aufgeführt und es wird auf deren Annahmen und Grenzen eingegangen. Zudem wird auf eine Studie über Lebenszyklusanalysen (LCA) eingegangen, welche die verschiedenen Fahrzeugantriebe und deren Treibstoffverbrauch untersucht hat. Abschließend wird kurz auf die Batteriekapazität und die Reichweite der EVs eingegangen, um den aktuellen Stand der Entwicklung von Elektrofahrzeugen zu veranschaulichen.

Plaz & Schmid (2015) haben für das Wirtschaftsforum Graubünden im Bericht „Langfristige Entwicklung des Bündner Tourismus“ verschiedene Entwicklungen des flächenmäßig größten Kantons der Schweiz über die letzten Jahrzehnte analysiert. Die Studie sieht aufgrund des demographischen Wandels einerseits eine tendenziell abnehmende Bedeutung des Wintersports. Andererseits besteht ein großes Potential, Natur- und Genussreisen im Frühling bis Herbst attraktiv zu gestalten, besonders für Senioren. Das überdurchschnittliche Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum in vielen Ländern spricht für ein zusätzliches Wachstum der Tourismusindustrie. Dazu ist entscheidend, in den relevanten Ländern die Bündner Tourismusregion attraktiv zu vermarkten, um mit dem weltweiten Markt mithalten zu können. Graubündens Gästeaufkommen und die Anreisewege werden in der Studie ebenfalls untersucht und mehr als 70 % der Ankünfte ist auf Gäste zurückzuführen, welche mittels einer Autofahrt von weniger als drei Stunden anreisen können. Diese Erkenntnisse sind sehr hilfreich für die im Rahmen dieser Arbeit zu treffenden Annahmen bezüglich der durchschnittlich zurückzulegenden Distanzen. Die Mehrheit der Gäste ist aus dem Inland oder aus dem benachbarten Deutschland, welche es durch die Aufrechterhaltung der hohen Qualitätsstandards in der Branche zu halten gibt. Der Trend aller erfassten Logiernächte ist tendenziell leicht abnehmend, über die letzten Jahrzehnte betrachtet. Die Entwicklung der zur Verfügung stehenden Betten in den geöffneten Hotelbetrieben ist seit mehreren Jahrzehnten nahezu konstant (Plaz & Schmid, 2015).

Thoma et al. (2017) haben für das Amt für Energie und Verkehr Graubünden (AEV) den Bericht „Masterplan Ladeinfrastruktur E-Mobilität Kanton Graubünden“ verfasst. Der Masterplan soll bei der Planung des Aufbaus von Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge helfen und basiert auf einer im Jahr 2016 erstellten Neuberechnung der E-Mobilitätsszenarien bis 2035, des Unternehmens EBP. Grundlage dazu ist die von BFE, ASTRA, Bundesamt für Umwelt (BAFU) und Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) in Auftrag gegebene Studie aus 2013 „Chancen und Risiken der Elektromobilität in der Schweiz“. Anhand von drei Szenarien werden mögliche Entwicklungen für den Kanton Graubünden dargestellt, mit dem Ziel, den zukünftigen Bedarf an Ladestationen abzubilden und eine Aufteilung der Ladestationen pro Segment und pro Region vorzunehmen. Für Hotels und Kurbetriebe weisen die Szenarien bis 2035 zwischen 1'919 und 3'733 benötigte Ladestationen in der Kategorie Langsam-Laden auf (3.7 bis 11 kW Leistung). Für den ganzen Kanton werden gut 4'500 bis über 8'800 öffentliche Ladestationen prognostiziert, je nach Szenario. Die Studie dient als hilfreiche Literatur für die im Rahmen dieser Thesis durchgeführten Berechnung des Bedarfs an Ladestationen für Hotelbetriebe. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass die grundlegenden Daten zum prognostizierten Bestand an Elektrofahrzeugen nicht mehr aktuell sind und heutige Szenarien bis 2035 deutlich höhere Bestände prognostizieren. Die Bedarfsermittlung der Ladestationen für Hotels und Kurbetriebe wurde anhand der Anzahl Zimmer pro Betrieb ermittelt und einer korrelierenden Annahme der verfügbaren Parkplätze, je nach ländlicher oder urbaner Umgebung. Im Masterplan werden auch soziodemografische Faktoren und Indikatoren des Mobilitätsverhaltens, sowie kantonale Standortfaktoren berücksichtigt. Graubünden besteht aus eher ländlichen Regionen und liegt vollständig im Gebiet der Alpen. Aufgrund der räumlichen, topografischen und verkehrlichen Voraussetzungen wird eine verzögerte Elektrifizierung des Bündner Fahrzeugbestands erwartet. Im Vergleich zum schweizerischen Durchschnitt wird der Marktanteil der Elektrofahrzeuge bis zum Untersuchungshorizont 2035 im Kanton Graubünden ein um 20 % geringerer Anteil des gesamten PKW-Neuwagenmarkts ausmachen. Bezüglich der Innovationsdiffusion wird im Vergleich zum schweizerischen Durchschnitt das Jahr mit dem höchsten Marktanteilzuwachs zwei Jahre später erwartet (Thoma et al., 2017).

Swiss eMobility hat in Zusammenarbeit mit *Protoscar* Szenarien zur Entwicklung der Steckerfahrzeuge berechnet, unterteilt in batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) und Plug-in-hybridelektrische Fahrzeuge (PHEV) (Romang, 2021). *Swiss eMobility* ist ein Verband mit mehreren renommierten Unternehmen als Mitglieder, welche unter anderem in den Sektoren Industrie, Verkehr und Infrastruktur tätig sind. Die Schaffung der politischen und institutionellen Grundlagen für die Entwicklung der E-Mobilität in der Schweiz ist dabei im Fokus. *Swiss eMobility* agiert als Wissensdrehscheibe für Industrie, Gesetzgeber und Konsumenten und befasst sich mit ökonomischen, rechtlichen, technischen, strukturellen, ökologischen und sozialen Fragen der E-Mobilität. Als zentraler Akteur der Schweizer E-Mobilität ist *Swiss eMobility* dank umfassender Branchenkenntnis, Vertretung in relevanten Regulierungsgremien und der Leitung der parlamentarischen Gruppe Elektromobilität im ständigen Dialog mit zahlreichen verwandten Interessengruppen, im In- und Ausland (Swiss eMobility, 2022). Aus der Studie geht einerseits hervor, dass PHEVs nur als Übergangstechnologie dienen und ab 2030 bei

den Neuwagen durch BEVs abgelöst werden. Unter Annahme, dass die Schweiz der Entwicklung der Leitmärkte folgt, allenfalls mit einer gewissen Verzögerung, ist gemäß den erwarteten Neuzulassungen davon auszugehen, dass selbst im pessimistischen Szenario im Jahr 2035 fast die Hälfte (48 %) des Fahrzeugbestands ein Steckerfahrzeug sein wird, im optimistischen Szenario bis zu 59.7 % (Romang, 2021). Die Resultate der Szenarien von *Swiss eMobility* werden in dieser Arbeit als Richtlinie für die Elektrifizierung des Schweizer PKW-Bestands verwendet. Als Grundlage für die Entwicklung des Gesamtbestands der Schweizer Autoflotte diene *Swiss eMobility* die vom Bund in der Energiestrategie 2050 getroffenen Annahmen zum Schweizer Fahrzeugbestand, siehe „Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050“, im Folgenden kurz beschrieben (Justen et al., 2022).

Im Bericht „Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050“ ist der Wechsel hin zur E-Mobilität etwas weniger ausgeprägt. Je nach Szenario wird der Flottenmix im Jahr 2050 einen Anteil an Elektrofahrzeugen zwischen 38 % (WWB: Weiter wie bisher) und 74 % (NTG: Nachhaltige Gesellschaft) aufweisen. Beim Neuwagenmarkt wird von einem Anteil von 70-90 % im Jahr 2040 ausgegangen. Bei einem Bevölkerungswachstum von 21 % zwischen 2017 und 2050, steigt der Personenverkehr unterdessen nur um 11 %. Für diese Szenarien werden die Auswirkungen von COVID-19 und der Energiekrise, verursacht durch den Krieg in der Ukraine, mehrheitlich nicht berücksichtigt, da die langfristigen Folgen sich noch nicht empirisch belegen lassen (Justen et al., 2022).

De Haan et al. (2022) haben in der EBP-Studie „Electric and Hydrogen Mobility Scenarios Switzerland 2022“ die Entwicklung der E-Mobilität in der Schweiz untersucht, mit ähnlichen Resultaten wie *Swiss eMobility*. EBP ist ein fachlich unabhängiges Beratungs- und Planungsunternehmen und hat langjährige Erfahrung im Bereich Mobilität. Laut EBP steigt der Anteil der Elektrofahrzeuge an der gesamten Fahrleistung, unter Berücksichtigung aller Fahrzeugkategorien (PKW, leichte Nutzfahrzeuge, schwere Nutzfahrzeuge). Bis 2030 steigt der Anteil je nach Szenario auf 25 bis 39 %. Bis 2035 steigt der Anteil an der gesamten Fahrleistung je nach Szenario auf über 40 %, bis auf knapp 70 %. Da ausführliche Daten über die verschiedenen Fahrzeugkategorien nicht frei zugänglich sind, wird diese Studie nicht für die hier durchgeführten Szenarien verwenden, dient aber als gute Richtlinie.

Cox et al. (2020) führten einen LCA-Umwelt- und Kostenvergleich von heutigen und zukünftigen PKWs mit verschiedenen Energieszenarien durch, die am Paul Scherrer Institut im Rahmen des *Swiss Competence Center for Energy Research - Efficient Technologies and Systems for Mobility* (SCCER Mobility) erarbeitet wurden. Die Erkenntnisse sind hilfreich beim Vergleich der Energieverbräuche und Emissionen der Fahrzeuge nach jeweiliger Antriebsart und zeigen auf, wie sich die Antriebsarten zukünftig verbessern werden. EnergieSchweiz & BFE (2020) berechneten auf Basis dieser Studie für das Jahr 2018 einen Durchschnittsverbrauch für Elektrofahrzeuge von 19.3 Kilowattstunden (kWh) pro 100 km, während bis im Jahr 2040 der Kraftstoffverbrauch auf 15.4 kWh/100 km abnehmen wird. Für die BEVs wird eine durchschnittliche Batteriekapazität von 36 kWh (2018) und 55 kWh (2040) angenommen. Benzinbetriebene Fahrzeuge werden im Jahr 2040 voraussichtlich 4.8 L/100 km verbrauchen, verglichen mit 7.6 L/100 km im Jahr 2018, für einen durchschnittlichen

Mittelklassewagen (EnergieSchweiz & BFE, 2020). Diese prognostizierten Verbräuche werden für die hier berechneten CO₂-Einsparungen verwendet (siehe Abschnitt 4.3 Fortschritt der Fahrzeugantriebe).

Die nutzbare Batteriekapazität von Elektroautos ist über die letzten Jahre rasant gestiegen. Durch neue technische Entwicklungen und Langzeiterkenntnisse wurde die kontinuierliche Etablierung von E-Fahrzeugen weiter vorangetrieben. Die mittlere nutzbare Batteriekapazität von 248 kommerziell erhältlichen neuen Elektroautos ist 67.4 kWh, erhoben von der *EV Database*, einer Vergleichsplattform für EVs. Die Kapazität reicht von 16.7 kWh im *Smart EQ fortwo*, bis hin zu 118 kWh des *Lucid Air Dream Edition P/R* (EV Database, 2022). Die International Energy Agency IEA (2021) berechnete anhand der Zulassungen von Elektroautos eine durchschnittliche Batteriekapazität von 55 kWh für BEVs und 14 kWh für PHEVs. In Reichweite ausgedrückt lag im Jahr 2020 die gewichtete durchschnittliche Reichweite eines neuen batteriebetriebenen Elektroautos bei 350 km, gegenüber 200 km im Jahr 2015. Die durchschnittliche elektrische Reichweite von PHEVs ist in den letzten Jahren relativ konstant geblieben, bei 50 km. Die gewichtete durchschnittliche Reichweite von Elektroautos ist außerdem stark abhängig von geografischen Gegebenheiten. So sind die Batteriekapazitäten in den Vereinigten Staaten tendenziell höher als in China, da der Anteil kleiner Elektroautos in dichtbesiedelten chinesischen Städten größer ist (IEA, 2021).

1.3. Problemstellung, Zielsetzung und Aufbau der Arbeit

Es ist bereits viel über die zukünftige Entwicklung des Verkehrsverhaltens und die rasant wachsende Elektrifizierung des Personenverkehrs erforscht. Die meisten Szenarien und Studien befassen sich jedoch nicht spezifisch mit der Tourismusbranche oder der Hotellerie. Um diese Forschungslücke zu füllen, werden in dieser Studie die im vorherigen Abschnitt 1.2 erläuterten Themengebiete und ihr Zusammenspiel branchenspezifisch untersucht. Daraus leiten sich die folgenden zwei Forschungsfragen ab:

1. Wie wird sich die E-Mobilität (Elektro-PKWs) und die erforderte Elektrofahrzeug-Ladeinfrastruktur für Hotelgäste des Kantons Graubünden bis 2035 verändern?
2. Wie hoch ist das CO₂-Einsparpotential des zunehmend elektrifizierten Reisens der Hotelgäste im Kanton Graubünden?

Um diese Forschungsfragen zu beantworten, werden im Rahmen dieser Masterthesis am Beispiel des Kantons Graubünden zwei separate Rechenmodelle für die Berechnung der Szenarien erstellt, die unterschiedliche Entwicklungen der Gästemobilität bis im Jahr 2035 aufzeigen sollen. Das Excel-Rechenmodell „Modell_Bedarf_E-Ladestationen_GR“ soll anhand unterschiedlicher Szenarien Erkenntnisse liefern, wie viele Elektroladestationen, respektive Ladepunkte, in den Bündner Hotels notwendig sind, um den bevorstehenden Ladebedarf der Hotelgäste abzudecken. In einem zweiten Rechenmodell „Modell_CO₂_Einsparung_GR“ soll anhand der Szenarien der zukünftige Energiebedarf dieser Ladestationen für das Laden der Fahrzeuge berechnet und daraus das resultierende CO₂-Einsparpotenzial ermittelt werden. Die beiden Rechenmodelle sind im Anhang B zu finden.

Die Anzahl erforderlicher Ladestationen für die Bündner Hotelbetriebe wird anhand der Branchenkennzahl „Verfügbare Betten“ für alle geöffneten Betriebe bestimmt. Somit kann die maximale Anzahl Gäste während Spitzenzeiten bestimmt werden, die bei voller Auslastung beherbergt werden kann. Anhand dieser Kennzahl kann theoretisch auch für andere Kantone oder Tourismusregionen der Bedarf an Ladestationen ermittelt werden, mit Hilfe der hier durchgeführten Szenarioentwicklung. Das CO₂-Einsparpotenzial wird anhand des Energiebedarfs der Ladestationen berechnet und steht im Verhältnis zu der tatsächlichen „Anzahl Logiernächte“. Das CO₂-Einsparpotenzial wird anhand vieler verschiedener Einflussfaktoren berechnet, die für andere Tourismusorte variieren können, wie beispielsweise die durchschnittliche Anreisedistanz.

Die Forschungsfragen sollen für das Jahr 2035 beantwortet werden, unter der Annahme, dass die Schweiz die Ziele des Energiegesetzes im Rahmen der Energiestrategie 2050 aktiv anstrebt und die THG-Emissionen stark reduzieren kann. Wenn der Schweizer Verkehrssektor bis 2050 überwiegend fossilfrei gestaltet werden soll, zeigen diese Szenarien nicht nur wahrscheinliche, sondern notwendige Entwicklungen im Verkehrssektor auf.

Die hier erstellten Szenarien sollen anhand der Hotelindustrie im Kanton Graubünden aufzeigen, in welchem Umfang sich die Tourismusbranche auf die E-Mobilität vorzubereiten hat. Die Erkenntnisse können auch für andere touristische Gebiete hilfreich sein. Für die Bereitstellung der erforderlichen Ladeinfrastruktur gibt es für Hotelbetriebe aktuell kein spezifisches Förderprogramm. Die Schweizer Förderlandschaft sieht im Energiebereich einige wenige Unterstützungsmöglichkeiten für die Entwicklung von Ladestationen vor, welche mit einem Gesuch beantragt werden können. Die Ergebnisse dieser Thesis werden der Hanser Consulting AG, einem Schweizer Beratungsunternehmen, zur Verfügung gestellt, um bei der Erstellung eines betriebsübergreifenden Fördergesuchs für Hotelbetriebe im Kanton Graubünden behilflich zu sein.

Die folgende Abbildung stellt die Vorgehensweise und die Berichtstruktur dieser Arbeit grafisch dar. Die Nummern in der Grafik beziehen sich auf die jeweiligen Kapitel im Bericht. Die Pfeile dienen als Hilfsmittel für den Ablauf und zeigen auf, welche der verschiedenen Szenario-Einflussfaktoren für die entsprechenden Resultate verwendet werden.

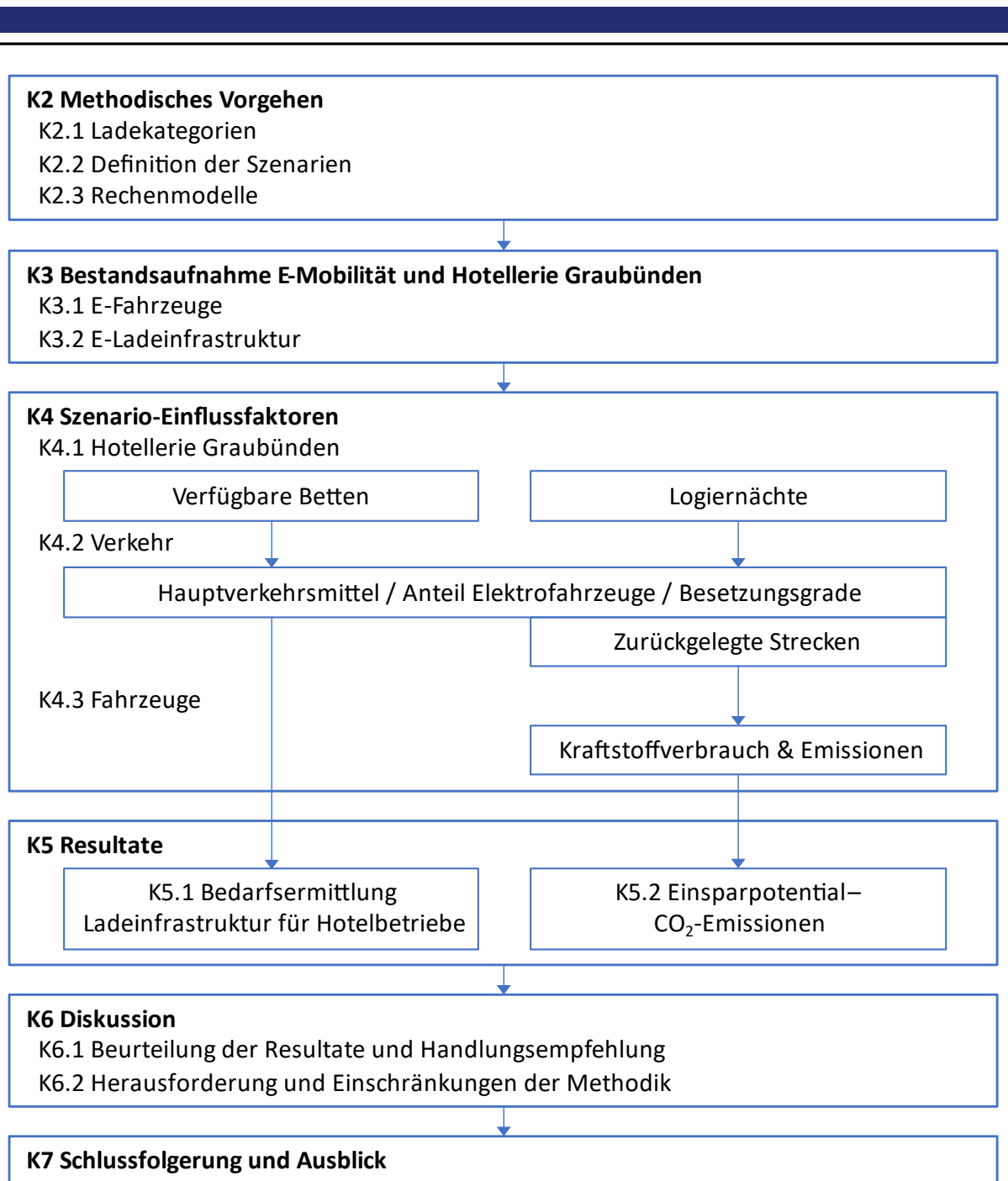


Abb. 1-1 Schematische Darstellung der Vorgehensweise und Berichtstruktur.

2. Methodisches Vorgehen

In diesem Kapitel wird das methodische Vorgehen in dieser Thesis beschrieben. Zuerst wird auf die Kategorisierung der Ladestationen eingegangen. Danach werden die übergreifenden Szenarien beschrieben, welche für beide Rechenmodelle verwendet werden. Anschließend wird erläutert, wie die Berechnungen durchgeführt werden, die Antworten auf die beiden Forschungsfragen liefern sollen. Dazu wird im Abschnitt Bedarfsermittlung Ladeinfrastruktur erklärt, wie die benötigte Anzahl Ladestationen in der Hotellerie in Graubünden berechnet wird. Im Abschnitt Einsparpotential - CO₂-Emissionen wird beschrieben, wie durch einen Vergleich von Elektrofahrzeugen und herkömmlichen Benzinfahrzeugen, über den jeweiligen Energieverbrauch, das CO₂-Einsparpotential berechnet wird.

2.1. Ladekategorien

Im Rahmen dieser Untersuchung werden die Ladestationen entsprechend ihrer Leistung in Kategorien eingeteilt. Die Unterteilung nach Leistung lehnt sich an branchenübliche Kategorien und andere Studien an. Insbesondere der *Masterplan Ladeinfrastruktur E-Mobilität Kanton Graubünden* dient als geeignete Referenz (Thoma et al., 2017).

Langsam-Laden: Unter Langsam-Laden wird in dieser Untersuchung eine Ladeleistung von 0-11 kW Wechselstrom (AC) definiert. Ein Großteil der Ladestationen in Haushalten gehört dieser Kategorie an. Es wird davon ausgegangen, dass pro Ladestation ein Ladepunkt angeboten wird, respektive ein Ausgangsanschluss mit dem ein E-Fahrzeug aufgeladen werden kann. Für diese Ladeoption sind lange Ladezeiten benötigt. Daher sind Orte wie Haushalte, Arbeitsplätze oder Hotels ideal geeignet für Langsam-Ladestationen (Thoma et al., 2017). Umgesetzt kann dies sehr einfach werden, mit der Installation einer handelsüblichen Wallbox für Elektrofahrzeuge. In einzelnen Fällen werden in Hotels einfachheitshalber auch Drehstromkabel (400 Volt) oder übliche 230-V-Stecker zur Verfügung gestellt (siehe Abschnitt 3.2.1 Ladestationen in Bündner Hotels – Aktueller Bestand). Infolgedessen müssen Gäste oft ihre eigenen Ladeadapter verwenden, und für die Hotels gestaltet sich zudem die Abrechnung der Ladekosten schwieriger. Bei einfachen Haushaltssteckdosen dauert eine Vollladung bei 4 kW gute 16 Stunden für durchschnittliche Elektrofahrzeuge und bei Leistungen von 2 kW um die 33 Stunden. Mit immer noch relativ langen Parkzeiten, üblicherweise über Nacht, kann mit 11 kW ein durchschnittliches Fahrzeug in unter sechs Stunden geladen werden. Diese Leistung und die daraus resultierende Ladezeit genügen jedoch problemlos den Anforderungen der Hotelgäste. Für die Berechnung der Ladezeiten wird mit einer durchschnittlichen Akkukapazität von 55 kWh gerechnet (IEA, 2021). Die Ladeeffizienz wird bei der Berechnung der Ladezeit ebenfalls berücksichtigt und im Abschnitt Ladeeffizienz und -verluste diskutiert.

Beschleunigt-Laden: Unter der Kategorie Beschleunigt-Laden werden Ladestationen mit typischerweise zwei Ladepunkten (Ausgangsanschlüssen) verstanden. Dazu sind auch zwei Parkplätze nötig. Beide Ausgangsanschlüsse zusammen liefern eine Leistung von über 11 bis zu 22 kW Leistung (AC). Sind zwei Fahrzeuge gleichzeitig angeschlossen, wird durch ein integriertes Lastmanagement der Ladestation die Leistung zwischen den beiden Fahrzeugen aufgeteilt. Ladestationen dieser

Ladekategorie werden üblicherweise bei Einkaufszentren, großen Parkplätzen, Skigebieten, Gondel- und Liftstationen oder entlang von Straßen angeboten. Ebenfalls sind auch viele Hotels mit solchen Ladestationen ausgestattet (siehe Tab. 3-3). Mit der bereits deutlich höheren Ladeleistung von 22 kW kann ein durchschnittliches Fahrzeug in weniger als drei Stunden vollständig aufgeladen werden oder zwei Fahrzeuge können mit je 11 kW in rund sechs Stunden aufgeladen werden.

Schnell-Laden: Die Kategorie Schnell-Laden ist für diese Studie weniger relevant. Daher werden sämtliche AC- und Gleichstrom (DC)-Ladestationen über 22 kW als solche klassifiziert, einschließlich Hochleistungs-Schnellladestationen. Diese Ladestationen weisen üblicherweise drei Ladepunkte auf. Üblicherweise wird dabei ein CHAdeMO und Combo 2 (CCS) DC-Stecker angeboten, sowie ein Typ-2 AC-Stecker (Thoma et al., 2017). Allgemein gelten die CCS-Stecker (AC/DC), sowie die Typ-2 Stecker (AC) in ganz Europa als Standard und sind am meisten verbreitet (siehe 3.2 E-Ladeinfrastruktur). Übergangsadapter für die Ladestecker bieten zudem für Ladeanbieter und Nutzer eine einfache Ergänzung zum Laden aller E-Fahrzeuge. Als Beispiel kann mit einer 50-kW-Ladestation eine Fahrzeugbatterie mit 55 kWh bei einem Ladewirkungsgrad von 95 % in etwas mehr als einer Stunde (1.16 h) geladen werden. In der folgenden Tabelle sind einige wichtige Begriffe über das Laden nochmals aufgeführt.

Tab. 2-1: Definitionen von Ladebegriffen (Thoma et al., 2017).

Ladepunkt	Der Begriff bezieht sich auf die Anzahl Stecker oder Steckdosen, die an einer Ladestation zur Verfügung stehen.
Ladestandort	Ein Ladestandort beschreibt einen Ort mit mindestens einer Ladestation und einem Stell- oder Parkplatz für Elektroautos.
Ladestation	Eine Ladestation bei Hotels ist meist in Form von einer Wandladebox (Wallbox) oder einer alleinstehenden Ladesäule anzutreffen. Die stationäre elektrische Einrichtung dient zum Laden von akkubetriebenen Elektrofahrzeugen per Steckerverbindung. Eine Ladestation kann mehrere Ladepunkte aufweisen.

2.2. Definition der Szenarien

Im Rahmen dieser Masterthesis werden am Beispiel des Kantons Graubünden drei geeignete Szenarien zur E-Mobilität und der benötigten Ladeinfrastruktur für die Hotellerie erstellt. Anhand der Szenarien können zudem die Emissionen und der zukünftige Energiebedarf dieser Ladestationen für das Laden der Elektrofahrzeuge berechnet werden. Die erstellten Szenarien stellen keine Extremszenarien dar. Falls sinnvoll werden Einflüsse der COVID-19 Pandemie bei den Einflussfaktoren entsprechend berücksichtigt. Beispielsweise werden bei der Entwicklung von Trends angepasste Werte für das Jahr 2020 verwendet, welche anhand der Jahre 2019 und 2021 bestimmt werden. In vielen Bereichen der Gesellschaft (u.a. Tourismus, Verkehr, Kaufbereitschaft) hat sich die Lage nach dem rasanten Einbruch durch die Pandemie wieder stark verbessert. Im Falle von zukünftigen Schocks (Energiepolitische

Entwicklungen, Wirtschaftskrisen, politische Veränderungen, Kriege) oder unvorhersehbaren technologischen Fortschritten, können sich andere Entwicklungen ergeben, die von den hier entworfenen Szenarien abweichen. Wenn die Schweiz das Erreichen der Ziele des Energiegesetzes im Rahmen der Energiestrategie 2050 aktiv anstreben wird und den Ausstoß der Treibhausgase stark reduzieren will, zeigen die folgenden drei definierten Szenarien die notwendigen Entwicklungen im Verkehrssektor auf. Für die Elektrifizierung der schweizerischen PKW-Flotte liegen aber keine konkreten Ziele vor, weshalb es sich bei den hier behandelten Szenarien nicht um reine Zielszenarien handelt, deren Eintreten von der Erfüllung bestimmter Voraussetzungen abhängt. Die Szenarien orientieren sich an verschiedenen Trends in der Tourismusbranche und der Verkehrsentwicklung.

Es werden nur elektrische Steckerfahrzeuge (PEV) berücksichtigt, unterteilt in BEVs und PHEVs. Diese werden verglichen mit benzinbetriebenen Fahrzeugen. Weitere Treibstoffe wie Diesel, Erdgas und Wasserstoff (H₂) sind nicht teil der Untersuchung. Auch hybridelektrische Fahrzeuge (HEV) sind nicht zu berücksichtigen, da diese nicht mit einem Stecker, bzw. nicht mit E-Ladestationen, aufgeladen werden.

Für das zukünftige Verkehrsverhalten in der Schweiz wird unter anderem die Studie vom ARE „Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050“ (Justen et al., 2022) konsultiert und die Szenarien von *Swiss eMobility*, aus dem Bericht „Szenario 2035: Marktdurchdringung für Steckerfahrzeuge (PEV) in der Schweiz“ (Romang, 2021). Für die Analyse und Auswertung der Hotel- und Tourismusbranche werden primär Daten vom Bundesamt für Statistik (BFS) verwendet.

Die in dieser Thesis definierten Szenarien „Business as Usual (BAU)“ und „Stärkere Förderung der Elektromobilität (SF)“, unterscheiden sich im Wesentlichen durch den Anteil der E-Fahrzeuge am gesamten PKW-Bestand. Die Indikatoren für diese unterschiedlichen Entwicklungen sind eine stärkere, bzw. schwächere Förderung und entsprechende Etablierung der Elektromobilität in der Schweiz. Das dritte Szenario „Advanced Charging (ADV)“, soll eine stärkere Etablierung von „Beschleunigt-Laden“ durch stärkere Ladestationen mit höherer Leistung aufzeigen. Für die ersten zwei Szenarien wird überwiegend eine Verbreitung von Langsam-Ladestationen angenommen, was aufgrund der zuvor erwähnten längeren Standzeiten der Fahrzeuge für die Hotellerie am besten geeignet ist (Thoma et al., 2017). Der Bedarf an Ladestationen wird berechnet mit 90 % Langsam-Ladestationen (0-11 kW Ladeleistung) und 10 % Ladestationen der Kategorie Beschleunigt-Laden (11-22 kW). Für das ADV-Szenario wird mit 60 % Langsam-Laden und 40 % Beschleunigt-Laden gerechnet. Obwohl Langsam-Laden für Hotelgäste in den meisten Fällen ausreichend sein sollte, verfügen bereits heute viele Betriebe über Ladestationen der Kategorie Beschleunigt-Laden (siehe Tab. 3-3). Der gewählte Anteil von 40 % Beschleunigt-Laden entspricht etwa der heutigen Ausgangslage. Schnell-Ladestationen werden im Gegensatz nicht empfohlen für Hotels, da diese besser geeignet sind für öffentliche Ladestandorte und mit höheren Infrastrukturkosten verbunden sind.

2.3. Rechenmodelle

Für beide Rechenmodelle ist das Vorgehen zunächst gleich. Als Grundlage für die Entwicklung der verschiedenen Szenarien wird anhand der letzten Jahre (je nach Datenlage, ab 2005, 2016, oder 2017) bis 2021 der Tourismussektor im Kanton Graubünden untersucht und daraus ein Trend bis 2035 abgeleitet. Untersuchte Einflussfaktoren sind unter anderem: Ankünfte, Logiernächte, Aufenthaltsdauer und Anzahl Betten der geöffneten Betriebe. Die Anzahl der von Touristen genutzten E-Fahrzeuge ist nicht bekannt. Daher wird anhand von vorhandenen Berichten, Umfragen und Statistiken berechnet, wie viele Touristen prozentual mit einem Personenwagen anreisen und welchen Anteil die E-Fahrzeuge daran haben. Dieser Anteil des E-Fahrzeugbestands wird auf die Anzahl Personenwagen der Touristen verrechnet. Berücksichtigt wird auch wie viele Personen zusammen in einem Fahrzeug unterwegs sind, um die Gesamtanzahl der Fahrzeuge zu bestimmen. Die Berechnungen werden für jedes Jahr von 2021-2035 durchgeführt. Im Folgenden wird nun das Vorgehen in den beiden individuellen Berechnungsmodellen näher erläutert. In Kapitel 4 werden dann alle Einflussfaktoren und deren zeitliche Veränderung, welche für die Excel-Modelle verwendet werden, detailliert erklärt.

2.3.1. Bedarfsermittlung Ladeinfrastruktur

In diesem Abschnitt wird der Forschungsfrage 1 nachgegangen, wie sich die E-Mobilität, konkret die Elektro-PKW's und die erforderliche Ladeinfrastruktur für die Hotelgäste des Kantons Graubünden bis 2035 verändern werden. Die benötigte Anzahl Ladestationen im Kanton wird anhand der Anzahl der verfügbaren Betten in den Hotels berechnet. Somit kann die maximale Anzahl Gäste in Spitzenzeiten bei Vollbelegung ermittelt werden. Saisonale Schwankungen müssen daher nicht weiter berücksichtigt werden. Die Anzahl benötigter E-Ladestationen wird für eine durchschnittliche Verteilung des Aufkommens an E-Fahrzeugen der Hotelgäste bestimmt. Es wird nicht berücksichtigt, dass zufällig an bestimmten Tagen deutlich mehr Gäste mit Elektrofahrzeugen in einem spezifischen Hotel übernachten. Im Durchschnitt wird für jeden EV-Nutzer für jede Nacht ein Ladeplatz vorgesehen. Es ist jedoch nicht anzunehmen, dass jeder Nutzer die Ladestation auch täglich, bzw. jede Nacht, brauchen wird.

Ausgehend von der Anzahl Betten dividiert durch den Fahrzeugsbesetzungsgrad (Personen pro PKW), multipliziert mit dem Anteil der Gäste, die mit einem Auto anreisen, und multipliziert mit dem EV-Anteil am Gesamtbestand, wird geschätzt wie viele E-Ladestationen, genauer gesagt, wie viele Ladepunkte benötigt werden (siehe Formel 2-1).

$$\text{Anzahl benötigte E – Ladepunkte} = \text{Anzahl Betten} * \frac{1}{\text{Besetzungsgrad}} * \text{Anteil PKW}_{\text{Verkehrsmittel}} * \text{Anteil}_{\text{EV}}$$

Formel 2-1: Berechnung der Anzahl benötigter E-Ladepunkte (Lade-Parkplätze).

Der PKW-Anteil gibt an, wie viele Touristen im Verhältnis zu allen von Touristen genutzten Verkehrsmitteln mit dem Auto reisen. Dieser Anteil ist im Abschnitt 4.2.1 Hauptverkehrsmittel der Touristen ausführlich beschrieben.

Für den Anteil an Elektrofahrzeugen wird der Schweizer Markt als Referenz genommen, mit

$$\text{Anteil}_{\text{EV}} = X_{\text{EV}} / X_{\text{PKW}} :$$

X_{EV} = Anzahl Elektrofahrzeuge, gesamthaft in der Schweiz registriert, je nach Szenario,

X_{PKW} = Gesamtbestand an Personenwagen, in der Schweiz registriert.

Einerseits ist ein wesentlicher Anteil der Hotelgäste in Graubünden aus der Schweiz und andererseits wird angenommen, dass Touristen aus fernen Märkten Schweizer Mietfahrzeuge verwenden. Zudem haben benachbarte Länder einen ähnlichen Anteil an Elektrofahrzeugen, was die Vereinfachung rechtfertigt. Im Abschnitt 4.2.2 wird auf den Flottenanteil der Elektrofahrzeuge genauer eingegangen.

Die Anzahl Ladepunkte, die den Hotelgästen zur Verfügung stehen müssen, wird jährlich von 2021-2035 pro Region (Verwaltungseinheit in Graubünden) und Gemeinde berechnet. Für die Auslegung der Anzahl Ladestationen wird angenommen, dass alle Hotelgäste die Gelegenheit haben sollen, ihr Auto bei Bedarf direkt im Hotel aufzuladen, um nicht unterwegs oder in der Nähe des Hotels eine Lademöglichkeit suchen zu müssen. Deshalb basiert die Berechnung auf einer vollen Auslastung der Betriebe. Wenn die Bündner Hotels den E-Ladeservice als Dienstleistung anbieten wollen, müssen genügend Ladestationen vorhanden sein. Es wird deshalb von folgendem Bedarf ausgegangen: Ein Ladepunkt für jedes E-Fahrzeug, das sich im Durchschnitt bei voller Auslastung im Hotel befindet. Eine grundlegende Annahme ist, dass jeder Tourist einen Langsam- oder Beschleunigt-Ladeplatz in der Nacht zur Verfügung haben sollte und das Fahrzeug zu keiner Zeit während des Aufenthalts umstellen muss, beispielsweise aus Rücksicht auf andere E-Fahrzeugnutzer. Bei überdurchschnittlich vielen Gästen mit E-Fahrzeugen kann das Hotelpersonal zudem anordnen, dass die Ladestecker bei Nichtbedarf wieder freigegeben werden. Auf diese Weise könnten auch direkt angrenzende normale Parkplätze von EV-Nutzern belegt werden, um ihre Fahrzeuge zu laden. Es könnte aber auch eine Dienstleistung vom Hotel sein, die Elektrofahrzeuge der Gäste umzuparken. Dies vom Gast zu verlangen, könnte allerdings als Hürde für die E-Mobilität gesehen werden.

In der Kategorie Beschleunigt-Laden sind, wie zuvor beschrieben, zwei Stellplätze und Lademöglichkeiten pro Ladestation üblich. Zudem kann erwogen werden, dass aufgrund der schnelleren Ladeleistung im Durchschnitt täglich zwei Fahrzeuge pro Ladepunkt aufgeladen werden können. Dazu müssten vier Parkplätze in der Nähe der Ladestation positioniert sein, damit kein Umstellen der Fahrzeuge erforderlich ist. Üblicherweise werden Ladeplätze mit höherer Leistung nur während dem Ladevorgang belegt, da anschließend im Normalfall eine Blockiergebühr fällig wird. Insbesondere dann, wenn Hotels ihre Ladestationen auch der Öffentlichkeit zur Verfügung stellen, z.B. in einer gemeinschaftlich genutzten Tiefgarage oder auf einem Außenparkplatz, wäre diese Gebühr zumindest tagsüber zu empfehlen. Beschleunigt-Laden würde in diesem Fall ein Umparken der Fahrzeuge oder eine durchdachte Anordnung zusätzlicher Ladeparkplätze erfordern, so dass nur die

Stecker ausgesteckt werden müssten und kein Umparken erforderlich wäre. Die kürzeren Ladezeiten ermöglichen jedoch eine zusätzliche flexible Lösung für die Bedürfnisse der Gäste. Dies ist besonders hilfreich, wenn Gäste ihre Fahrzeuge tagsüber aufladen müssen, wenn die Nachfrage nach Ladeplätzen während Spitzenbelastungen höher ist, oder wenn Tagesgäste ihre Fahrzeuge aufladen wollen, während sie das Restaurant des Hotels besuchen.

Bei der Auswertung der Resultate dieses Modells wird anhand der berechneten Anzahl von E-Ladestationen pro Region und Gemeinde grafisch dargestellt, wo in Zukunft besonders viele Ladestationen benötigt werden. Der errechnete jährliche Bedarf an Ladestationen bis 2035 (siehe Kapitel 5.1) wird zudem mit der aktuellen Ausgangssituation der Lademöglichkeiten verglichen (siehe Kapitel 3.2). So kann überprüft werden, in welchen Gemeinden es nach dem Rechenmodell derzeit zu wenig oder ausreichend Ladestationen gibt. Im Excel-Dokument „Modell_Bedarf_E-Ladestationen_GR“ (Anhang B) sind alle Berechnungen für die Bedarfsermittlung aufgeführt.

2.3.2. Einsparpotential - CO₂-Emissionen

In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie die Forschungsfrage 2 beantwortet werden soll. Dazu wird das Vorgehen zur Berechnung des CO₂-Einsparpotentials des zunehmend elektrifizierten Reiseverkehrs von Hotelgästen im Kanton Graubünden beschrieben. Die Berechnung und Auswertung erfolgt in Bezug auf die jährliche Anzahl Logiernächte für einzelne Tourismusorte (Gemeinden), Regionen oder den gesamten Kanton Graubünden, von 2021 bis 2035. Die Anzahl Logiernächte gibt genau Auskunft darüber, wie hoch das Gästeaufkommen in einzelnen Ortschaften oder Regionen ist. Die Berechnung der Anzahl Touristen, anhand der registrierten Logiernächte und ihrer Mobilitätsart, führt zu einer gewissen Anzahl an E-Fahrzeugen. Die zurückgelegten Kilometer von diesen Fahrzeugen ergeben den Bedarf an Energie in kWh, die geladen wird, sowie die Emissionen, ausgedrückt in CO₂-Äquivalenten, die anfallen. Diese Energie und die resultierenden Emissionen werden pro Fahrzeugantrieb (Benzin, BEV, PHEV) verglichen und können bei der Auswertung der Resultate auf die Anzahl Ladestationen oder Orte verrechnet werden. Die berechnete CO₂-Einsparung aller anreisenden Hotelgäste mit Elektrofahrzeugen kann anschließend auf die Anzahl Ladestationen verteilt werden und dient als Abschätzung, wie viel CO₂ pro bereitgestellter Ladestation eingespart werden kann.

Um das CO₂-Einsparpotential des touristischen Reisens mit PKWs zu berechnen (vgl. Formel 2-2), wird der Anteil der konventionellen Fahrzeuge betrachtet, welcher voraussichtlich elektrifiziert wird (EV-Anteil). Dabei werden auch bereits auf dem Markt befindliche Elektrofahrzeuge berücksichtigt. Anschließend wird die hypothetische Differenz an erzeugten Emissionen für eine durchschnittliche Fahrstrecke berechnet, die durch den Umstieg dieser Fahrzeuge auf einen Elektroantrieb erreicht wird. Dafür werden einerseits die Emissionen berechnet, welche bei konventionellen Verbrennungsmotoren (ICE) entstehen würden (siehe Formel 2-3), und andererseits die Emissionen, welche bei Elektrofahrzeugen anfallen würden (vgl. Formel 2-4). Im Folgenden sind die Formeln aufgeführt, die danach ausführlich erklärt werden:

$$\text{Einsparpotential Emissionen [t CO}_2\text{eq]} = (\text{Emissionen durch Verbrennungsfahrzeuge}) - (\text{Emissionen durch Laden der Elektrofahrzeuge})$$

Formel 2-2: Berechnung Einsparpotential Emissionen [t CO₂-eq].

$$\begin{aligned} \text{Emissionen durch Verbrennungsfahrzeuge [g CO}_2\text{eq]} &= \text{Anzahl Logiernächte} * \\ &\frac{1}{\text{Personen pro PKW}} * \text{Anteil PKW}_{\text{Verkehrsmittel}} * \text{Anteil}_{\text{EV}} * \text{Strecke} \frac{\text{km}}{\text{Logiernacht}} * \\ &\text{Energie}_{\text{PKW-ICE}} \frac{\text{kWh}}{\text{km}} * \text{Emissionen}_{\text{Treibstoff}} \frac{\text{g CO}_2\text{eq}}{\text{kWh}} \end{aligned}$$

Formel 2-3: Emissionen durch Verbrennungsfahrzeuge (ICE) [g CO₂-eq].

$$\begin{aligned} \text{Emissionen durch Laden der Elektrofahrzeuge [g CO}_2\text{eq]} &= \text{Anzahl Logiernächte} * \\ &\frac{1}{\text{Personen pro PKW}} * \text{Anteil PKW}_{\text{Verkehrsmittel}} * \text{Anteil}_{\text{EV}} * \text{Strecke} \frac{\text{km}}{\text{Logiernacht}} * \\ &\text{Energie}_{\text{PKW-EV}} \frac{\text{kWh}}{\text{km}} * \frac{1}{\text{Ladeeffizienz } \eta_{\text{beschl./langsam}}} \frac{\text{kWh}}{\text{kWh}} * \text{Emissionen}_{\text{Strommix}} \frac{\text{g CO}_2\text{eq}}{\text{kWh}} \end{aligned}$$

Formel 2-4: Emissionen durch Laden der Elektrofahrzeuge (EV) [g CO₂-eq].

Für beide Antriebsarten wird die Anzahl Logiernächte durch den Besetzungsgrad (Personen pro PKW) geteilt und mit dem PKW-Anteil, dem EV-Anteil und der Strecke multipliziert. Bei den Verbrennungsfahrzeugen wird die Energie pro Kilometer mit den durch den Treibstoff entstehenden Emissionen multipliziert (siehe 4.3.2 Verbrennungsfahrzeuge (ICE)). Bei den Elektrofahrzeugen wird die Energie pro Kilometer durch die Ladeeffizienz dividiert und mit den Emissionen, die durch den Strommix verursacht werden, multipliziert. Die Emissionen bei EVs sind hauptsächlich auf den Strommix zurückzuführen, mit welchem die jeweiligen Ladestationen die Fahrzeuge aufladen (siehe 4.3.1 Elektrofahrzeuge (EV)). In der hier durchgeführten Bilanzierung wird nur auf die treibstoffbezogenen Emissionen eingegangen, die je nach zurückgelegter Strecke variieren.

Der EV-Anteil, wie zuvor erwähnt, ist die Anzahl Fahrzeuge, welche statt konventionell, als Steckerfahrzeug unterwegs ist. Für diesen Anteil wird die Emissionsdifferenz berechnet. Diese Fahrzeuge emittieren anstelle der Emissionen eines Verbrennungsmotors nur noch die Emissionen eines Elektrofahrzeugs, was zur CO₂-Einsparung führt. Ziel der Berechnung ist es, das Einsparpotential aufzuzeigen, das sich aus der Anzahl der Fahrzeuge, respektive deren zurückgelegten Strecken ergibt, welche nicht mehr fossil gefahren werden. Die Berechnungen werden ausschließlich für eine angenommene durchschnittliche Strecke durchgeführt, die während dem Urlaub im Kanton Graubünden zurückgelegt wird. Somit soll eine möglichst realistische Zuordnung des direkten CO₂-Einsparpotentials erreicht werden, welches anhand der Bereitstellung der Ladestationen in Hotels im Kanton Graubünden erzielt werden kann.

Die von Touristen in PKWs zurückgelegte durchschnittliche Tagesstrecke wird in kWh umgerechnet und als Ladeenergie pro Tag angenommen, mit der das E-Fahrzeug aufgeladen wird. Dieser Wert wird dann mit dem Treibstoffverbrauch der Verbrennungsfahrzeuge verglichen. Unabhängig davon ob das E-Fahrzeug mit mehr oder weniger Energie geladen wird, kann so ein objektiver Vergleich erfolgen, bei dem dieselbe zurückgelegte Distanz berücksichtigt wird. Es gibt keine Daten dazu, ob die Gäste während des Aufenthalts ihr Fahrzeug mit mehr oder weniger Energie aufladen, als sie vor Ort verbrauchen.

Nach der Berechnung des durchschnittlichen Energieverbrauchs der EVs in kWh pro Kilometer, können die Emissionen durch den Schweizer Verbraucherstrommix bestimmt werden und mit den CO₂-äquivalenten Emissionen (in g CO₂-eq/km) herkömmlicher Fahrzeuge verglichen werden. Diese Differenz ist das Einsparpotential und kann dann auf die Anzahl benötigter Ladestationen verteilt werden. So lässt sich aufzeigen, wie viele Tonnen CO₂ kantonsweit, pro Region, Tourismusort oder Ladestation eingespart werden können. Die CO₂-Einsparungen werden zeitlich in einer jährlichen Auflösung dargestellt.

Bei PHEVs, die sowohl mit fossilen Kraftstoffen (Benzin oder Diesel), als auch mit elektrischem Strom betrieben werden können, wird in der Berechnung berücksichtigt, zu welchem durchschnittlichen Anteil beide Antriebsarten genutzt werden. Ziel ist es, zu berechnen, wie viele Emissionen die PHEVs unter realistischen Bedingungen ausstoßen, anstatt Richtwerte nach dem WLTP (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure) für PHEV-Neuwagen zu verwenden, welche in der Regel unter Laborbedingungen mit einem deutlich höheren Anteil des Elektro-Fahrbetriebs definiert werden. In Abschnitt 4.3.3 Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEV) wird auf die Berechnung näher eingegangen. Formel 2-5 zeigt, wie die CO₂-Einsparung für PHEVs auf der Grundlage der zuvor erläuterten Formel 2-3 und Formel 2-4 berechnet wird.

$$\begin{aligned} & \text{Einsparpotential Emissionen PHEV [t CO}_2\text{eq]} = \\ & (\text{Emissionen durch Verbrennungsfahrzeuge}) - (\text{Emissionen durch Fahrbetrieb}_{\text{Benzin}} + \\ & \quad \text{Fahrbetrieb}_{\text{Elektro}}) \end{aligned}$$

Formel 2-5: Berechnung Einsparpotential Emissionen PHEV [t CO₂-eq].

Im Excel-Dokument „Modell_CO2_Einsparung_GR“ (Anhang B) sind alle Berechnungen für die verschiedenen Antriebe und Szenarien aufgeführt. In Kapitel 3 wird nun auf die bestehende Ausgangssituation eingegangen und in Kapitel 4 wird ausführlich beschrieben, wie alle Einflussfaktoren für die Berechnung der Szenarien bestimmt werden und wie sie sich von 2021-2035 voraussichtlich verändern werden.

3. Bestandsaufnahme E-Mobilität und Hotellerie Graubünden

Die folgenden Abschnitte beschreiben den aktuellen Zustand der E-Mobilität, im Allgemeinen und in Bezug auf die Hotellerie im Kanton Graubünden. Im Abschnitt 3.1 wird der Stand der Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb untersucht, unterteilt nach Neuzulassungen von Elektrofahrzeugen und dem Anteil der Elektrofahrzeuge am Gesamtbestand, in der Schweiz und in Graubünden. Im Abschnitt 3.2 liegt der Fokus auf dem aktuellen Bestand der Ladeinfrastruktur für E-Fahrzeuge von Bündner Hotels. Dabei werden die unterschiedlichen Leistungen der bereits vorhandenen Ladestationen diskutiert und deren Ladestandorte ausgewertet, unterteilt nach Gemeinden und den elf Regionen im Kanton.

3.1. E-Fahrzeuge (Kategorien, Neuzulassungen und Gesamtbestand)

Daten zu den verschiedenen Fahrzeugantrieben werden einerseits für Neuwagen erhoben und für den Gesamtbestand der Fahrzeugflotte. Relevant für die Berechnung der Anzahl benötigter Ladestationen ist schlussendlich der Gesamtbestand. Anhand der jährlichen Neuzulassungen werden oft Ziele definiert, wie beispielsweise in der Roadmap Elektromobilität 2050 (siehe Abschnitt 1.1). In dieser Untersuchung wird der Fokus auf Steckerfahrzeuge gelegt (BEV und PHEV). Nicht Teil des Untersuchungsrahmens sind normale hybridelektische Autos (HEV), da diese durch Rekuperation und nicht mit einem Stecker aufgeladen werden.

3.1.1. Neuzulassungen Elektrofahrzeuge

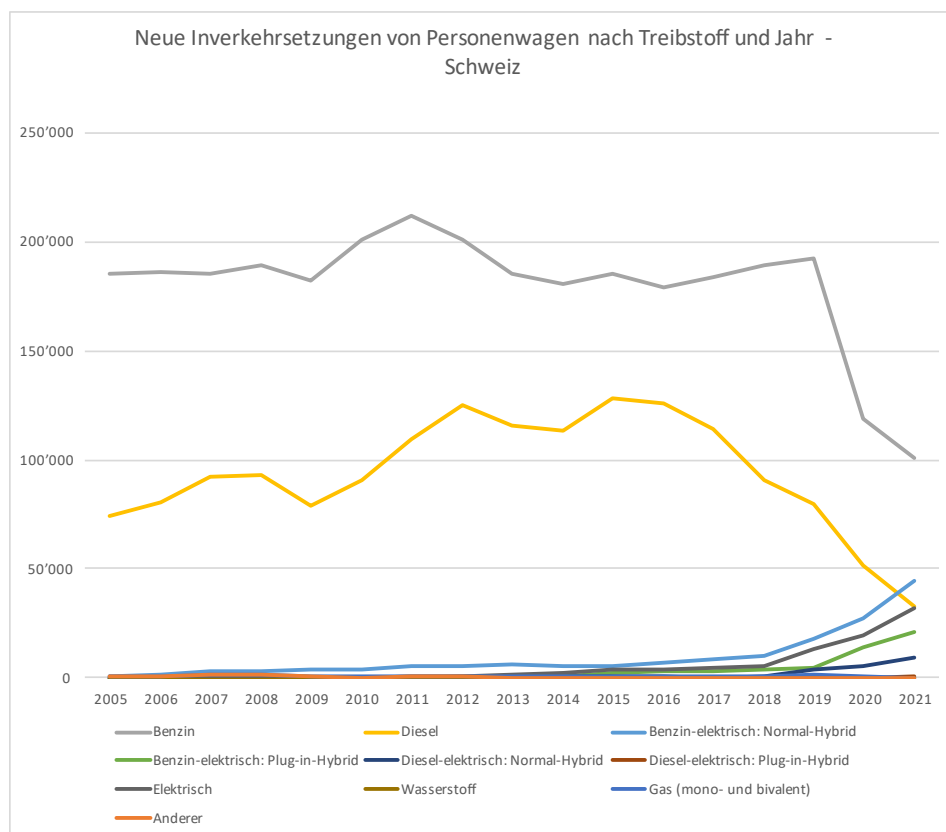


Abb. 3-1 Neue Inverkehrsetzungen von Personenwagen nach Treibstoff und Jahr – Schweiz, eigene Grafik mit Daten von (BFS, 2022g).

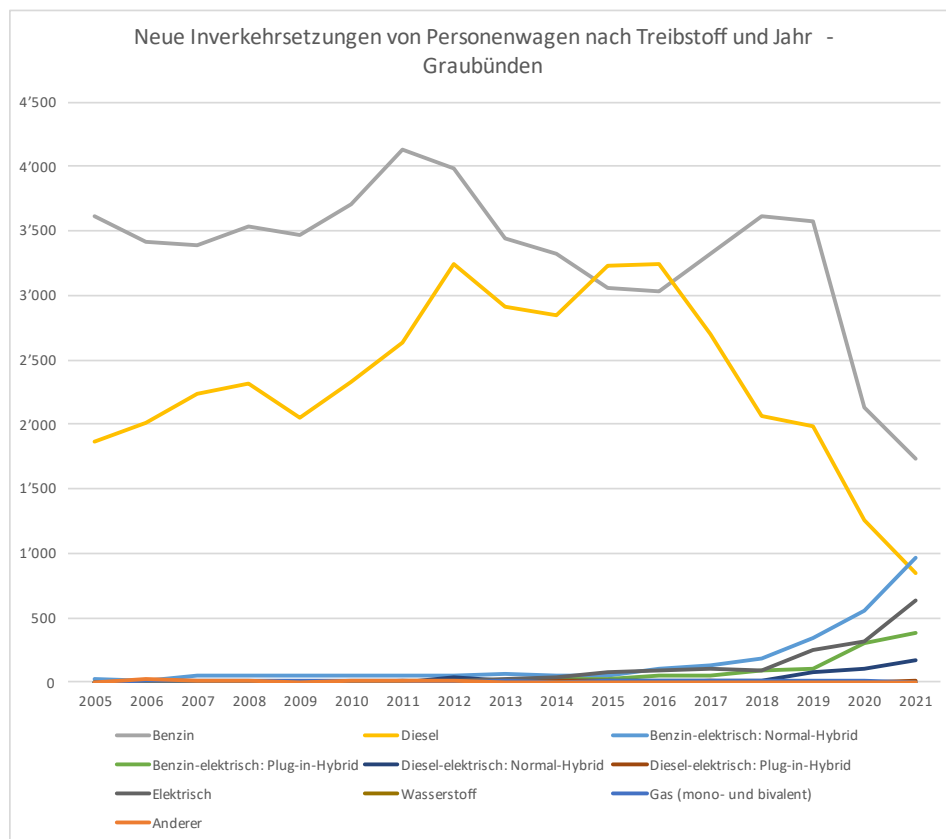


Abb. 3-2 Neue Inverkehrsetzungen von Personenwagen nach Treibstoff und Jahr – Graubünden, eigene Grafik mit Daten von (BFS, 2022g).

Die Daten zur Abb. 3-1 und Abb. 3-2 sind im Excel-Dokument „Modell_Bedarf_E-Ladestationen_GR“, im Arbeitsblatt *Neuwagen und Gesamtbestand*, einzusehen (BFS, 2022g). Anhand der beiden Abbildungen ist klar ersichtlich, wie die alternativen Antriebe in der Schweiz und in Graubünden an Bedeutung gewinnen, gemessen an den Absatzzahlen der Neuwagen. Die Benzin- und Dieselfahrzeuge erlitten starke Rückgänge ab 2020. Normale Benzin-Hybride, BEVs, und Benzin-PHEVs konnten in dieser Zeit stark zulegen und ihr Marktwachstum der letzten Jahre fortsetzen. Auch Diesel-Hybride werden immer mehr verkauft.

Der durchschnittliche Energieverbrauch neuer Personenwagen im Jahr 2021 beträgt über alle Kraftstoffarten hinweg 6.12 Liter Benzinäquivalente für 100 km (L BÄ/100 km). Im Kanton Graubünden ist der Verbrauch mit 6.67 L BÄ/100 km etwas höher. Der durchschnittliche Emissionswert der neuen PKWs, unter Berücksichtigung aller Treibstoffarten, war im Jahr 2021 129.8 g CO₂/km schweizweit und im Kanton Graubünden 142.2 g CO₂/km. Ohne den Einfluss der Elektrofahrzeuge würde der Durchschnittswert mit 162.3 g CO₂/km deutlich höher liegen (BFE, 2022a).

3.1.2. Anteil Elektrofahrzeuge am Gesamtbestand

In Tab. 3-1 sind die prozentualen Anteile der alternativ betriebenen PKWs an der Gesamtflotte aufgeführt. Die Kategorien sind batterieelektrisch (BEV, PHEV), Wasserstoff (H₂), Autogas (LPG), Erdgas (CNG) und Flüssigerdgas (LNG). Insgesamt beträgt der Anteil der Steckerfahrzeuge 2.91 % im Jahr 2021.

Tab. 3-1 Alternativ betriebene PKW-Flotte (M1), %-Anteile der Schweizer Gesamtflotte (EAFO, 2022).

Kategorie	BEV	PHEV	H2	LPG	CNG	LNG	BEV + PHEV
2012	0.02	0.01	-	0.02	0.19	-	0.03
2013	0.05	0.02	-	0.01	0.26	-	0.07
2014	0.08	0.03	-	0	0.26	-	0.11
2015	0.15	0.1	0	0	0.26	-	0.25
2016	0.21	0.15	0	0	0.28	-	0.36
2017	0.3	0.21	0	0	0.29	-	0.51
2018	0.42	0.3	0	0	0.31	-	0.72
2019	0.72	0.4	0	0	0.33	-	1.12
2020	1.1	0.69	0	0	0.33	-	1.79
2021	1.76	1.15	0	0	0.33	-	2.91

Tab. 3-2 zeigt die Anzahl Fahrzeuge der Schweizer PKW-Flotte (M1) auf, die mit alternativen Kraftstoffen (BEV, PHEV, H₂, LPG, CNG, LNG) betrieben werden. Year to date (YTD) ist ein Begriff, der den Zeitraum zwischen dem Jahresbeginn und dem Datum der Datenerhebung umfasst (EAFO, 2022). Abweichungen der Werte des European Alternative Fuels Observatory (EAFO) im Vergleich zur ASTRA-Datenerhebung (siehe Abb. 3-4) ergeben sich aus dem früheren Erhebungszeitpunkt, der bei ASTRA jährlich bereits am 30.September ist.

Tab. 3-2 Alternativ betriebene PKW-Flotte (M1) Schweiz (EAFO, 2022).

Kategorie	BEV	PHEV	H2	LPG	CNG	LNG
2010	123			3'100		
2011	456	38		3'100		
2012	1'023	442		1'000	8'126	
2013	2'186	654		400	11'278	
2014	3'413	1'489		200	11'606	
2015	6'631	4'248	10	100	11'612	
2016	9'697	6'630	36	100	12'602	
2017	13'897	9'606	52	100	13'502	
2018	19'602	14'179	81	100	14'345	
2019	32'697	18'435	106	100	15'235	
2020	52'008	32'824	144	100	15'797	
2021	83'684	54'637	200	100	15'470	
2022 (YTD)	101'616	64'057	247	98	15'153	

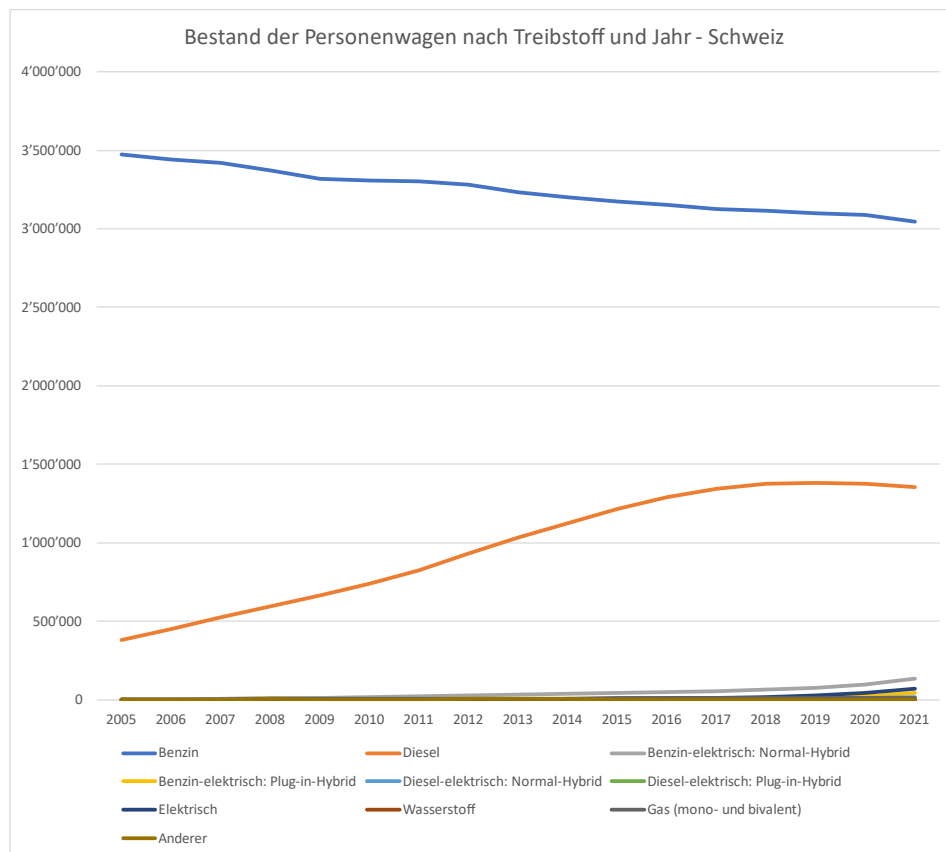


Abb. 3-3 Bestand der Personenwagen nach Treibstoff und Jahr – Schweiz, eigene Grafik mit Daten von (BFS, 2022a).

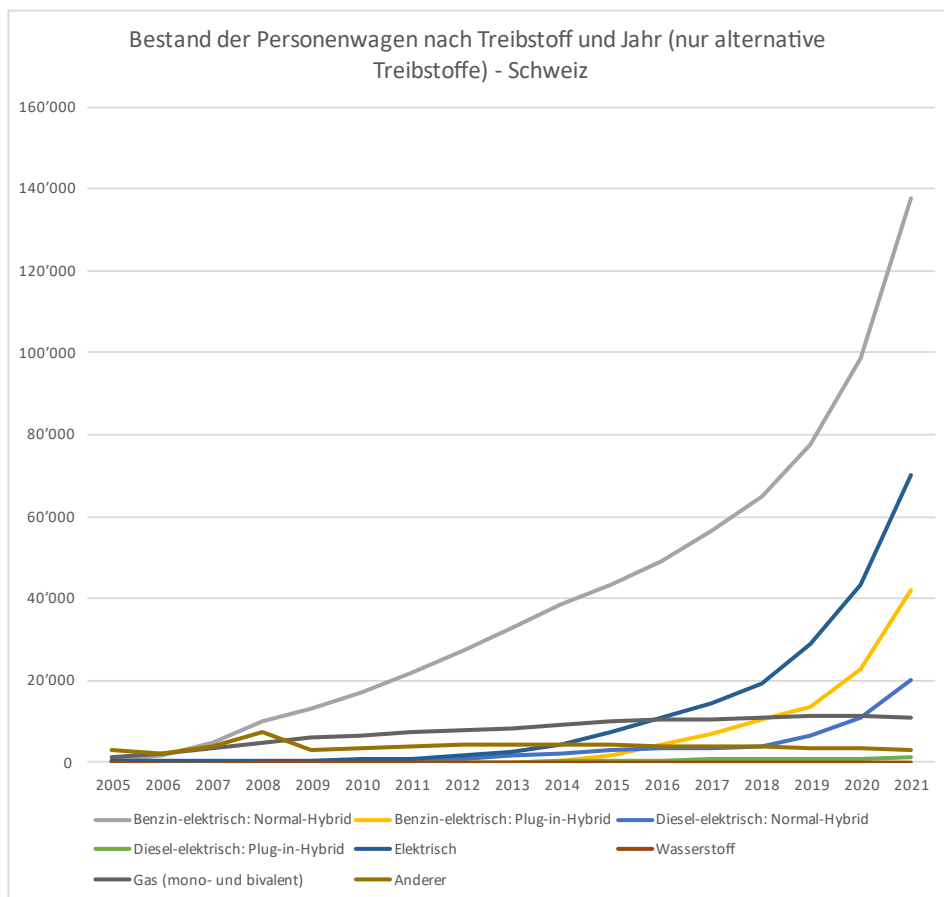


Abb. 3-4 Bestand der Personenwagen (nur alternative Treibstoffe) – Schweiz, eigene Grafik mit Daten von (BFS, 2022a).

Die Daten zu Abb. 3-3 bis Abb. 3-5 sind im Excel-Dokument „Modell_Bedarf_E-Ladestationen_GR“, im Arbeitsblatt *Neuwagen und Gesamtbestand*, detailliert aufgeführt (BFS, 2022a). Auch die Daten für den Kanton Graubünden sind dort ersichtlich (vgl. Abb. 3-5). Die Neuzulassungen und der Gesamtbestand der PKWs in Graubünden zeigen im Vergleich zur Schweiz sehr ähnliche Entwicklungen. In Graubünden waren 2021 bereits über 1'400 Elektrofahrzeuge und fast 1'000 PHEVs zugelassen, bei insgesamt gut 116'000 zugelassenen Fahrzeugen. Der prozentuale Anteil der Steckerfahrzeuge am Gesamtbestand liegt 0.35 % unter dem Schweizer Durchschnitt (BFS, 2022a). Bei den Elektrofahrzeugen ist ein deutlicher Zusammenhang zwischen den Neuzulassungen und dem Gesamtbestand zu erkennen. Mit einem gemeinsamen Anteil von 2.91 % am Schweizer Gesamtbestand haben PHEVs und EVs ihren Anteil innerhalb weniger Jahre vervielfacht (siehe Tab. 3-1). Im Jahr 2018 war ihr Anteil mit 0.72 %, respektive 33'781 zugelassenen Steckerfahrzeugen, noch mehr als viermal geringer. Im Jahr 2021 waren bereits knapp 140'000 Steckerfahrzeuge zugelassen (EAFO, 2022).

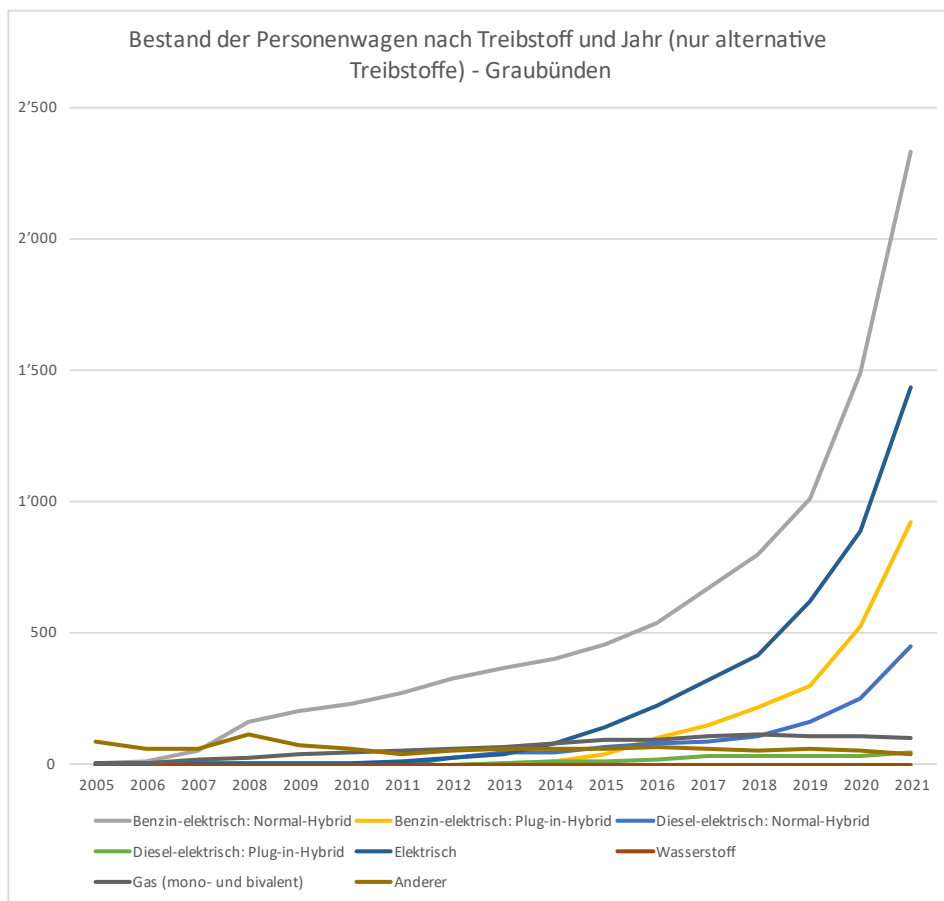


Abb. 3-5 Bestand der Personenwagen (nur alternative Treibstoffe) – Graubünden, eigene Grafik mit Daten von (BFS, 2022a).

3.2. E-Ladeinfrastruktur

Die öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge wird stetig ausgebaut in der Schweiz. Stand Oktober 2022 sind 8'648 Ladestationen vorhanden, auf 4'167 Standorte verteilt (siehe Abb. 3-6). Eine Ladestation kann über mehrere Ladepunkte, bzw. Stecker, verfügen. Insgesamt sind schon rund 12'250 Stecker öffentlich zugänglich. Somit verfügt eine E-Ladestation über durchschnittlich 1.4 Stecker. Bei aktuell 165'673 zugelassenen Elektrofahrzeugen in der Schweiz (vgl. Tab. 3-2, EV und PHEV, 2022 YTD), steht somit für je 19.2 E-Fahrzeuge eine öffentliche Ladestation, beziehungsweise ein öffentlicher Stecker für je 13.5 E-Fahrzeuge zur Verfügung. Die Echtzeit-Daten können auf „ich-tanke-strom.ch“ abgerufen werden. Das BFE wertet diese Daten regelmäßig aus und leitet Kennzahlen zur Ladeinfrastruktur ab. Die Kennzahlen werden seit November 2020 täglich aktualisiert und pro Monat gemittelt, wie die folgende Abbildung aufzeigt (BFE, 2022d).

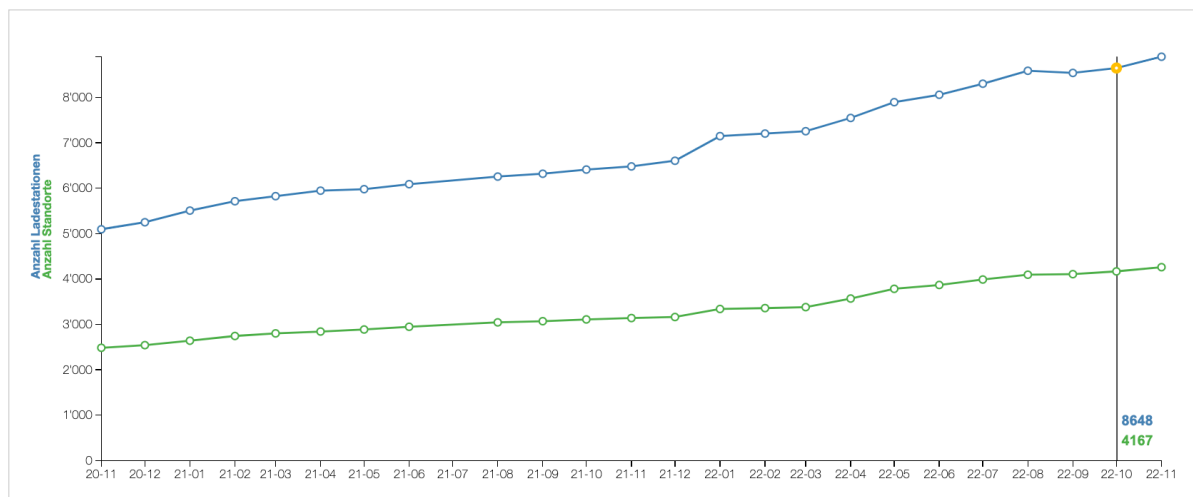


Abb. 3-6 Zeitliche Entwicklung der Anzahl öffentlich zugänglicher Ladestationen in der Schweiz (BFE, 2022d).

Private, nicht öffentlich zugängliche E-Ladestationen, sind noch deutlich mehr vorhanden. Einerseits in den Haushalten, aber auch an Arbeitsplätzen oder für Gäste in Hotels. Im Jahr 2021 erfolgten laut Schätzung von EBP rund 90 % aller Ladevorgänge von Elektrofahrzeugen privat, am Wohnort oder am Arbeitsplatz. Ob das private Laden auch in Zukunft dominieren wird, hängt besonders von folgenden Faktoren ab (De Haan et al., 2022):

- Batteriekapazität, bzw. Reichweite der Elektrofahrzeuge
- Aufnahmeladeleistung der Elektrofahrzeuge
- Verfügbarkeit von Heimlademöglichkeit (besonders in Mietwohnungen ist die Ladeinfrastruktur nicht immer einfach verfügbar)
- Preise und Verfügbarkeit von öffentlichen Ladestationen

Im internationalen Vergleich ist die Ladeinfrastruktur in der Schweiz als durchschnittlich bis gut einzustufen. Laut BFE überwiegen beim öffentlichen Laden Typ-2-Steckdosen mit rund 5'400 Anschlüssen, gefolgt von fast 2'300 Typ-2-Kabel und 2'000 Typ-1-Kabel. Der schnellladefähige CCS-Stecker steht bereits über 1'000 mal zur Verfügung, der CHAdeMO-Anschluss rund 600 mal. Tesla-Anschlüsse gibt es 500 und gewöhnliche Haushaltssteckdosen über 400 (BFE, 2022d).

Im Jahr 2021 hatte Europa im Vergleich zur Schweiz ein leicht höheres Verhältnis von Ladepunkten zu E-Fahrzeugen. In der Europäischen Union (EU) regelt die Richtlinie über die Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (Alternative Fuel Infrastructure Directive AFID) aus dem Jahr 2014 den Ausbau der öffentlichen Ladestationen für Elektrofahrzeuge. In der Richtlinie wird empfohlen, dass die EU-Mitgliedstaaten bis 2020, und neu auch für 2030, einen öffentlichen Ladepunkt pro zehn Elektrofahrzeuge bereitstellen (IEA, 2022a).

3.2.1. Ladestationen in Bündner Hotels – Aktueller Bestand

Im folgenden Abschnitt wird auf die bestehenden Ladestandorte bei Bündner Hotels eingegangen. Die vollständige Datenerfassung ist im Dokument „Modell_Bedarf_E-Ladestationen_GR“, im Arbeitsblatt *Bestand Hotellerie*, zu finden. Es werden öffentliche und private Ladestationen mit und ohne Ladeeinschränkungen bei Hotels berücksichtigt. Generell werden nur Ladestationen direkt bei Hotels untersucht. Naheliegende öffentliche E-Ladestationen ohne Hotelbezug sind nicht Teil der Untersuchung, auch wenn sie von Hotelbetrieben angepriesen werden, da sie nicht primär für Hotelgäste zur Verfügung stehen. Nach umfassender Recherche und Analyse der bestehenden Ladestandorte werden folgende Ressourcen verwendet:

- 66 Ladestandorte, aufgerufen auf „Öffentliche Ladestation in der Schweiz finden“, von Electrosuisse, Abrufdatum: 28.07.2022 (Electrosuisse, 2022).
- 53 weitere Ladestandorte (Ergänzung zu Electrosuisse), aufgerufen auf „Hotels mit Ladestation“, von Schweiz Tourismus, Abrufdatum: 30.07.2022 (Schweiz Tourismus, 2022a).
- 30 weitere Ladestandorte (Supercharger- und Destination-Ladestationen, die nicht bereits vorher aufgeführt sind), aufgerufen auf „Tesla Destination Charging in Switzerland“, von Tesla, Abrufdatum 30.07.2022 (Tesla, 2022).

In Abb. 3-7 ist die Anzahl Ladepunkte, bzw. Ladeplätze für die elf Bündner Regionen aufgeführt. Die Legenden in den folgenden zwei Abbildungen dienen zur Interpretation der Darstellung der Anzahl Ladepunkte. Auffallend sind die beiden Regionen Prättigau/Davos und Maloja, welche beide bereits über 80 Ladepunkte in Hotels aufweisen. In den südlichen Regionen Moesa und Bernina gibt es hingegen kaum Ladestationen bei Hotels. Ansonsten gibt es bereits ein relativ gleichmäßiges Angebot an Ladestationen in allen Regionen.

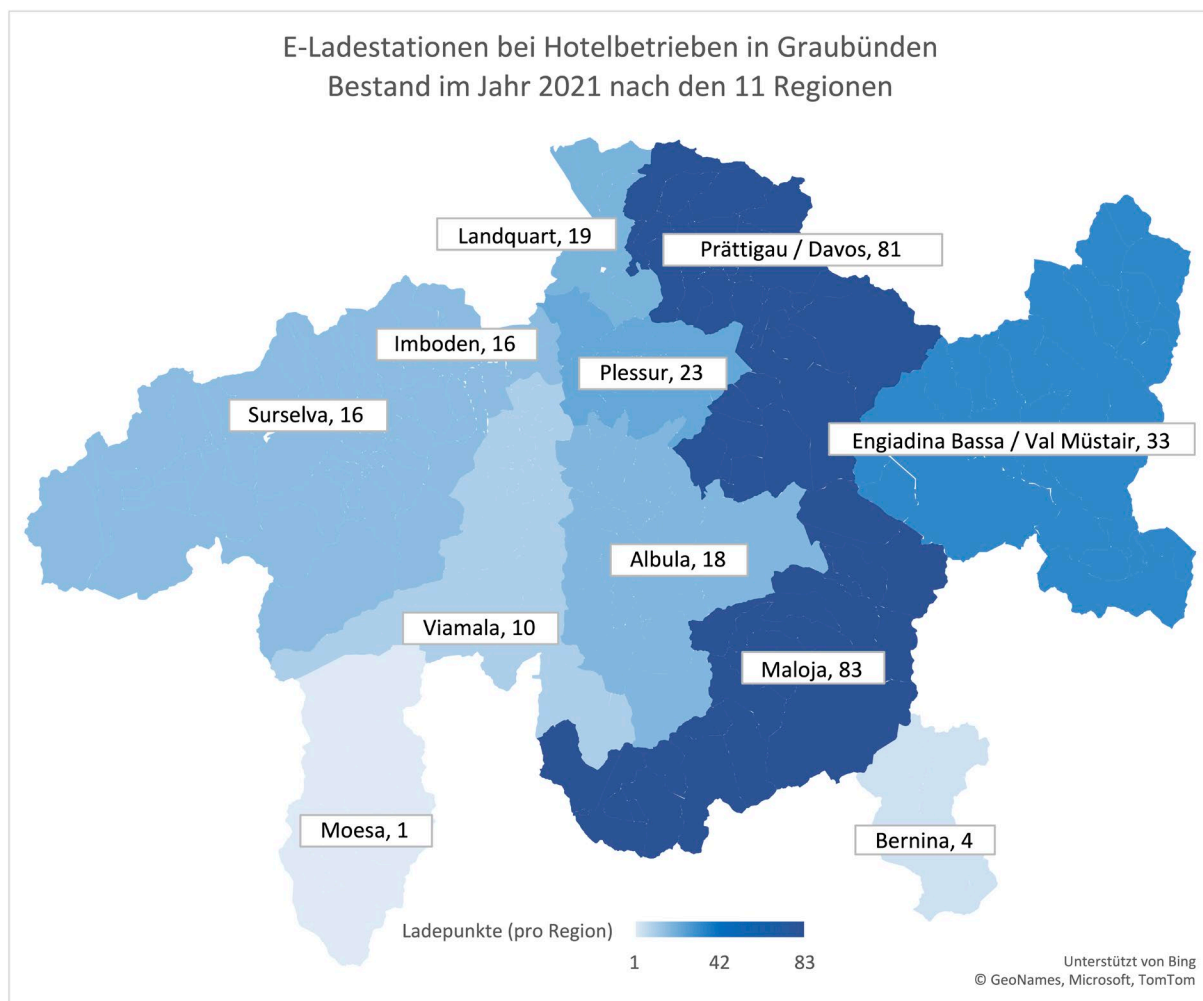


Abb. 3-7 Ladepunkte in Bündner Hotels, pro Region – Bestand 2021 (eigene Grafik, mit Excel erstellt, unterstützt von Bing © GeoNames, Microsoft, TomTom).

In Abb. 3-8 sind die Ladeplätze pro Gemeinde aufgeführt. Die zehn der 101 Gemeinden mit den meisten Ladestationen sind zusätzlich beschriftet, inklusive Aufführung der Anzahl Ladeplätze. Besonders auffallend ist die Gemeinde Davos, welche schon 59 Ladepunkte in Hotels anbietet. In 43 Gemeinden gibt es bereits Ladestationen in Hotels. Das bedeutet, dass in jeder zweiten der 86 Gemeinden mit Hotelbetrieben (siehe Abschnitt 4.1.2) die Möglichkeit besteht, das E-Fahrzeug zu laden. Von insgesamt 149 untersuchten Hotel-Ladestandorten, bei denen angegeben wird, dass sie über Lademöglichkeiten verfügen, haben 131 Standorte nachweislich Ladestationen direkt beim Hotel. Die 131 Ladestandorte befinden sich bei 128 verschiedenen Hotels. Vereinzelt weisen Hotels auch mehrere Ladestandorte auf. Viele Ladestandorte verfügen über mehrere Ladestationen. Insgesamt stehen den Hotelgästen im Kanton 304 Ladeplätze zur Verfügung, bei 300 davon ist die Ladeleistung bekannt. Bei neun der 149 Hotelbetriebe ist nicht bekannt, wie viele Lademöglichkeiten sie anbieten und welche Leistung die Ladestationen haben. Diese werden in der Untersuchung nicht berücksichtigt. Ebenso werden vier Standorte zur Parahotellerie gezählt (nicht Teil der Untersuchung) und bei fünf Standorten gibt es einen Verweis auf externe Lademöglichkeiten, d.h. öffentliche Ladestationen, die sich nicht unmittelbar beim Hotel befinden.

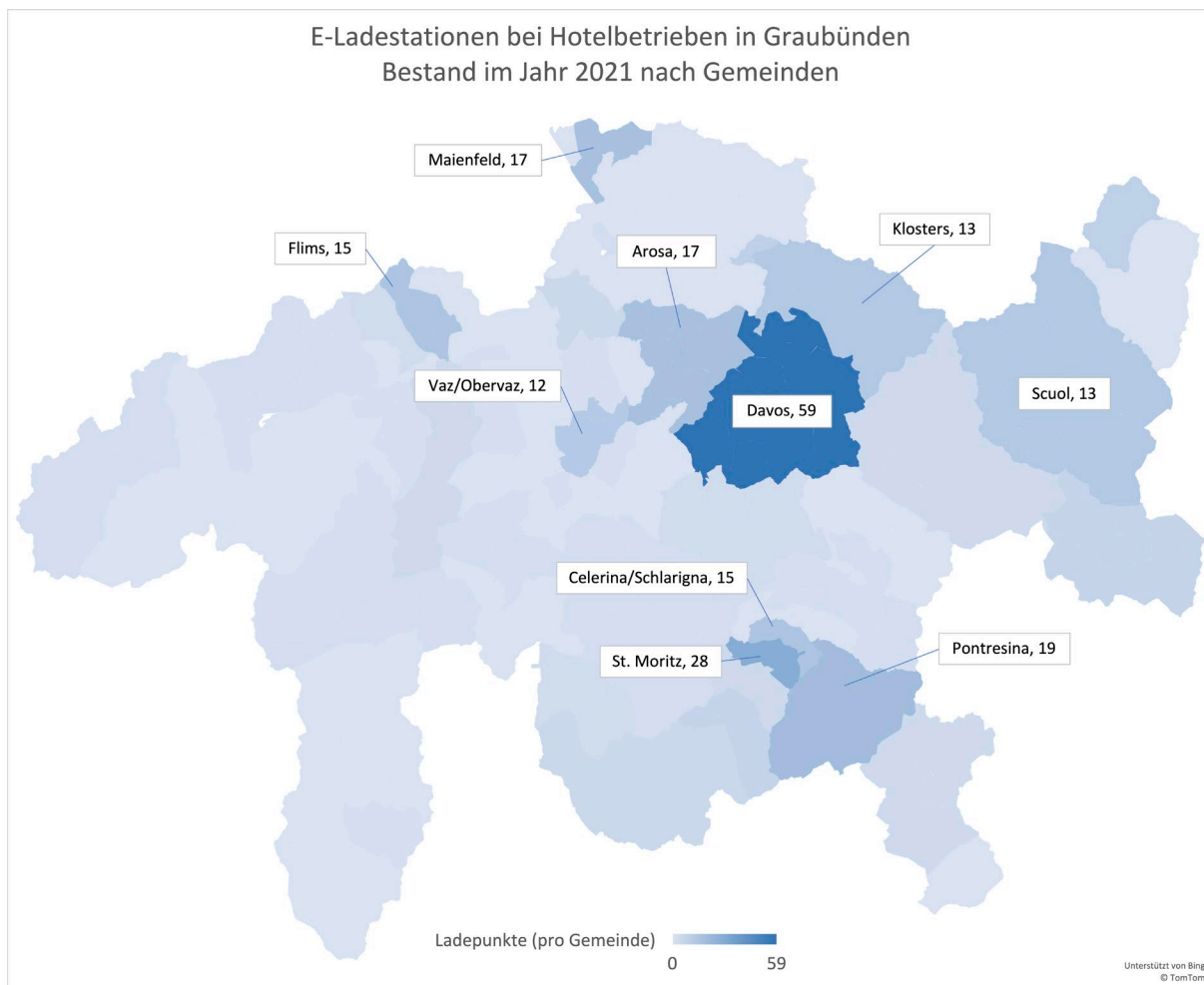


Abb. 3-8 Ladepunkte in Bündner Hotels, pro Gemeinde – Bestand 2021 (eigene Grafik, mit Excel erstellt, unterstützt von Bing © TomTom).

Anhand der 300 Ladepunkte, die an 128 Standorten vorhanden sind, können verschiedene Leistungsgruppen klassifiziert werden. Die Leistungen der bestehenden Ladepunkte bei Hotels werden wie folgt unterteilt (vgl. 2.1 Ladekategorien):

- Langsam-Laden (0-4 kW, 5-11 kW)
- Beschleunigt-Laden (14-20 kW, 22 kW)
- Schnell-Laden (43+ kW)

57 Ladepunkte gehören der untersten Kategorie an, mit 1.8-4 kW. 19 der Standorte mit 43 dieser 57 Ladepunkte weisen auch weitere Ladepunkte mit höheren Ladeleistungen auf. An diesen Standorten dienen die Langsam-Lade-Steckdosen oft als Reserveladeplatz oder können von Hotelgästen genutzt werden, welche das Fahrzeug für lange Zeit stehen lassen. Die 14 restlichen Ladepunkte sind verteilt auf neun Standorte, welche keine schnellere Lademöglichkeit bieten. Oftmals sind die Ladepunkte in der untersten Kategorie einfache Haushaltssteckdosen, welche ohne weitere Vorkehrungen den Gästen zur Verfügung gestellt werden. Immerhin gibt es die Möglichkeit, das Fahrzeug über Nacht aufzuladen, jedoch dauert eine Vollladung bei 4 kW gut 16 Stunden und bei einer Leistung von 2 kW

um die 33 Stunden, was wiederum kein guter Service mehr für die Gäste darstellt. Dabei wird mit einer durchschnittlichen Akkukapazität von 55 kWh gerechnet (IEA, 2021). Die Ladeeffizienz wird ebenfalls berücksichtigt und wird im Abschnitt Ladeeffizienz und -verluste diskutiert. An 52 Standorten sind 91 Ladepunkte mit Leistungen von 6.9-11 kW verfügbar, wovon zehn Standorte auch über Ladepunkte mit höheren Leistungen aufweisen. An 42 Standorten mit rund 73 Ladepunkten bieten die Ladepunkte der Kategorie Langsam-Laden die höchste angebotene Ladeleistung, die allerdings in Hotels genügt. Mit langen Parkzeiten, meist über Nacht, kann mit 11 kW ein durchschnittliches Fahrzeug in weniger als sechs Stunden geladen werden. Diese Ladeleistungen werden üblicherweise bewusst für die Gäste zur Verfügung gestellt. An zehn weiteren Ladestandorten sind 14 Ladepunkte mit Leistungen zwischen 14-20 kW installiert, vorwiegend durch die Anbieter Tesla (an neun Ladestandorten) und PLUG'N ROLL (Repower AG) (an zwei Standorten). In der bereits deutlich höheren Ladekategorie von 22 kW sind an rund 63 Standorten 99 Ladepunkte verfügbar, welche ein durchschnittliches Fahrzeug in unter drei Stunden vollständig aufladen können.

An sieben Standorten sind 39 Ladepunkte mit Leistungen über 43 kW, oft mit bis zu 50 kW, zugänglich. Im Swiss Heidi Hotel in Maienfeld stehen 14 Tesla Supercharger, mit je bis zu 150 kW Leistung, zur Verfügung. Diese Ladestationen mit sehr schnellen Ladezeiten befinden sich meist in urbanen Gebieten wie St. Moritz, Davos oder Maienfeld in der Region Landquart direkt neben Bad Ragaz, aber auch in ländlichen Orten wie Küblis oder Zernez, wahrscheinlich mit der Absicht auch Tagestouristen zu bedienen. Als gutes Beispiel, mit einem vorbildlichen Ladeinfrastrukturkonzept, dient die Hotelgruppe Sunstar, die schweizweit die Tiefgaragen ihrer Hotels mit E-Ladestationen ausgestattet hat. Das Laden ist gratis, nur die Miete für den Garagenplatz wird wie bei allen Personenwagen erhoben (Frei, 2016). Im Kanton Graubünden stehen 35 Ladepunkte in fünf Sunstar-Hotels mit je sieben Ladepunkten zur Verfügung. Pro Standort stehen vier 3.7 kW, zwei 11 kW und ein 22 kW Ladestecker zur Verfügung.

Mit verschiedenen Betreibern wie PLUG'N ROLL, Tesla, easy4you (Alpiq E-Mobility AG), be.ENERGISED (von ChargePoint), Swisscharge, SMATRICS (Greenstorm Mobility), Porsche Smart Mobility GmbH, EVlink (Schneider Electric), MOVE Mobility AG, EWD Elektrizitätswerk Davos AG, evpass (Green Motion, Teil von Eaton) und eCarUp AG sind viele verschiedene Anbieter vertreten. Einige Ladestationen werden auch privat betrieben oder die Hotels erwähnen keinen Betreiber auf ihrer Website. Wie der Unterhalt der Ladestationen durchgeführt wird, z.B. privat organisiert über lokale Elektriker oder über die Ladestationsbetreiber, wird nicht weiter untersucht.

Die folgende Tab. 3-3 fasst die aktuellen E-Ladeplätze der Bündner Hotels nach ihrer Leistung zusammen, unterteilt in die Ladekategorien, wie sie auch für die Szenarien verwendet werden.

Tab. 3-3 Bestand E-Ladepunkte bei Bündner Hotels 2022, nach Ladeleistung (4 von 304 Ladepunkten ohne Angabe). Daten bezogen von: (Electrosuisse, 2022), (Schweiz Tourismus, 2022a) und (Tesla, 2022).

Ladekategorie	Anteil	Anzahl
Langsam-Laden (0-11 kW):	49 %	148
Beschleunigt-Laden (11-22 kW):	38 %	113
Schnell-Laden (22+ kW):	13 %	39
Total:		300

Betrachtet man die Ladekategorien Beschleunigt- und Schnell-Laden in Hotels, haben besonders die vier Regionen Maloja (47 Ladepunkte), Prättigau/Davos (29), Engiadina Bassa/Val Müstair (24) und Landquart (19) ein gutes Angebot. Die folgende Abb. 3-9 zeigt die Anzahl Ladepunkte nach Gemeinden in diesen Kategorien, mit Leistungen von 14 kW bis über 43 kW.

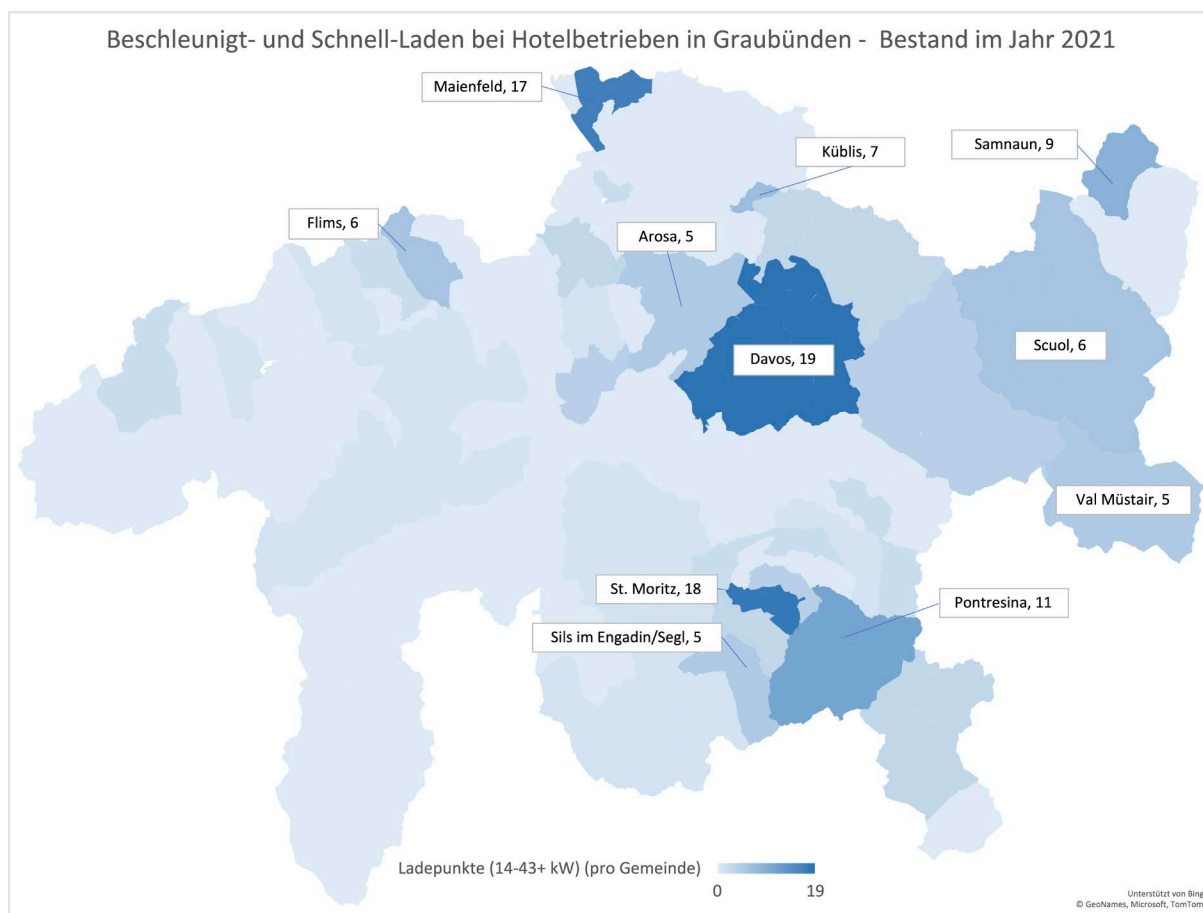


Abb. 3-9 Beschleunigt- und Schnell-Laden bei Hotelbetrieben in Graubünden - Bestand im Jahr 2021 (eigene Grafik, mit Excel erstellt, unterstützt von Bing © GeoNames, Microsoft, TomTom).

Die Gemeinden mit den meisten Ladepunkten in den Kategorien Beschleunigt- und Schnell-Laden sind zusätzlich gekennzeichnet. Wie bereits in Abb. 3-8 gezeigt, gehört die Mehrheit dieser Gemeinden

auch zu jenen mit der höchsten Anzahl von Ladepunkten in Hotels insgesamt. Ausnahmen sind Sils im Engadin/Segl, Val Müstair, Samnaun und Küblis, die trotz weniger Ladepunkte über relativ viele leistungsstarke Ladestationen verfügen.

Aktuell gibt es im Kanton Graubünden 128 Hotelbetriebe mit Ladestationen (Stand Juli 2022). Insgesamt waren Ende 2021 im Kanton 580 geöffnete Hotelbetriebe registriert (BFS, 2022c). Somit verfügen bereits 22 % der Hotels über mindestens eine Ladestation (siehe Tab. 3-4). In Moesa (9 %), Surselva (14 %) und Bernina (14 %) ist der Anteil der Betriebe mit Ladestationen am geringsten. In Imboden mit 26 % und in Maloja mit 36 % sind bereits überdurchschnittlich viele Betriebe mit Ladestationen ausgestattet. Ladestationen anzubieten, ist für Gastgeber eine gute Möglichkeit, zusätzliche Einnahmen zu generieren und neue Kunden zu akquirieren. Hotels oder auch Restaurants können ihren Bekanntheitsgrad steigern, indem sie auf interaktiven Karten für Ladestationen und in Dienstleistungs-Apps sichtbar sind. Sie können ihren Gästen mit wenig Mehraufwand und auch ohne große finanzielle Investition einen immer wichtiger werdenden Service bieten und verhindern, dass Gäste in ein anderes Hotel ausweichen. Für die Destinationsentwicklung ist die umweltfreundliche Mobilität ein zentraler Baustein (Frei, 2016).

Tab. 3-4 Betriebe mit Ladestationen nach Region (Stand: Juli 2022), Daten bezogen von: (Electrosuisse, 2022), (Schweiz Tourismus, 2022a), (Tesla, 2022), mit Hoteldaten von (BFS, 2022c), einzelne Hoteldaten wurden vom BFS gerundet.

Graubünden 2021/2022 - Betriebe mit Ladestationen nach Region					
Regionen	Betriebe	Betriebe mit Ladestationen	Anteil - Betriebe mit Ladestationen	Zimmer	Betten
Albula	47	9	0.19	1'545	3'395
Bernina	22	3	0.14	288	603
Engiadina Bassa/Val Müstair	90	16	0.18	1'878	3'958
Imboden	23	6	0.26	869	1'812
Landquart	10	2	0.19	210	404
Maloja	115	42	0.36	5'177	10'305
Moesa	11	1	0.09	140	313
Plessur	55	11	0.20	1'980	3'914
Prättigau/Davos	90	20	0.22	3'926	8'056
Surselva	81	11	0.14	1'941	5'362
Viamala	35	7	0.20	441	913
Summe	580	128	0.22	18'395	39'035

4. Beschreibung und Auswertung der Szenario-Einflussfaktoren

In diesem Kapitel werden die getroffenen Annahmen und erwarteten Entwicklungen der Szenario-Einflussfaktoren für die Rechenmodelle beschrieben. Es wird auf relevante Einflussfaktoren eingegangen, die einen entscheidenden Einfluss auf die Hotellerie oder E-Mobilität im Kanton Graubünden haben. Für die zukünftige Entwicklung im Zeitraum von 2021 bis 2035 werden einerseits für einige Einflussfaktoren Daten aus Vorjahren ausgewertet, um daraus Trends abzuleiten, unter Berücksichtigung von möglichen absehbaren Einflüssen. Andererseits werden bereits erstellte Szenarien verwendet, beispielsweise von Institutionen und von Bundesämtern, um zum Beispiel die Entwicklung der E-Mobilität oder der Bevölkerung aufzuzeigen. Die Einflussfaktoren sind in drei Abschnitte unterteilt: Entwicklung der Hotellerie im Kanton Graubünden, Verkehrsentwicklung und Fortschritt der Fahrzeugantriebe.

4.1. Entwicklung der Hotellerie im Kanton Graubünden

Das Wirtschaftsforum Graubünden hat im Bericht „Langfristige Entwicklung des Bündner Tourismus“ die Entwicklungen der letzten Jahrzehnte detailliert analysiert (Plaz & Schmid, 2015). Einige wichtige Erkenntnisse daraus werden in diesem Kapitel diskutiert, um einen allgemeinen Überblick über die Hotellerie im Kanton Graubünden zu erhalten. Zudem dienen Daten vom Bundesamt für Statistik für aktuelle Einschätzungen der Tourismusentwicklung. Anhand der BFS-Daten der letzten zehn Jahre werden Trendentwicklungen erstellt und abgebildet. Insbesondere wird der Trend der erfassten Logiernächte und die Entwicklung der zur Verfügung stehenden Betten in den geöffneten Hotelbetrieben untersucht. Die Trends sollen Aufschluss über die Auswirkungen der verschiedenen Einflussfaktoren auf die Hotellerie bis im Jahr 2035 geben. Eine Zusammenfassung dieser Daten ist im Anhang in Tab. A-11 und Tab. A-12 aufgeführt.

Entwicklung des Ferien- und Freizeitverhaltens

Das Beherbergungsangebot im Kanton Graubünden hat sich über die Jahre stark diversifiziert. Zu den historischen Grand-Hotels für die Beherbergung von Wohlhabenden und Adligen kamen im Laufe des 20. Jahrhunderts als Ergänzung kleinere und günstigere Hotels, Gruppenunterkünfte, Hostels, Jugendherbergen, privat und gewerblich betriebene Ferienwohnungen, sowie die ausschließlich privat genutzten Zweitwohnungen hinzu. Dadurch werden nach Schätzung des Wirtschaftsforums Graubünden heute nur noch knapp 30 % der Logiernächte in Graubünden durch die Hotellerie generiert. Die Parahotellerie (hauptsächlich vermietete Ferienwohnungen, sowie Gruppenunterkünfte und Jugendherbergen) generiert ebenfalls etwa 30 % der Logiernächte, während die Zweitwohnungen (Belegung durch Eigentümer) mit 40 % den größten Teil ausmachen (Plaz & Schmid, 2015).

Der Wintertourismus in den Alpen hat von 1993 bis 2014 zugenommen. Im Gegensatz zum Tirol und Südtirol konnten die Schweizer Regionen Wallis und Graubünden davon nicht profitieren und verzeichnen heute eher weniger Logiernächte. Das Wirtschaftsforum Graubünden erklärt anhand einer Umfrage zur Gästezufriedenheit, dass ein möglicher Grund dafür unter anderem das höhere Preisniveau in der Schweiz und die damit verbundenen höheren Erwartungen sind, die oft nicht erfüllt

werden. Auch Unzufriedenheit wegen des fehlenden Schweizer Personals wird als Grund genannt, denn viele Gäste wünschen sich den Kontakt mit Einheimischen. Die Tourismusbetriebe verfügen über viel ausländisches Personal, bedingt durch das tiefe Lohnniveau und die unattraktiven Arbeitszeitmodelle, womit die Attraktivität der Arbeitsstellen im Tourismusbereich für Schweizerinnen und Schweizer abnimmt. Die touristischen Infrastrukturen, wie z.B. die Bergbahnen, hatten ihre heutige Größe meist bereits in den 1980er Jahren erreicht. Um die Attraktivität zu steigern, wurde das Angebot in den letzten 20 Jahren durch laufende Modernisierungen und Vergrößerung der Pistenflächen und -anzahl weiter professionalisiert und qualitativ verbessert. Graubünden besitzt zahlreiche Touristendestinationen und gehört zu den Kantonen mit den meisten registrierten Logiernächten in der Schweiz. Im internationalen Vergleich mit anderen Bergdestinationen sind die Angebotsdichte und die Qualität der touristischen Infrastrukturen der Bündner Destinationen meist besser einzustufen als jene der USA und den europäischen Nachbarländern Österreich und Frankreich. Dennoch sind die Anbieter aufgrund ungeeigneter Unternehmensstrukturen oft nicht in der Lage, ein gutes Angebot zusammenzustellen und effektiv zu kommerzialisieren, respektive ihre Tourismusdienstleistungen auf den internationalen Märkten zu wettbewerbsfähigen Bedingungen zu verkaufen (Plaz & Schmid, 2015).

Im Verlauf des letzten Jahrhunderts, hat unter anderem durch die Industrialisierung und Automatisierung die verfügbare Freizeit der erwerbstätigen Personen deutlich zugenommen. Gegenwärtig bestehen keine Anzeichen für eine Trendwende. Es wird von einer weiteren Zunahme an Freizeit ausgegangen. Auch kann die absehbare Zunahme des Bevölkerungsanteils der über 65-Jährigen diesen Trend verstärken. Andererseits ist die Erhöhung des aktuellen Rentenalters ein derzeit stark debattiertes Thema. Aufgrund des demographischen Wandels hin zu einer älteren Gesellschaft, ist eine abnehmende Bedeutung des Wintersports bei den Gästen aus der Schweiz und der EU zu erwarten. Gleichzeitig ist der Kanton Graubünden prädestiniert, um Senioren für Natur- und Genussreisen im Frühling, Sommer und Herbst zu gewinnen. Damit würden sich die Logiernächte etwas mehr über das Jahr verteilen. Ein weiterer Aspekt ist die finanzwirtschaftliche Lage. Bleibt der EUR/CHF-Wechselkurs weiterhin auf einem tiefen Niveau von nahezu 1:1, ist durch den weiteren Verlust der preislichen Wettbewerbsfähigkeit mit weiteren Rückgängen bei den Hotellogiernächten zu rechnen. Vielen internationalen Gästen könnte die Schweiz zu teuer werden und Schweizer Gäste würden vermehrt ins preisgünstigere nahe Ausland ausweichen. Ein weiterer Rückgang der Anzahl Hotellogiernächte in Graubünden von über einer Million, ist in einem solchen Szenario nicht auszuschließen (Plaz & Schmid, 2015).

4.1.1. Logiernächte

Um die zahlreichen genannten Faktoren, die schlussendlich direkten Einfluss auf die Entwicklung der Anzahl Logiernächte in Graubünden haben, bei der Erstellung der Szenarien zu berücksichtigen, wird nun die Anzahl der Logiernächte der vergangenen Jahren genauer untersucht.

Seit den 1990er Jahren zeigen die Hotellogiernächte in Graubünden einen rückläufigen Trend. Trotz starker Gästezunahmen in wirtschaftlich guten Zeiten wie 2005-2008, haben die verbuchten Logiernächte in der Hotellerie und Parahotellerie im Durchschnitt deutlich abgenommen. Vergleicht man das Jahr 2014 mit 1992, fehlen der Tourismusbranche rund 1.8 Mio. oder 22 % der Hotellogiernächte in Graubünden. In den letzten 10 Jahren konnte die Anzahl der verbuchten Logiernächte jedoch konstant gehalten werden, wie die folgende Abb. 4-1 zeigt (BFS, 2022b). Zudem ist eine deutliche Verschiebung der Herkunft der Gäste wahrnehmbar. Über die Jahre 2005-2021 stieg die Zahl der Hotellogiernächte der Schweizer Gäste insgesamt von 2.9 Mio. auf ca. 4 Mio. an, während bei den Gästen aus den ausländischen Nahmärkten wie Deutschland deutliche Verluste zu verzeichnen waren. Deutsche Gäste verbrachten in den Jahren 2005-2010 jährlich um die 1.5 Mio. Logiernächte in Graubünden. Seit 2011 ist dieser Wert jedoch stark rückläufig, mit gerade noch 540'000 registrierten Logiernächten im Jahr 2021. Vor der COVID-19 Pandemie waren es im Jahr 2019 noch knapp 850'000 Logiernächte (BFS, 2022f). Einerseits scheint die globale Finanzkrise von 2007-2008, sowie die darauffolgende Eurokrise im Jahr 2009, für die tiefere Anzahl an Logiernächten von ausländischen Gästen verantwortlich zu sein. Weiter scheint die zunehmende Globalisierung des Wettbewerbs ein Grund zu sein und auch die veränderten Feriengewohnheiten, die im Durchschnitt zu kürzeren Aufenthalten führen (Plaz & Schmid, 2015).

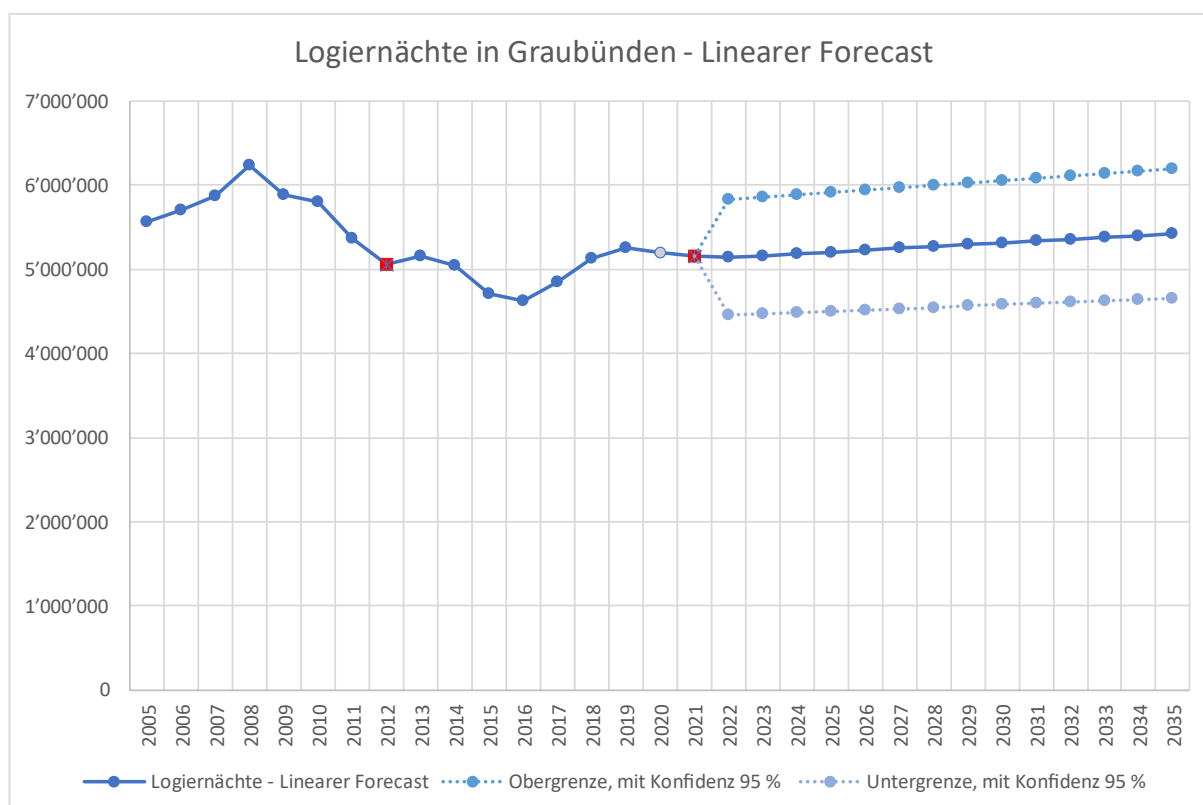


Abb. 4-1 Logiernächte – Linearer Forecast, eigene Grafik mit Daten von (BFS, 2022b).

Die Abb. 4-1 zeigt die Trendentwicklung bis 2035 für den Kanton Graubünden, auf Basis der letzten 10 Jahre von 2012-2021. Die Berechnung erfolgt über eine lineare Trendentwicklung, mit den Excelfunktionen *FORECAST.LINEAR* und *FORECAST.ETS.CONFINT*, dargestellt mit einem

Konfidenzintervall von 95 %. Das bedeutet, dass die zukünftige Prognose zu 95 % zwischen der abgebildeten Ober- und Untergrenze liegen sollte. Die Anzahl Logiernächte für das Jahr 2020 ist angepasst und auf Basis von 2019 und 2021 gemittelt, um eine Trendentwicklung herzuleiten, die nicht zu sehr von der COVID-19 Pandemie beeinflusst wird. Das Wachstum der Anzahl Logiernächte im gesamten Kanton beträgt 5.28 % zwischen 2021 bis 2035.

Für die Berechnung des Einsparpotentials an CO₂-Emissionen wird die Trendentwicklung der Logiernächte pro Region verwendet. Für jedes Jahr ab 2021 bis 2035 wird ein erwarteter Wert berechnet. Die Berechnung der Trends der Logiernächte ist im Dokument „Modell_CO2_Einsparung_GR“, im Arbeitsblatt *Entwicklung Regionen*, aufgeführt. Die Entwicklung pro Gemeinde wird nicht verwendet, da besonders in Gemeinden mit wenigen Hotelbetrieben einzelne Eröffnungen oder Schließungen von Hotels teilweise enorme Veränderungen auf die Trendentwicklung ausüben und zu unsicheren Prognosen führen würden. Aufgrund der vorliegenden Daten von 2017-2021 zur Entwicklung der Logiernächte pro Gemeinde kann ohnehin keine klare Prognose erstellt werden (BFS, 2022d). Daten zu den Logiernächten vor 2017 sind nur auf kantonaler Ebene und für die 18 Tourismusdestinationen im Kanton Graubünden verfügbar. Erst ab Anfang 2016 gelten die elf Regionen, welche die bisherigen Bezirke als Verwaltungsorgane ersetzen (Standeskanzlei Graubünden, 2015). Für die elf neuen Regionen müssen daher die Daten anhand der 18 Tourismusdestinationen ausgerechnet und aufgeteilt werden (BFS, 2022e). Erst von 2017-2021 sind Daten zu den neu definierten Regionen erhältlich. Die jährliche Anzahl Logiernächte einiger neuen Regionen und Tourismusdestinationen stimmen ohnehin überein oder können problemlos addiert werden. Für einige wenige Ortschaften, wie Churwalden, Flims, Trin, sowie einen Teil von Imboden, werden die Werte vor 2017 berechnet. Die gesamte Anzahl der jährlichen Logiernächte im Kanton ist dabei jeweils bekannt. Ob einzelne Gemeinden und Regionen touristisch weiterhin wachsen oder ob der Bedarf bereits gedeckt ist, hängt von vielen Faktoren ab, die gerade aufgrund der Pandemie noch schwieriger zu beurteilen sind.

Zuerst wird die Entwicklung in den vergangenen 10 Jahren von 2012-2021 untersucht (siehe Abb. 4-2). In Albula blieben die Logiernächte von 2012 bis 2019 konstant, nahmen aber von 2019 bis 2021 gegenüber 2012 um 8 % zu. Ähnlich war die Entwicklung in Surselva, jedoch mit einem Wachstum von 35 % von 2019-2021, gegenüber dem Wert von 2012. In Engiadina Bassa/Val Müstair stieg die Zahl der Logiernächte in der Pandemiezeit ebenfalls auf den Stand von 2012 an, nach sinkender Entwicklung von 2012-2019. Anders war die Entwicklung in Maloja, Plessur und Prättigau/Davos, wo nach positiver Entwicklung seit 2012, ab dem Jahr 2019 ein Rückgang der Logiernächte verbucht wurde, am stärksten in Prättigau/Davos. Die Regionen Imboden, Bernina und Moesa mit weniger Logiernächten, konnten alle seit 2012 stark wachsen, ab 2019 noch deutlicher. In Landquart nahmen die Logiernächte bis 2019 ebenfalls zu, seit 2020 sind sie jedoch rückläufig. Viamala ist die Region die von 2012-2021 den prozentual stärksten Rückgang an Logiernächten aufweist, mit -14 %.

Ausgehend von diesen Entwicklungen der Regionen wird die Prognose für die Jahre 2022 bis 2035 erstellt. Dazu werden die Werte für das Jahr 2020 aus den Daten von 2019 und 2021 interpoliert, damit die Trendentwicklung aufgrund der Pandemieauswirkungen nicht zu stark beeinflusst wird.

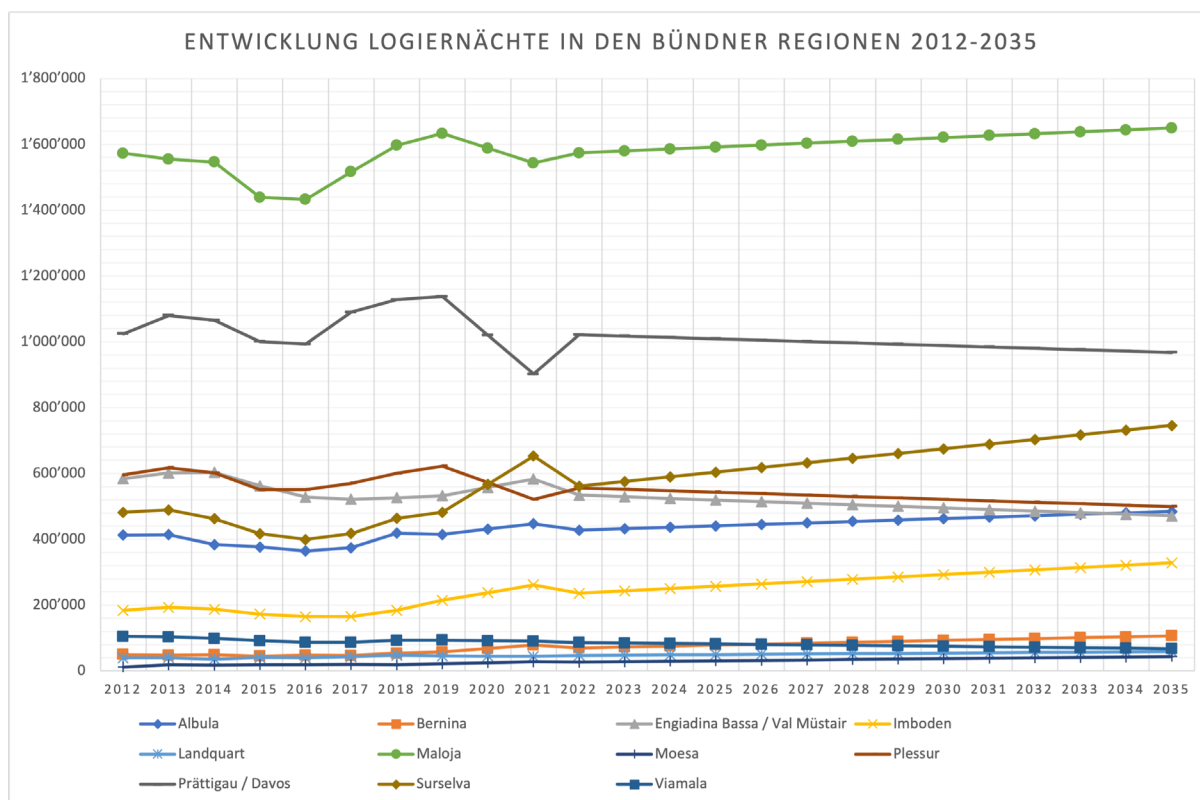


Abb. 4-2 Entwicklung der Logiernächte in den Bündner Regionen von 2012-2035, eigene Grafik mit Daten von (BFS, 2022d) und (BFS, 2022e).

Besonders in den Regionen Moesa (57 %), Bernina (36 %), Landquart (33 %) und Imboden (26 %) wird die Zahl der Logiernächte bis 2035 prozentual am stärksten zunehmen, gegenüber dem Referenzjahr 2021. Auch in Surselva (14 %), Albula (8 %), Prättigau/Davos und Maloja (je 7 %), ist bis 2035 eine höhere Anzahl an Logiernächten zu erwarten, als im Jahr 2021. In Prättigau/Davos ist die hier berechnete Trendentwicklung jedoch längerfristig rückläufig, aufgrund des starken Rückgangs von 2019-2021. Ebenso in Plessur (-4 %), Engiadina Bassa/Val Müstair (-19 %) und Viamala (-25 %), wo bis 2035 ein Rückgang gegenüber 2021 erwartet wird. Wie zuvor erwähnt (vgl. Abb. 4-1) ist kantonsweit bis 2035 mit einer Zunahme der verbuchten jährlichen Logiernächte von 5.28 % zu rechnen.

4.1.2. Verfügbare Betten (offene Betriebe)

Die Anzahl der Hotelbetriebe stieg in den florierenden Jahren des Tourismus von 1945-1970 an, ist seither aber eher rückläufig. Trotz Auflösungen von Betrieben hat sich hingegen die Anzahl verfügbarer Hotelbetten seit 1970 kaum verändert (Plaz & Schmid, 2015). Für die Angebotsentwicklung der verfügbaren Betten, sowie die Anzahl geöffneter Betriebe, ist im Dokument „Modell_Bedarf_E-Ladestationen_GR“, im Arbeitsblatt *Entwicklung-Betten*, der kantonale Trend mit Daten von 2005-2021 aufgeführt (BFS, 2022b). Dieser Trend lässt aktuell eine Tendenz zu weniger, dafür größeren und

professioneller geführten Betrieben erwarten. Die Berechnung erfolgt wie für die Logiernächte über eine lineare Trendentwicklung, mit den Excelfunktionen *FORECAST.LINEAR* und *FORECAST.ETS.CONFINT*, dargestellt mit einem Konfidenzintervall von 95 %. Die Anzahl verfügbarer Betten wird für die Bestimmung der Anzahl benötigter Ladestationen verwendet (siehe 2.3.1 Bedarfsermittlung Ladeinfrastruktur).

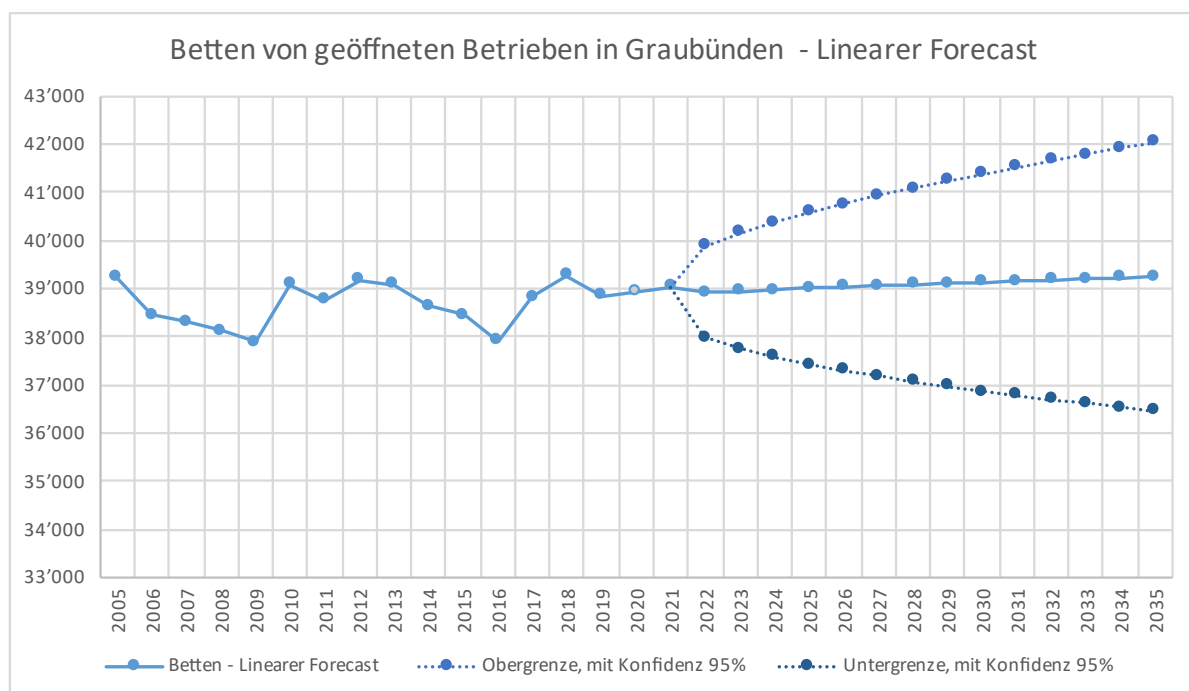


Abb. 4-3 Betten von geöffneten Betrieben – Linearer Forecast, eigene Grafik mit Daten von (BFS, 2022b).

Wie in Abb. 4-3 ersichtlich, stehen rund 39'000 Betten zur Verfügung, welche sich auf 580 Hotelbetriebe im Kanton Graubünden verteilen (BFS, 2022c). Bis 2035 wird im Vergleich zu 2021 von einem geringen Wachstum von 0.56 % ausgegangen, auf 39'249 Betten im gesamten Kanton. Die Daten pro Gemeinde, über die Anzahl verfügbarer Betten der geöffneten Betriebe, sind auf Anfrage beim Kanton Graubünden erhältlich (BFS, 2022c). Es sind Daten von 2017-2021 auf Regions- und Gemeindeebene verfügbar. Für das Rechenmodell wird mit dem Gemeindestand 2021 gerechnet, mit 101 Gemeinden im Kanton, wovon in 86 Gemeinden Hotelbetriebe vorhanden sind. Gemeinden ohne Hotelbetriebe sind in den erhaltenen Dateneinträgen nicht aufgeführt. Bei Gemeinden die zwischenzeitlich fusioniert haben, werden die Dateneinträge aus den vorherigen Jahren zusammenaddiert, um die Entwicklung entsprechend zu interpretieren. In der folgenden Abb. 4-4 ist die Entwicklung der Anzahl Betten der geöffneten Betriebe nach den elf Regionen dargestellt. Für die neu definierten Regionen sind nur Daten von 2017-2021 verfügbar. Einerseits fällt dabei auf, dass die touristisch beliebtesten Regionen Maloja und Prättigau/Davos das Bettenangebot im Jahr 2020 stärker reduzieren mussten, als viele der weniger touristischen und kleineren Regionen. Surselva verzeichnete währenddessen das prozentual stärkste Wachstum des Bettenangebots, gefolgt von Imboden. Insgesamt konnte Graubünden die COVID-19 Pandemie jedoch gut meistern und verfügt bereits seit 2021 wieder über ein ähnliches Angebot wie in den Jahren vor der Pandemie.

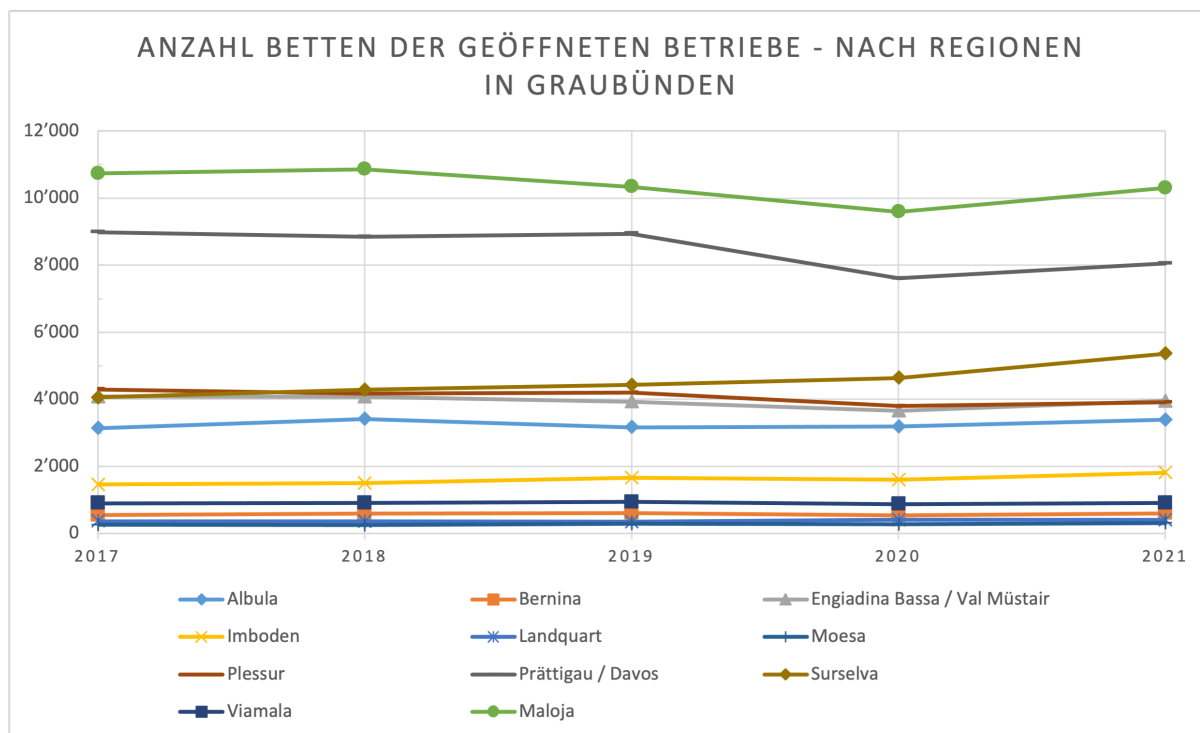


Abb. 4-4 Betten der geöffneten Betriebe – nach Bündner Regionen, eigene Grafik mit Daten von (BFS, 2022c).

Aufgrund der ungewöhnlichen Entwicklung seit 2020, ist über die letzten Jahre kein klarer Trend für die einzelnen Regionen erkennbar. Die Hotelindustrie kann sowohl regional als auch schweizweit nicht mit Bestimmtheit vorhersagen, wie sich die Branche in den kommenden Jahren entwickeln wird und welche pandemiebedingten Veränderungen langfristige Auswirkungen haben werden. Auch die Folgen des Ukraine-Russland-Konflikts, der aktuellen Energiekrise und der weltweiten politischen Situation sind ungewiss. Deshalb wird für die Berechnung der Szenarien die stabilere, kantonale Entwicklung der Bettenanzahl in der Hotellerie verwendet (siehe Abb. 4-3), welche z.B. weniger sensibel auf Schließungen von einzelnen Betrieben reagiert. Ein weiterer Grund ist auch die limitierte Datenlage von 2017-2021, die eine präzise Prognose für die einzelnen Regionen nicht zulässt. Besonders in den weniger touristischen Gemeinden, die jedoch in den vergangenen Jahren ein starkes Wachstum verzeichnen konnten, ist es schwierig abzuschätzen, wann die Nachfrage gedeckt sein wird und das Wachstum stagnieren wird.

4.2. Verkehrsentwicklung

Im folgenden Kapitel werden relevante Aspekte im Bereich Verkehr diskutiert, anhand derer anschließend die Entwicklung des touristischen Verkehrsverhaltens eingeschätzt werden kann. Für die Szenarien-Modelle werden die folgenden Einflussfaktoren und deren Veränderungen von 2021-2035 ermittelt: Hauptverkehrsmittel, Anteil Elektrofahrzeuge, Besetzungsgrade und zurückgelegte Strecken.

Für zukünftige Entwicklungen des touristischen Verkehrs, werden zuerst allgemeine Verkehrsszenarien der Schweiz betrachtet, erstellt und publiziert vom Bundesamt für Raumentwicklung im Bericht

„Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050“ (Justen et al., 2022). Der Verkehr wird auch in Zukunft wachsen, allerdings weniger stark als die Bevölkerung. Im Hauptszenario „Basis“ nimmt bei einem Bevölkerungswachstum von 21 % die Verkehrsleistung (in Personenkilometer) bis 2050 gegenüber dem Referenzjahr 2017 nur um 11 % zu. Mögliche Gründe für diese Entwicklung sind hauptsächlich diverse gesellschaftliche und wirtschaftliche Trends, die Einfluss auf die Mobilität nehmen. Im Basisszenario nimmt der Trend zum Arbeiten im Homeoffice weiter zu, was den Pendlerverkehr reduziert. Nach der COVID-19 Pandemie verspüren immer mehr Angestellte das Bedürfnis von zuhause aus zu arbeiten. Dies wird unter anderem durch eine Umfrage von *Deloitte* unterstrichen, welche eine steigende Akzeptanz des Arbeitens im Homeoffice aufzeigt (Melian & Zebib, 2022). Hinzu kommt, dass mit der zunehmenden Alterung der Bevölkerung der Anteil der Erwerbstätigen abnimmt. Außerdem führen neue Raumentwicklungen, die mit dichter besiedelten Gebieten über nahegelegene Freizeit- und Einkaufsmöglichkeiten verfügen, zu einer Verkehrsabnahme. Beim Fahrzweck Freizeit nimmt die Pro-Kopf-Mobilität, gemessen in Anzahl Wegen, prozentual am stärksten zu, vor allem aber durch Fahrräder und den Öffentlichen Verkehr (ÖV). Als Weg gilt in der verwendeten Studie eine zurückgelegte Strecke, z.B. der Arbeitsweg oder Einkaufsweg (Justen et al., 2022). Der PKW kommt für Freizeitaktivitäten bis ca. 2030 ebenfalls mehr zur Verwendung, wird danach aber wieder für weniger Wege benutzt. Die durchschnittliche Weglänge im PKW für die Freizeit bleibt unverändert bei etwa 13 km pro Tag. Insgesamt bleibt der Anteil der mit dem Auto zurückgelegten Distanz nach wie vor bedeutend, sinkt aber im Basisszenario von 73 % auf 68 %. Die Anzahl Personenwagen je Einwohner, auch bekannt als Motorisierungsgrad, nimmt dementsprechend ab. Im Szenario „Weiter wie bisher“ hingegen bleibt der Motorisierungsgrad von 2017 bis 2050 stabil. Im Basis-Szenario nimmt die Anzahl der ÖV-Abonnemente über die Jahre kontinuierlich zu. Der ÖV erhöht seinen Anteil an den Verkehrsleistungen von 21 % auf 24 %, während sich der Anteil Fahrräder verdoppelt. Die Resultate des Basisszenarios beruhen auf der Annahme, dass die existierende Verkehrs- und Raumplanung, wie sie der Bundesrat in „Mobilität und Raum 2050“ beschlossen hat, konsequent umgesetzt wird. Zudem beruht das Basisszenario auf der Annahme der Einführung von verkehrspolitischen Maßnahmen, wie etwa der verstärkten Internalisierung externer Kosten ab dem Jahr 2035 (Justen et al., 2022).

4.2.1. Hauptverkehrsmittel der Touristen

In diesem Abschnitt werden nun die Auswirkungen der allgemeinen Verkehrsentwicklung auf den Tourismus und die Wahl des Hauptverkehrsmittels der Touristen untersucht. Zuerst wird die aktuelle Ausgangslage erörtert und dann ein Ausblick in die Zukunft beschrieben.

Ausgangslage

Gemäß der „Schweizer Tourismusstatistik 2018“ wird der motorisierte Individualverkehr von den Schweizerinnen und Schweizern für Reisen innerhalb der Schweiz mit einer bis drei Übernachtungen am häufigsten genutzt (61 %). Bei Reisen ab vier Übernachtungen ist der Anteil sogar 66 % (BFS, 2020). Anhand der „Schweizer Tourismusstatistik 2020“ lässt sich der starke Einfluss der COVID-19 Pandemie erkennen. Der motorisierte Individualverkehr wird von den Schweizerinnen und Schweizern mit über

70 % für Inlandreisen mit einer bis drei Übernachtungen noch stärker bevorzugt. Bei längeren Reisen sogar zu rund 74 % (BFS, 2022i). Für Tagesausflüge der Schweizer Gäste in Graubünden wird das Auto mit rund 63 % und bei Besuchen mit Übernachtung mit 73 % am meisten benutzt, was im Vergleich zur „Schweizer Tourismusstatistik 2018“ gut mit dem Schweizer Durchschnitt übereinstimmt (Hartmann, 2018). Über die Jahre vor der Pandemie (2016-2019) kann jedoch kein klarer Trend festgestellt werden, wie die folgende Tabelle aufzeigt.

Tab. 4-1 Hauptverkehrsmittel der Schweizer Bevölkerung für Reisen mit Übernachtungen (2016-2021) (BFS, 2022j).

Jahr	Motorisierter Individualverkehr als Hauptverkehrsmittel für Reisen innerhalb der Schweiz in %.	Variationskoeffizient der Umfragen (Anzahl Reisen in der Schweiz) in %.
2016	66.9	4.1
2017	67.6	4.1
2018	64.5	3.9
2019	65.6	4.4
2020	72.6	4.7
2021	72.4	4.8

Für Hotelübernachtungen kann davon ausgegangen werden, dass der motorisierte Individualverkehr (PKW, Motorrad, Motorfahrrad, Wohnmobil) überwiegend aus PKWs besteht. Die Variationskoeffizienten der jährlichen Umfragen betragen jeweils rund 4-5 %. Die Umfragen basieren auf etwa 2'000-4'000 jährlich ausgewerteten Reisen. Dabei ist zu beachten, dass nur Schweizer Bürgerinnen und Bürger befragt werden. Die zeitliche Entwicklung der Reisen mit Übernachtungen in der Schweiz wird vom BFS seit 2016 nach einer neuen Methode berechnet. Neu wird die Wohnbevölkerung ab 6 Jahren berücksichtigt und nicht mehr wie bisher ab 15 Jahren (BFS, 2022j).

Betrachtet man die zeitliche Entwicklung der „Reisen mit Übernachtungen“, so zeigt sich, dass diese gemäß den befragten Schweizerinnen und Schweizern mehrheitlich privaten Zwecken dienen, mit 20.58 Mio. Reisen im Jahr 2019, gegenüber 1.36 Mio. geschäftlichen Reisen. Bezogen auf alle Reisen, Inlandreisen und Reisen ins Ausland, inklusive Luftverkehr und andere Verkehrsarten, ist der motorisierte Individualverkehr mit 52 % ebenfalls das bevorzugte Hauptverkehrsmittel, berechnet aus dem Durchschnitt von 2016-2021 (BFS, 2022h).

Nach der Gästenumfrage „Tourismus Monitor Schweiz (TMS) 2017“ (Schweiz Tourismus, 2018), wird als Hauptverkehrsmittel innerhalb der Schweiz das Auto mit 57.1 % am meisten verwendet. Der Zug folgt mit 31.9 % an zweiter Stelle. Von den 21'535 befragten Gästen sind 56.8 % Schweizer, gefolgt von 12.5 % deutschen Gästen. Die Umfrage stimmt gut mit der Schweizer Tourismusstatistik von 2018 und 2020 überein, wenn man davon ausgeht, dass die Schweizer für Ferien im Inland etwas häufiger auf das eigene Auto zurückgreifen. Einerseits ist die Verfügbarkeit eigener Autos hoch und es ist einfach, da man weder ein Fahrzeug mieten, noch ein Ticket für den öffentlichen Verkehr kaufen muss. Zudem

sind die Schweizer mit dem Verkehr und den geografischen Gegebenheiten in der Schweiz vertraut und der Anreiseweg ist oftmals von kürzerer Distanz als bei Gästen aus dem Ausland. Im Kanton Graubünden sind im Durchschnitt 57.3 % aller Touristen aus der Schweiz, gemessen an den Logiernächten von 2005-2021, was sehr gut mit dem TMS 2017 übereinstimmt (BFS, 2022f).

Ausblick

Anhand der zuvor beschriebenen allgemeinen Verkehrsentwicklung kann angenommen werden, dass das Auto auch in den kommenden Jahren das beliebteste Hauptverkehrsmittel sein wird für Touristen. Aufgrund gegenwertiger Diskussionen über Raumplanung und negative Umwelteinflüsse, die durch das hohe Mobilitätsaufkommen verursacht werden, ist davon auszugehen, dass in Zukunft eine Stabilisierung oder gar Reduktion in einigen Mobilitätsbereichen zu erwarten ist. Folglich ist auch im Haupteinzugsgebiet der Bündner Gäste mit einer Verlangsamung des Mobilitätswachstums oder allenfalls sogar mit einer Stagnation zu rechnen (Plaz & Schmid, 2015). Wie stark sich der Anteil und die Anzahl Personenwagen der Touristen in der Schweiz bis 2035 verändern wird, kann jedoch insgesamt als relativ unverändert angesehen werden. Es wird angenommen, dass der derzeit erhöhte Anteil des PKWs als Hauptverkehrsmittel für Reisen innerhalb der Schweiz (vgl. Tab. 4-1) nach der Pandemie wieder abnimmt. Die langfristigen Auswirkungen der Covid-19 Pandemie auf die Nutzung der Hauptverkehrsmittel für längere Reisen sind jedoch ungewiss. Für längere Zugreisen aus dem umliegenden Ausland in die Schweiz wird unter anderem entscheidend sein, wie attraktiv ÖV-Angebote gestaltet werden. Ein interessanter Bereich ist der Netzausbau für Nachtzüge in Europa. Auch die preisliche Entwicklung verschiedener Verkehrsmittel wird von Bedeutung sein, sowie die verstärkte Abwälzung externer Kosten auf die Verursacher, namentlich die CO₂-Besteuerung.

Für die im Rahmen der Studie durchgeführten Berechnungen wird das Auto als bevorzugtes Hauptverkehrsmittel für Reisen mit Übernachtungen in Graubünden angenommen, mit einem konstanten Anteil von 60 % in den Jahren 2021-2035. Die Begründung beruht auf der in Tab. 4-1 aufgeführten durchschnittlichen Verkehrsmittelwahl von Schweizern im Inland, in den Jahren 2016-2021 (Ø 68.3 %) und der TMS-Umfrage aus dem Jahr 2017 (57.1 %). Auch die BFS-Auswertung für Reisen mit Übernachtungen, die auch Reisen ins Ausland, einschließlich Flugreisen, berücksichtigt und deshalb etwas tiefere Anteile an PKWs aufweist, hat ähnliche Ergebnisse (BFS, 2022h).

4.2.2. Anteil Elektrofahrzeuge am Gesamtbestand

Für die Entwicklung des Anteils der Elektrofahrzeuge am Gesamtbestand werden verschiedene Studien betrachtet und deren Ergebnisse bis 2035 verglichen. Für die touristische Mobilität wird die gleiche Entwicklung der Elektrofahrzeuge angenommen. Einerseits ist ein signifikanter Anteil der Touristen im Kanton Graubünden aus der Schweiz oder aus dem benachbarten Deutschland, wo Elektrofahrzeuge mit einem Anteil von 26 % an den Neuwagenverkäufen im Jahr 2021 ebenfalls ein starkes Wachstum aufweisen. Andererseits kann auch für Mietwagenflotten von einem wachsenden Anteil an Elektrofahrzeugen ausgegangen werden. Sixt, Deutschlands größter Autovermieter, plant, seine Flotte bis 2030 um 70-90 % zu elektrifizieren (Fasse, 2022).

Als erstes wird nun die Studie „Szenario 2035: Marktdurchdringung für Steckerfahrzeuge (PEV) in der Schweiz“ von *Swiss eMobility* in Zusammenarbeit mit *Protoncar* betrachtet. Die Studie befasst sich mit eigens erstellten Szenarien über Steckerfahrzeuge, aufgeteilt in batterieelektrische Autos (BEV) und Plug-in-Hybride (PHEV). Die PHEVs werden als Übergangstechnologie betrachtet und werden ab 2030 bei Neuwagen durch BEVs abgelöst. *Swiss eMobility* geht davon aus, dass die Schweiz der Entwicklung der Leitmärkte folgt, allenfalls mit einer gewissen Verzögerung. Gemäß den erwarteten Neuzulassungen wird davon auszugehen, dass im pessimistischen Szenario fast die Hälfte (48 %) des Fahrzeugbestands im Jahr 2035, respektive bis zu 59,7 % im optimistischen Szenario, ein Steckerfahrzeug sein wird (Romang, 2021). Als Referenz für die Entwicklung des gesamten Schweizer Fahrzeugbestandes dienen die in der Energiestrategie 2050 getroffenen Annahmen des Bundes, die auch im Bericht „Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050“ ersichtlich sind (Justen et al., 2022). Die Energiestrategie 2050 trat mit der Annahme des revidierten Energiegesetzes im Jahr 2017 in Kraft und dient dazu, den Energieverbrauch zu senken, die Energieeffizienz zu erhöhen, sowie den Ausbau der erneuerbaren Energien zu fördern (UVEK, 2021). Laut Romang (2021), liegen diese Wachstumsprognosen für den gesamten Fahrzeugbestand aktuell aus verschiedenen Gründen über der effektiven Zunahme des Autobestandes. Zum einen ist der durch die COVID-19 Pandemie entstandene Einbruch der Neuwagenverkäufe nicht berücksichtigt. Auch die Auswirkungen der sich verändernden Altersstruktur der Bevölkerung, das abnehmende Interesse junger Generationen an Autos und der Einfluss von alternativen Mobilitätsmodellen sind unzureichend bewertet. In den *Swiss eMobility*-Szenarien wird daher eine nach unten korrigierte Prognose der Entwicklung des Personenwagenbestandes verwendet. In diesen erreicht die Schweiz 2030 einen Bestand von knapp unter 5 Mio. PKWs und in 2035 knapp über 5 Mio. (siehe Tab. 4-2). Der Neuwagenmarkt wird im optimistischen Szenario bereits im Jahr 2025 von Steckerfahrzeugen dominiert (Romang, 2021).

Im Bericht „Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050“ ist der Wechsel hin zur E-Mobilität weniger ausgeprägt als bei *Swiss eMobility*. Im WWB-Szenario (weiter wie bisher) wird der Flottenmix in 2050 einen Anteil von 38 % E-Fahrzeuge aufweisen. Im NTG-Szenario (nachhaltige Gesellschaft) beträgt der Anteil gar 74 %. Beim Neuwagenmarkt wird von einem Anteil von 70-90 % im Jahr 2040 ausgegangen. In diesen Szenarien sind die Auswirkungen von COVID-19 mehrheitlich nicht berücksichtigt, da sich die langfristigen Folgen noch nicht empirisch nachweisen lassen (Justen et al., 2022).

Laut der Studie von *SCCER Mobility*, erstellt in Zusammenarbeit mit renommierten Instituten und Universitäten, ist eine nahezu vollständige Dekarbonisierung des Verkehrssektors im Jahr 2050 möglich, mit einer PKW-Flotte die aus annähernd 50 % BEVs, etwa 30 % PHEVs, zu etwa einem Sechstel aus Brennstoffzellenfahrzeugen (FCEVs), sowie einem geringen Anteil aus hybridelektrischen Fahrzeugen ohne Stecker (HEVs) und Verbrennungsfahrzeugen bestehen wird. Elektrische Fahrzeuge sind in dieser Studie somit weniger dominant, als in den erwähnten *Swiss eMobility*-Szenarien. Energetisch betrachtet würde Strom fast 50 %, synthetische und biogene Kraftstoffe zusammen etwa 30 % und Wasserstoff mehr als 20 % zur Zusammensetzung des Energieträgermix beitragen (Boulouchos et al., 2021).

Die Studie „Electric and Hydrogen Mobility Scenarios Switzerland 2022“ des Unternehmens EBP zeigt hingegen eine ähnliche Entwicklung der Mobilität in der Schweiz wie *Swiss eMobility*. Über alle Fahrzeugkategorien hinweg betrachtet (PKWs, leichte und schwere Nutzfahrzeuge) steigt der Anteil der Elektrofahrzeuge an der gesamten Fahrleistung bis im Jahr 2030 je nach Szenario auf 25-39 %. Bis 2035 steigen die Anteile an der gesamten Fahrleistung auf über 40 % bis fast 70 %, je nach Szenario. Die drei Szenarien BAU (Business As Usual), ZERO - E und ZERO - Hydrogen Focus, unterscheiden sich wie folgt: Das BAU-Szenario ist nicht kompatibel mit dem Netto-Null-Ziel 2050, aber es werden mehrheitlich batterie-elektrische Fahrzeuge verwendet. Eine Ausnahme sind schwer zu elektrifizierende Segmente, in denen primär Plug-in-Hybride und Dieselfahrzeuge eingesetzt werden. Als Orientierung für das Szenario dienen jetzige CO₂-Emissionsvorschriften für neue Fahrzeuge, sowie technologische Entwicklungen der verschiedenen Antriebstechnologien. Das Szenario ZERO - E nimmt den aktuellen Vorschlag des EU-Umweltausschusses zur Verschärfung der CO₂-Emissionsvorschriften als Richtlinie, mit faktischem Verbot für herkömmliche Benzin- und Diesel-PKWs und leichte Nutzfahrzeuge ab 2035. Das Szenario beruht ebenfalls auf der E-Mobilität als Schlüsseltechnologie und ist kompatibel mit dem Netto-Null-Ziel 2050. Wie bei den *Swiss eMobility*-Szenarien spielen PHEVs nur kurzfristig eine Rolle und Wasserstoff-FCEVs werden nur eine Nischenrolle einnehmen. Im Szenario ZERO - Hydrogen Focus hingegen wird Wasserstoff ab 2030 zu einer kostengünstigen „Global Commodity“, weshalb angenommen wird, dass die schwereren Fahrzeugsegmente zunehmend durch H₂-Brennstoffzellen ausgestattet werden. Bei den PKWs wird in diesem Szenario ebenfalls die E-Mobilität dominieren. In den drei Szenarien spielen H₂-Brennstoffzellen-PKWs eine untergeordnete Rolle, mit einem Anteil von 0.4 bis 2.3 % an der Fahrleistung im Jahr 2040 in der Schweiz (De Haan et al., 2022).

Aufgrund der verfügbaren Daten und ähnlichen Entwicklungen wie in der EBP-Studie, werden in der vorliegenden Arbeit die Szenarien zur Elektrifizierung des Schweizer PKW-Gesamtbestandes von *Swiss eMobility* verwendet. Für die jährlichen Werte im Rechenmodell werden die verfügbaren Daten aus der Tab. 4-2 interpoliert. Im Anhang in Tab. A-7 sind die jährlichen Anteile am Gesamtbestand der Schweizer Fahrzeugflotte von 2021-2035 aufgeführt, unterteilt in BEV, EV und PHEV.

Tab. 4-2 Szenario 2035: Marktdurchdringung für Steckerfahrzeuge (PEV) in der Schweiz, *Swiss eMobility* (Romang, 2021). *Werte für 2025/2030 aus einer Grafik abgelesen, Abweichungen möglich.

	Entwicklung	2025	2030	2035
Anzahl Steckerfahrzeuge (Gesamtbestand)	pessimistisch	487'000	1'300'000	2'400'000
	optimistisch	626'000	1'800'000	2'900'000
Anteil Steckerfahrzeuge* (Gesamtbestand)	pessimistisch	10.0 %	26.7 %	48.0 %
	optimistisch	12.5 %	36.7 %	59.7 %
Marktanteil Neuwagen Steckerautos	pessimistisch	40 %	72 %	91 %
	optimistisch	60 %	94 %	99 %

4.2.3. Besetzungsgrad (Reisende pro Fahrzeug)

Für die Berechnung der Anzahl der Personen, die ein Verkehrsmittel benutzen, ist der Besetzungsgrad, d.h. die Anzahl der Personen pro Fahrzeug, von großer Bedeutung. Bei höherem Besetzungsgrad wird eine geringere Anzahl Fahrzeuge benötigt, um die gleiche Anzahl Personen zu transportieren. Insgesamt sind die Besetzungsgrade für Fahrzeuge in der Schweiz, nach einem leichten Rückgang seit dem Jahr 2000, relativ konstant geblieben. Bei den Verkehrszwecken Ausbildung, Einkauf und Freizeit ist seit dem Jahr 2000 eine leichte Tendenz zu höheren Besetzungsgraden festzustellen. Laut „Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050“, wird sich in der Freizeit der Besetzungsgrad um bis zu 25 % erhöhen. Im Jahr 2015 hatte der Arbeitsverkehr mit 1.10 Personen pro Fahrzeug den niedrigsten und der Freizeitverkehr mit 1.57 Personen pro Fahrzeug den höchsten Besetzungsgrad (Justen et al., 2022).

Für touristische Reisen mit Übernachtungen kann davon ausgegangen werden, dass die Besetzungsgrade höher sind. Dazu wird anhand der Gästenumfrage Tourismus Monitor Schweiz 2017 die Größe der Reisegruppen ausgewertet (siehe Abb. 4-5) und daraus ein durchschnittlicher Besetzungsgrad berechnet (Schweiz Tourismus, 2018).

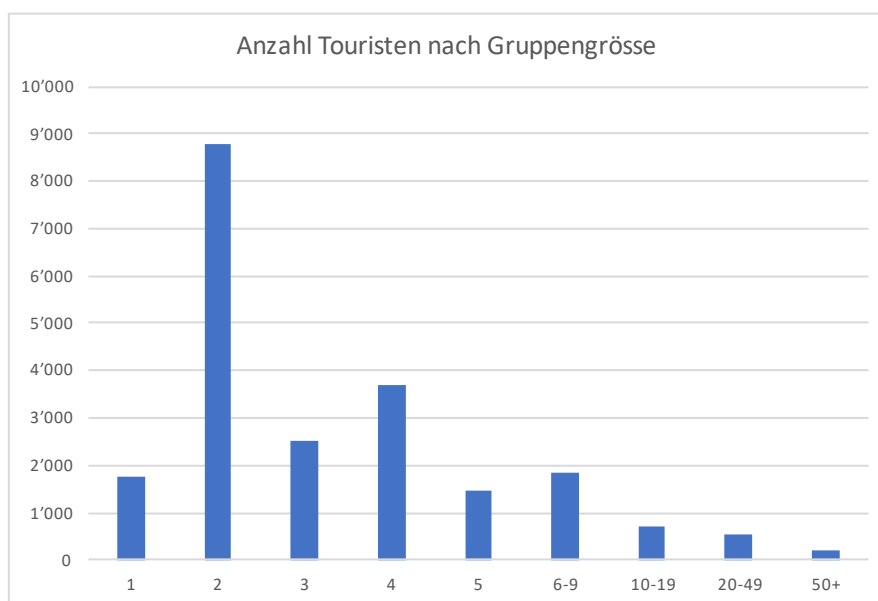


Abb. 4-5 Anzahl Touristen nach Gruppengröße, eigene Grafik mit Daten von (Schweiz Tourismus, 2018).

Laut Umfrage ist die Mehrheit der Touristen in einer Gruppe von zwei Personen unterwegs, gefolgt von Gruppen mit drei bis vier Personen, wie in der Abbildung ersichtlich. Damit wird nun berechnet wie viele Personen zusammen in einem Auto anreisen. Dazu ist in Tab. 4-3 aufgeführt, welche Annahmen getroffen werden. Einerseits wird davon ausgegangen, dass je größer die Gruppe ist, desto wahrscheinlicher ist es, dass öffentliche Verkehrsmittel oder Busse anstelle von PKWs benutzt werden (siehe vierte Spalte). Zusammen addiert ergibt das 12'281 Touristen, die mit einem PKW unterwegs sind (fünfte Spalte), was einen Anteil von 57.1 % aller Touristen ausmacht. Das wiederum entspricht

dem prozentualen Anteil der befragten Touristen, welche das Auto als Hauptverkehrsmittel in der Schweiz verwenden. Nun wird pro Gruppengröße ein Besetzungsgrad angenommen, welcher jeweils kleiner ist als die Anzahl Personen pro Gruppe, da angenommen wird, dass nicht alle gemeinsam im selben Fahrzeug anreisen. Bei Gruppen von sechs bis neun Personen und größeren Gruppen, wird ein Durchschnitt von 3.5 Personen pro Fahrzeug angenommen. Gruppen bis vier Personen haben den größten Einfluss auf den Besetzungsgrad. Nach zeilenweiser Multiplikation der letzten beiden Spalten und Addition der jeweiligen Produkte, ergibt das einen gewichteten Besetzungsgrad von 2.46. Dieser Wert ist deutlich höher als die durchschnittlichen Besetzungsgrade der zuvor erwähnten Studie, die jedoch keine Auswertungen für Reisen mit Übernachtungen enthält.

Tab. 4-3 Berechnung der ϕ -Gruppengröße pro PKW (Besetzungsgrad), anhand einer Umfrage mit 21'501 teilnehmenden Touristen von Tourismus Monitor Schweiz 2017 (Schweiz Tourismus, 2018).

Gruppen- größe	Anteil aller Touristen, in %	Anzahl Touristen	Davon mit PKW unterwegs, Annahme in %	Davon mit PKW unterwegs, Annahme Anzahl Touristen	Anteil aller Touristen, die mit PKW unterwegs sind, in %	Besetzungsgrad (Annahme Personen/PKW)
1	8.1	1'742	65	1'132	9.2	1.0
2	40.9	8'794	65	5'716	46.5	1.9
3	11.7	2'516	65	1'635	13.3	2.8
4	17.2	3'698	62	2'293	18.7	3.5
5	6.9	1'484	45	668	5.4	4.0
6-9	8.5	1'828	35	640	5.2	3.5
10-19	3.3	710	20	142	1.2	3.5
20-49	2.6	559	10	56	0.5	3.5
50+	0.9	194	0	0	0.0	-
		n=21'501	57.12 %	12'281	(Σ = 100 %)	2.46

In einer Studie über die Kohlenstoffintensität des Tourismus in Österreich wird ein Besetzungsgrad von 2.5 verwendet und es wird ebenfalls erwähnt, dass bei längeren Fahrten die Besetzungsgrade wesentlich höher anzunehmen sind, als bei der alltäglichen Nutzung von Fahrzeugen (Neger et al., 2021). In einer isländischen Studie wird die Zählung der Besucher eines Reiseziels mit Hilfe eines Fahrzeugzählers und Radars beschrieben, wobei von einer durchschnittlichen Belegung der Privatfahrzeuge mit 2.6 Personen gesprochen wird. Diese Zahl basiert auf der Zählung der Fahrgäste von 952 Fahrzeugen, während den Sommern 2009-2013 in Skaftafell, im Vatnajökull-Nationalpark (Thórhallsdóttir et al., 2021). Anhand dieser Studien und bei Betrachtung der erwähnten Größen der Reisegruppen, scheint der berechnete Wert von 2.46 nachvollziehbar und wird daher in den Szenarien verwendet.

4.2.4. Zurückgelegte Strecken

Im folgenden Kapitel wird untersucht, welche Strecke durchschnittlich von Hotelgästen zurückgelegt wird, bei Aufenthalten im Kanton Graubünden. Dazu werden die An- und Abreise, sowie täglich zurückgelegte Distanzen berücksichtigt. Es werden unter anderem Schweizer Reisedaten und spezifische geografische Besonderheiten des Kantons berücksichtigt. Als Ausgangslage werden in dieser Studie primär Verkehrsdaten vor der COVID-19 Pandemie verwendet.

Durchschnittliche Reisedistanzen Schweiz

Laut dem aktuellen „Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015“ legt jede Schweizerin und jeder Schweizer täglich fast 37 Kilometer innerhalb der Schweiz zurück (BFS, 2017). Dies umfasst verschiedene Transportmittel und Verkehrszwecke. Der Freizeitverkehr ist geprägt vom Langsamverkehr (Fahrrad, Gehen, usw.) mit über 50 %, während das Privatauto je nach Wochentag nur für ca. 34-37 % der zurückgelegten Etappen (Wegabschnitte) verwendet wird. Mit 23.8 km von 36.8 km, wird das Auto für 65 % der täglich zurückgelegten Distanzen verwendet. Betrachtet man Tagesreisen, welche von der Schweiz aus im Inland oder ins Ausland erfolgen, wird durchschnittlich eine Distanz von 130 km zurückgelegt. Nur knapp ein Zehntel von diesen Reisen, 1.2 Tagesreisen pro Person, führen ins Ausland. Allerdings sind die Auslandsreisen mit durchschnittlich 283 km deutlich länger, als die 11.3 Inlandreisen pro Person mit 113 km (Hin- und Rückweg, sowie Distanzen vor Ort). Eine Tagesreise bedeutet, dass jemand sein übliches Umfeld für mindestens drei Stunden verlässt, ohne auswärts zu übernachten. Betrachtet man Reisen mit Übernachtungen, lag 2015 die durchschnittliche Distanz von Inlandreisen bei 282 km und von Auslandsreisen bei 3'885 km (Hinreise, Rückreise und Distanzen vor Ort). Die Auslandsreisen sind besonders aufgrund von Flugreisen deutlich länger, die 78 % der Gesamtdistanzen ausmachen. Für die Betrachtung des Tourismus im Kanton Graubünden dienen besonders die Inlandreisen mit Übernachtungen als gute Referenz (BFS, 2017).

Im Jahr 2015 betrug in der Schweiz die durchschnittliche Aufenthaltsdauer in den Hotels und Kurbetrieben 2.04 Nächte pro Person. Ausländische Gäste verweilen mit 2.10 Nächten im Durchschnitt etwas länger als Schweizer Gäste mit 1.98 Nächten. Von allen Tourismusregionen verzeichnete Graubünden mit 2.84 Nächten die längste durchschnittliche Aufenthaltsdauer, gemäß der Schweizer Tourismusstatistik 2015 (BFS, 2016). Seit 2005 hat die Aufenthaltsdauer schweizweit und in Graubünden tendenziell abgenommen, ist aber in den Jahren 2020 und 2021 wieder leicht höher ausgefallen. Der Anstieg kann vor allem mit dem Rückgang der Auslandsreisen angesichts der pandemiebedingten Maßnahmen assoziiert werden, weshalb die Schweizerinnen und Schweizer wieder längere Ferien im Inland buchen (BFS, 2022b).

Schweizweit führt die durchschnittliche Distanz von 282 km pro Inlandreise mit Übernachtungen, geteilt durch 2.04 Nächte, zu einer durchschnittlichen Reisedistanz von 138.24 km / Übernachtung, pro Person. Für den Kanton Graubünden ist einerseits die mittlere Aufenthaltsdauer länger und es kann auch von längeren Reisedistanzen ausgegangen werden, weshalb im folgenden Abschnitt die Erreichbarkeit von Graubünden genauer untersucht wird.

Geostrategische Lage und Anfahrt mit dem Auto nach Graubünden

Nun wird das Einzugsgebiet von Graubünden betrachtet und in seinem Wettbewerbskontext untersucht. Allgemein, wird ein Großteil der Reisen im eigenen Land oder in Nachbarländern unternommen. Dies spiegelt sich auch im Gästeaufkommen Graubündens wieder. In Abb. 4-6 illustriert das Wirtschaftsforum Graubünden, dass in Graubünden mehr als 70 % der Ankünfte auf Gäste zurückzuführen sind, welche mit einer Autofahrt von weniger als drei Stunden anreisen können. Weniger als 15 % der Gäste reisen mit Distanzen von mehr als sieben Stunden im Auto oder per Flugzeug an (Plaz & Schmid, 2015). Die Legende der Abbildung listet die Einwohner der verschiedenen Zonen und die prozentualen Ankünfte in Graubünden nach Ländern auf.

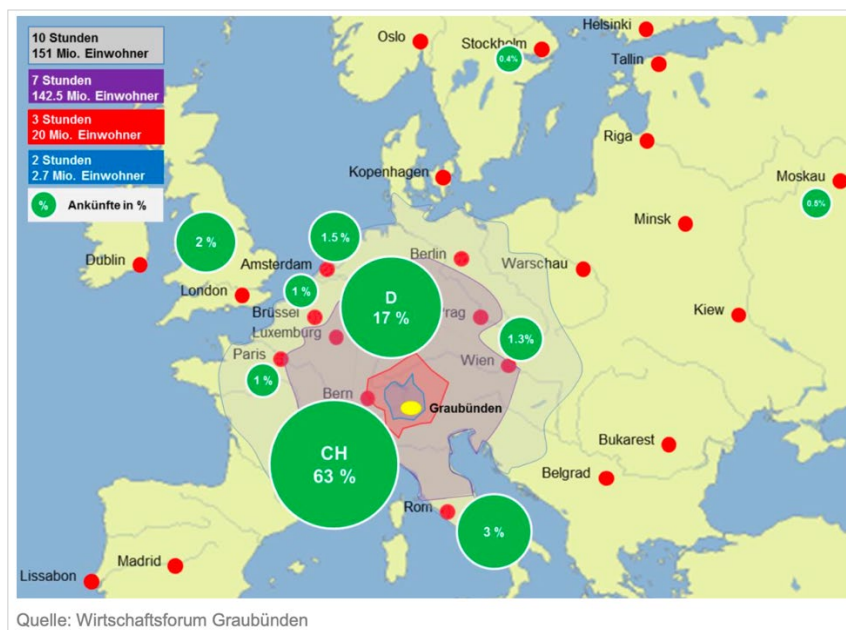


Abb. 4-6 Herkunft der Hotelgäste (Plaz & Schmid, 2015).

Der Tourismusort Graubünden liegt zwischen München, Zürich und Mailand. Im Einzugsgebiet Graubündens für Tagesausflüge und Kurzaufenthalte (unter 3 h Autofahrt), leben um die 20 Mio. Menschen, welche im gesamteuropäischen Vergleich über eine hohe Kaufkraft verfügen. Es wird geschätzt, dass Graubünden für kürzere Aufenthalte in den Alpen, bei den Bewohnern aus der Deutschschweiz und aus Baden-Württemberg, hauptsächlich nur mit anderen Schweizer Alpendestinationen im Wettbewerb steht, da die Anreisedauer stärker gewichtet wird als der Preisvorteil im Ausland. Dagegen wägen potentielle Gäste aus Bayern oder Norditalien einen Kurzaufenthalt in Graubünden immer gegen einen Besuch im näher gelegenen Tirol ab. Was den ÖV betrifft, verfügt Graubünden über keine direkte Anbindung an das europäische Schnellbahnschienennetz. Trotzdem ist die Verbindung aus dem Nordwesten via Basel-Zürich-Sargans sehr gut gewährleistet. Aus dem Nordosten und dem Süden hingegen müssen die Gäste mit markanten Umwegen über andere Alpendestinationen (Tirol, Wallis, Zentralschweiz) anreisen (Plaz & Schmid, 2015).

Nach einer Umfrage des Deutschen Alpenvereins (DAV) reisen über 71 % der Deutschen Urlauber mit dem PKW in die Alpen, nur 17 % nutzen öffentliche Verkehrsmittel. Hauptgründe dafür sind nach Ansicht der befragten Bergsportler mangelnde Mobilität vor Ort, ungenügende Erreichbarkeit der oft abgelegenen Bergregionen und die fehlende Unabhängigkeit bei einer Anreise mit der Deutschen Bahn. Für An- und Abreise zusammen beträgt die mittlere Distanz laut Umfrage bei Tagestouren 144 km, bei Mehrtagestouren 472 km und bei längeren Aufenthalten über 650 km (Deutscher Alpenverein, 2015).

Zum Vergleich sind nun einige beliebte Anfahrten nach Graubünden aufgeführt. Von Chur sind es 120 km nach Zürich. Weitere Städte im Umkreis von Chur sind das etwa 220 km entfernte Mailand, Feldkirch (55 km), München (275 km), Stuttgart (310 km) und schon deutlich weiter entfernt Frankfurt mit 510 km. Vom zentral gelegenen Olten im Schweizer Mittelland sind es rund 185 km und von Bern 240 km nach Chur. Von da sind es weitere 30 km nach Arosa, oder ab Landquart gute 40 km nach Davos. In die Tourismusdestination St. Moritz beträgt die Entfernung ab Chur um die 80 km, die zusätzlich zurückzulegen sind.

Betrachtet man die lokal zurückgelegten Distanzen, ist auffallend, dass die Tagesdistanz für Freizeitaktivitäten in Graubünden im Jahr 2015 mit 21.17 km markant höher war als im Jahr 2000 mit 16.04 km (BFS, 2017). Mit Blick auf das Verhalten der Bündner Hotelgäste, insbesondere die Nutzung ihres Autos, scheint dieser Anstieg jedoch nicht zutreffend zu sein. Zumindest gemäß der Umfrage zur Erfassung der Bedürfnisse der Bündner Hotellerie des *Hospitality Collaboration Lab* nutzen zwei Drittel der Gäste das Auto nach Anreise mehrheitlich nicht bis sie wieder abreisen. 30 % benutzen das Fahrzeug mehrmals für kurze Fahrten und nur 3 % nutzen das Auto während ihres Aufenthalts mindestens einmal für eine längere Strecke von mehr als 3h Fahrzeit. Die Ergebnisse stammen von 61 Hotelbetrieben (Mitglieder von HotellerieSuisse Graubünden), aus dem Sommer 2022 (Küng, 2022).

Fazit – Durchschnittliche Strecke mit PKWs

Abschließend wird nun anhand der oben genannten Umstände eine durchschnittlich Strecke abgeschätzt, welche im Personenwagen von Touristen im Kanton Graubünden zurück gelegt wird. Nach „Mobilität in Graubünden: Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015“ sind Inlandreisen mit mindestens einer Übernachtung der Bündner Bevölkerung im Vergleich zur Schweiz etwas mehr als 5 km länger (5 km bei Männern und 7 km bei Frauen). Gegenüber dem landesweiten Durchschnitt sind auch die Tagesdistanzen im Graubünden mit 43.6 km um knapp 7 km länger. Die Datenerhebung basiert auf insgesamt 1'604 in Graubünden geführten Interviews im Jahr 2015. Schweizweit wurden rund 57'000 Personen befragt (Hartmann, 2018). Es kann davon ausgegangen werden, dass zurückgelegte Verkehrswege der Schweizer und insbesondere der ausländischen Touristen für Reisen nach Graubünden deutlich über dem Durchschnitt in der Schweiz liegen. Dies liegt daran, dass z.B. für einen Wochenurlaub an einen Wintersportort oder für einen Wanderurlaub im Sommer eine längere Fahrt in Kauf genommen wird (Deutscher Alpenverein, 2015). Einmal im Hotel angekommen, scheint laut der zuvor erwähnten Umfrage des *Hospitality Collaboration Lab* das Auto jedoch nicht mehr oft gebraucht zu werden.

Wie zuvor erwähnt, können mehr als 70 % der Touristen in weniger als drei Stunden im Auto nach Graubünden anreisen. Betrachtet man die 240 km lange Strecke von Bern nach Chur, kann man mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 80 km/h von einer Fahrtdauer von ca. 3 h ausgehen. An- und Abreise sind somit schon 480 km, was laut dem deutschen Alpenverein auch der Distanz entspricht, die für Mehrtagestouren (472 km) zurückgelegt werden (Deutscher Alpenverein, 2015). Von Zürich, dem größten Ballungsraum der Schweiz, nach Chur sind es 240 km, Hin- und Rückreise. Reist man weiter, in den bekannten Tourismusort Davos, beträgt die Gesamtdistanz bereits 300 km. Für den Kanton Graubünden kann daher angenommen werden, dass die durchschnittliche Distanz für Inlandreisen mit Übernachtungen (Hinreise, Rückreise und Distanzen vor Ort) höher eingestuft werden kann, als der Schweizer Durchschnitt von 282 km (BFS, 2017). Für die Szenarien in dieser Untersuchung wird ein mittlerer Wert von 350 km pro Reise angenommen, berechnet aus dem Mittelwert der Distanzen: Bern-Chur, Zürich-Davos und einer durchschnittlichen Schweizer Inlandreise mit Übernachtung. Die durchschnittliche Aufenthaltsdauer in Bündner Hotels lässt sich anhand der jährlichen Anzahl Logiernächte dividiert durch die Anzahl Ankünfte berechnen und beträgt 2.76 Nächte, für das Jahr 2021 (BFS, 2022b). Mit der durchschnittlichen Reisedistanz von 350 km und einer Aufenthaltsdauer von 2.76 Nächten, ergibt das 126.8 km pro Übernachtung. Im Excel-Dokument „Modell_CO2_Einsparung_GR“ kann unter *Entwicklung Kanton* die Berechnung der durchschnittlichen Aufenthaltsdauer für die Jahre 2005-2021 abgerufen werden. Es zeigt sich ein linearer Abwärtstrend von 2005-2021, wonach im Jahr 2035 ein Aufenthalt nur noch 2.08 Übernachtungen dauert. Es scheint jedoch unrealistisch, dass sich dieser Trend so stark fortsetzen wird. Vor allem, weil die Aufenthaltsdauer in den Jahren 2020 und 2021 wieder zugenommen hat. Ansonsten wäre zu erwarten, dass sich die absoluten Reisedistanzen ebenfalls rückläufig entwickeln würden. Da die Hin- und Rückreise den wesentlichen Anteil ausmachen, müssten somit nähere Reisedestinationen ausgewählt werden. Die zurückgelegte Strecke pro Übernachtung wäre damit wieder ähnlich wie bisher. Das Verhältnis zwischen der gesamten Reisedistanz und der durchschnittlichen Übernachtungsdauer im Kanton wird bis im Jahr 2035 als konstant angenommen. Somit wird auch die Strecke pro Übernachtung mit 126.8 km als konstant angenommen.

4.3. Fortschritt der Fahrzeugantriebe

Im folgenden Kapitel werden die Szenario-Einflussfaktoren der Fahrzeuge analysiert. Es werden zum einen die Emissionen durch die aufgewendete Primärenergie untersucht, auch bekannt als Well-to-Tank Emissionen oder Primäremissionen. Andererseits werden auch die direkt emittierten Emissionen (Tank-to-Wheel Emissionen) detailliert analysiert. Zudem wird anhand des Kraftstoffverbrauchs untersucht, wie effizient die verschiedenen Antriebsarten der Fahrzeuge sind. Das Kapitel 4.3 ist unterteilt in: Elektrofahrzeuge (EV), Verbrennungsfahrzeuge (ICE) und Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEV). Zuerst wird das allgemeine Vorgehen bei der Untersuchung beschrieben, sowie die Energieetikette, welche die Fahrzeugeffizienz deklariert. Es wird darauf hingewiesen, dass mit Treibstoff und Kraftstoff dasselbe angesprochen wird. Im Zusammenhang mit Elektrofahrzeugen beziehen sich viele Studien auf den Kraftstoffverbrauch, womit der Stromverbrauch gemeint ist.

Umweltbelastung durch Verwendung der Fahrzeuge - Erläuterung zur Untersuchung

Bei benzinbetriebenen Fahrzeugen werden die Emissionen durch die Tankstelleninfrastruktur und Treibstoffbereitstellung (z.B. Treibstofftransport mit Lkws) für Treibstoffe in gleicher Weise berücksichtigt, wie sie für die Energieetikette für Personenwagen bilanziert werden. Bei der Treibstoffbereitstellung wird dazu der Primärenergieaufwand berücksichtigt, der an der Tankstelle, bei der Feinverteilung, der Raffinerie/Aufbereitung, der Förderung/Produktion und beim Ferntransport anfällt. Daraus können die Well-to-Tank Emissionen bestimmt werden. Zudem werden die Treibhausgase aus der Verbrennung des Treibstoffs berücksichtigt. Diese direkten CO₂-Emissionen, die bei der Verbrennung der Treibstoffe im Fahrzeug entstehen, werden dabei separat ausgewiesen. Für die Berechnung der Effizienzkategorien werden die Fahrzeuge schließlich anhand der gesamten Wirkungskette, d.h. von der Energiequelle bis zum Rad (Well-to-Wheel) bewertet (Frischknecht, 2022).

Die durchschnittlichen Emissionswerte aus der Produktion der E-Fahrzeuge und der konventionellen Fahrzeuge könnten auch auf die Anzahl der über die gesamte Lebensdauer der Fahrzeuge gefahrenen Kilometer angerechnet werden. Dies wird in LCA-Studien durchgeführt, wäre allerdings für die vorliegende Studie zu umfangreich. Ziel der Vergleiche der Umweltbelastungen von den verschiedenen Fahrzeugantrieben ist es, das lokale, kraftstoffbezogene CO₂-Einsparpotential durch den Umstieg von einem konventionellen Fahrzeug auf ein Elektrofahrzeug aufzuzeigen. Emissionen aus der Installation und Herstellung der E-Ladeinfrastruktur sind dabei vernachlässigbar und werden nicht berücksichtigt. Für konventionelle Fahrzeuge wird der Bau der Tankstelleninfrastruktur ebenfalls nicht berücksichtigt. Bei Elektrofahrzeugen wird anhand des Strommix definiert, welche Emissionen durch die Primärenergie entstehen, wie dies auch bei der Energieetikette erfolgt.

Energieetikette

Die Energieetikette für Personenwagen, welche die Fahrzeuge in sieben Effizienzkategorien von A (energieeffizient) bis G (vergleichsweise ineffizient) unterteilt, muss seit März 2003 bei jedem zum Verkauf angebotenen Neuwagen angebracht sein. Weiter enthält die Etikette Angaben wie Treibstoffverbrauch oder CO₂-Emissionen, die einen energie- und umweltbewussten Autokauf ermöglichen. Das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) aktualisiert und berechnet die Grundlagendaten der Energieetikette jährlich. Auch Faktoren zur Berechnung der Primärenergie-Benzinäquivalente (PE-BÄ) und der CO₂-Emissionen aus den Vorprozessen werden überprüft und an die neuen Erkenntnisse aus Wissenschaft, Industrie und internationalen Entwicklungen angepasst. Bisher erfolgte die Auslegung der Kategoriengrenzen auf Basis des jährlichen Marktangebots und bezog sich ausschließlich auf den Energieverbrauch und nicht auf andere Umweltaspekte, wie z.B. den CO₂-Ausstoss. Gemäß der Revision der Energieeffizienzverordnung (EnEV-Revision) vom 3. Juni 2022 ist die Berechnungsmethodik nun angepasst. Ab dem 1. Januar 2023 werden die Energieeffizienzkategorien neu auf Basis des Zielwerts der CO₂-Emissionsvorschriften festgelegt. Als Berechnungsgrundlage der Energieeffizienzkategorien werden weiterhin Primärenergie-Benzinäquivalente verwendet, welche der einheitlichen Erfassung

des Energieverbrauchs verschiedener Antriebstechnologien dienen (BFE, 2022b). In den folgenden Abschnitten 4.3.1 und 4.3.2, wird pro Antriebsart kurz auf die Energieetikette eingegangen.

4.3.1. Elektrofahrzeuge (EV)

Für Elektrofahrzeuge wird auf die Emissionen durch den Schweizer Strommix (Stromherstellung und Bereitstellung) eingegangen. Da es mehrere Unterscheidungen und Definitionen von Strommixarten gibt, werden die Unterschiede beschrieben und es wird erklärt, welcher Strommix für die Bilanzierung der Emissionen von Elektrofahrzeugen zu verwenden ist. Zudem werden die Ladeeffizienz und der Kraftstoffverbrauch besprochen.

Emissionen durch Strommix in g CO₂-eq/kWh

In der Untersuchung „Umweltbilanz Strommixe Schweiz 2018“ vom Unternehmen *treeze Ltd.* im Auftrag des BAFU ist detailliert beschrieben, wie die verschiedenen Strommixarten, respektive Bezeichnungen der Stromprodukte, definiert werden. Bisher wurde empfohlen für den durchschnittlichen Strom ab Schweizer Steckdose den *Verbraucher-Strommix basierend auf Produktion und kommerziellem Handel* zu verwenden. Für die Energieetikette der Personenwagen wurde bisher der *Schweizer Lieferanten-Strommix basierend auf Herkunftsnachweis (HKN)* verwendet. Für die Bilanzierung von unspezifischen Stromprodukten aus erneuerbarer Energiebereitstellung ist das durchschnittliche *Schweizer Stromprodukt aus erneuerbaren Energien* die richtige Wahl. So kann beispielsweise die Umweltbelastung der Nutzung eines Elektrofahrzeugs, welches mit erneuerbarem Strom betrieben wird, bilanziert werden (Krebs & Frischknecht, 2021).

Die THG-Emissionen pro kWh gelieferter Strom an eine Niederspannungs-Steckdose unterscheiden sich stark, je nach Schweizer Strommix. Die THG-Emissionen für das *Stromprodukt aus erneuerbaren Energien* sind mit 15.7 g CO₂-eq/kWh am tiefsten. Der *Schweizer Produktionsmix* ist mit 29.6 g CO₂-eq/kWh ebenfalls sehr umweltschonend. Die Treibhausgasemissionen durch den *Schweizer Lieferanten-Strommix basierend auf Herkunftsnachweis* sind mit 54.7 g CO₂-eq/kWh merklich höher. Die erhöhten Emissionen des HKN-Lieferanten-Strommix stammen hauptsächlich aus dem Import von Strom unbekannter Herkunft (31.8 %), auch als Schweizer Residualmix bezeichnet, und aus den bekannten Importen aus fossil-thermischen Kraftwerken, welche 28 % der zusätzlichen Emissionen ausmachen. Zudem wird neu der *Verbraucher-Strommix basierend auf Produktion und kommerziellem Handel* ermittelt. Die spezifischen THG-Emissionen liegen für das Jahr 2018 mit 128 g CO₂-eq/kWh somit rund 130 % höher als diejenigen durch den *Schweizer Lieferanten-Strommix basierend auf HKN*. Dieser neue Verbraucher-Strommix repräsentiert den Technologiemarkt der Produktion der Strommengen, die von Schweizer Stromversorgungsunternehmen und Unternehmen mit Zugang zum liberalisierten Strommarkt im entsprechenden Jahr eingekauft werden. Von 2009 bis 2018 sind keine markanten Änderungen der Emissionen beim *Schweizer Produktionsmix* und dem *Stromprodukt aus erneuerbaren Energien* feststellbar. Beim Lieferanten-Strommix (HKN) liegen größere Unterschiede vor. So gibt es z.B. Änderungen bei der Bilanzierung von Strom aus unbekannter Herkunft, durch den Wechsel vom europäischen Residualmix zum Schweizer Residualmix. Die THG-Emissionen werden

dadurch nicht mehr stark vom Anteil des Stroms aus nicht überprüfbaren Energieträgern geprägt, der mit der Einführung der Volldeklaration seit 2021 wegfällt (Krebs & Frischknecht, 2021).

Nach der Medienmitteilung vom Bundesamt für Energie „Anpassung der Energieetikette für Neuwagen ab 1. Januar 2023“ wird nun vom bisher verwendeten *Schweizer Lieferantenstrommix basierend auf Herkunftsnachweisen* per 1. Januar 2023 auf den zuvor genannten *Verbraucher-Strommix* umgestellt. Der *Verbraucher-Strommix* bildet den in der Schweiz verkauften Strom ab und basiert auf der inländischen Produktion und dem Handel mit dem Ausland. So wird die Qualität des effektiv verbrauchten Stroms besser abgebildet (BFE, 2022b). Die spezifischen THG-Emissionen des Schweizer *Verbraucher-Strommix*, basierend auf Produktion und kommerziellem Handel im Jahr 2020, betragen insgesamt 108 g CO₂-eq/kWh und liegen damit rund 270 % höher (Faktor 3.7) als diejenigen des Schweizer Lieferantenstrommix, basierend auf Herkunftsnachweisen 2020 (29.3 g CO₂-eq/kWh). Bilanziert werden davon nur die fossilen CO₂-Emissionen, welche für das Jahr 2022 ab einer Niederspannungssteckdose 94.3 g CO₂-eq/kWh betragen, auf Berechnungsbasis des Verbraucher-Strommix 2020. Der HKN-Lieferantenstrommix 2020 verursacht fossile CO₂-Emissionen von 22.5 g CO₂-eq/kWh (Frischknecht, 2022).

Für die Berechnung der PE-BÄ-Werte der Treibstoff- und Strombereitstellung für die Energieetikette, wird der Energieverbrauch von der Energiequelle (z.B. Rohölförderung, Strom aus Wasserkraft, Erdgas, Uran, Holz etc.), über die Veredelung, bis zum Tank bilanziert (Well-to-Tank). Ab 2023 liegt das PE-BÄ des Stroms bei 0.22 L/kWh. Die CO₂-Emissionen der Treibstoff- und Strombereitstellung werden mit dem gleichen Ansatz berechnet und müssen auch angegeben werden (BFE, 2022c). Die CO₂-Emissionen, die durch die Verbrennung der Treibstoffe beim Betrieb der PKWs entstehen, werden separat deklariert. Zur Berechnung der Effizienzkategorien werden die Fahrzeuge anhand der gesamten Wirkungskette von der Energiequelle bis zum Rad (Well-to-Wheel) bewertet (Frischknecht, 2022).

Bei der Ökobilanz der Schweizer Strombereitstellung wird Bau, Betrieb, Rückbau und Entsorgung der Kraftwerke inklusive der Materialherstellung berücksichtigt. Auch die Bereitstellung und Entsorgung der Brennstoffe, inklusive Gewinnung und Abbau, sowie der Transport zu den Kraftwerken wird einbezogen. Der Bau der Stromnetzinfrastruktur und die bei der Übertragung und Verteilung auftretenden Stromverluste werden bis zur Niederspannungssteckdose angerechnet. Der in der Energieetikette für Personenwagen neu verwendete *Schweizer Verbraucherstrommix* repräsentiert die jährlich an Schweizer Endkunden gelieferte Elektrizität (Frischknecht, 2022). Er entspricht dem Standardstrommix der Schweiz, der gemäß Bilanzierungsregeln der Koordinationskonferenz Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren (KBOB) in Ökobilanzen einzusetzen ist (KBOB et al., 2021). Die Zielsetzung der KBOB ist Ressourcen zu sparen und die Qualität zu steigern. Als Koordinationsgremium der Bauorgane des Bundes ist die KBOB für Angelegenheiten im Zusammenhang mit Ausschreibungen, Teuerungsabgeltungen auf Bauleistungen sowie Architekten- und Ingenieurhonorare verantwortlich (KBOB, 2022).

Veränderungen Strommix-Emissionen in Europa bis 2035

Im folgenden Abschnitt werden mögliche Veränderungen der Strombereitstellung bis ins Jahr 2035 untersucht. Die Studie „Intensität der Treibhausgasemissionen bei der Stromerzeugung in Europa“ der European Environment Agency (EEA) beschreibt die bisherige Entwicklung der Stromerzeugung und die erwarteten zukünftigen Werte der Treibhausgasemissionen (EEA, 2022). Die Intensität der THG-Emissionen bei der Stromerzeugung in der EU nimmt weiter ab. Die Erzeugung von einer Kilowattstunde im Jahr 2020 erzeugte im Durchschnitt ein Drittel weniger CO₂-Emissionen als noch vor zehn Jahren. Politische Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels, zur effizienten und erneuerbaren Energieversorgung und -nutzung haben diesen Wandel, hin zu einer weniger kohlenstoffintensiven Energieversorgung, wesentlich vorangetrieben. Auch die COVID-19 Pandemie führte zu einem Rückgang des Stromverbrauchs im Jahr 2020, während die Zunahme der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen zu einem weiteren Rückgang der Treibhausgasintensität der Stromerzeugung führte. Jüngsten Szenarien zufolge soll der EU-Stromsektor bis 2030 einen der wichtigsten Beiträge zum Klimaschutz leisten und ein Eckpfeiler für die EU sein, um bis 2050 die Nettoklimaneutralität zu erreichen. Dazu muss die Intensität der THG-Emissionen des Sektors in diesem Jahrzehnt massiv sinken. Sollte sich der derzeit beobachtete Trend fortsetzen, könnte die Stromerzeugung in der EU bis etwa 2050 vollständig dekarbonisiert werden. Obwohl ein solcher Rückgang mit dem Ziel der EU vereinbar wäre, die Netto-THG-Emissionen bis 2030 um 55 % gegenüber 1990 zu reduzieren und 2050 Kohlenstoffneutralität zu erreichen, erfordert die heutige geopolitische Realität eine noch schnellere Dekarbonisierung, um Gas in der Stromerzeugung, Heizung und Industrie zu ersetzen. Deshalb sind zusätzliche politische Strategien und Maßnahmen erforderlich um Energie zu sparen, die Ressourceneffizienz deutlich zu verbessern, die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen zu verstärken und die optimierte und sichere Nutzung der Strominfrastruktur und -märkte in der gesamten EU zu gewährleisten (EEA, 2022).

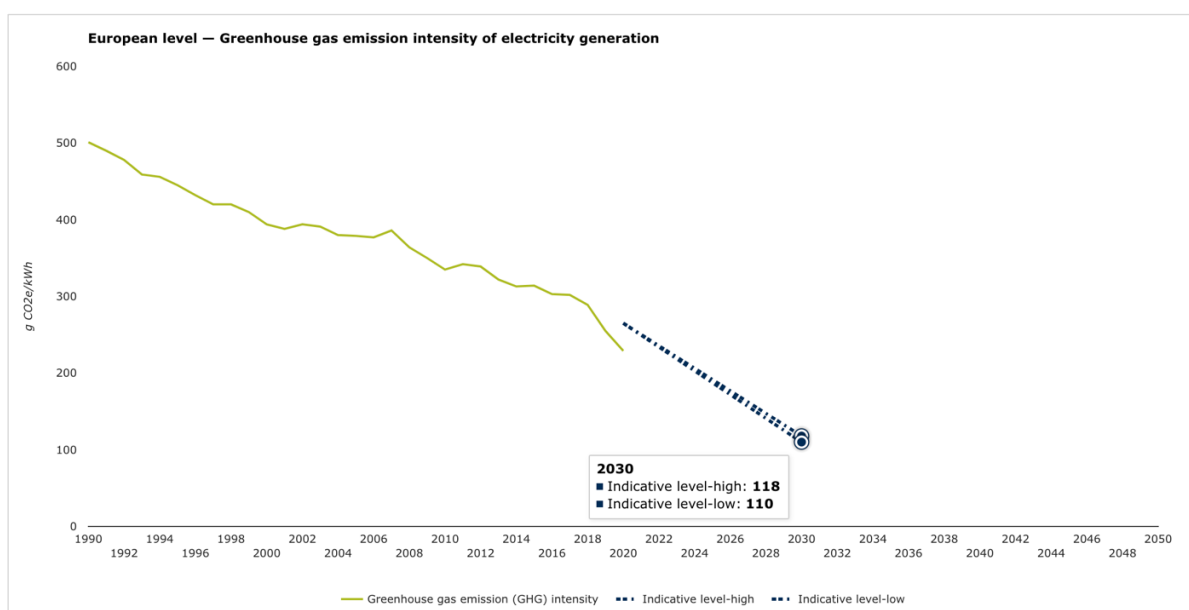


Abb. 4-7 Intensität der Treibhausgasemissionen bei der Stromerzeugung (EEA, 2022).

Die Zielvorgaben (siehe Abb. 4-7, Indicative levels) für den Zeitraum 2020-2030 stellen Richtwerte für die Intensität dar, die es der EU ermöglichen würden, bis 2030 eine Netto­reduktion der Treibhausgase um 55 % im Vergleich zu 1990 zu erreichen. Sie stehen im Einklang mit den Szenarien im Arbeitspapier der Kommissionsdienststellen, die das Maßnahmenpaket „Fit for 55“ begleiten. Die Treibhausgasemissionsintensität (g CO₂-eq/kWh) der Stromerzeugung wird unter Berücksichtigung der Stromerzeugung von Haupterzeugern und Eigenerzeugern, einschließlich Strom aus Kernkraftwerken und erneuerbaren Energiequellen, berechnet. Für die Haupterzeuger werden die Emissionen nur aus der Stromerzeugung, das heißt ohne Emissionen aus allfälliger gekoppelter Wärme­erzeugung, berechnet (EEA, 2022). Bis 2030 wird eine Intensität der THG-Emissionen von 110-118 g CO₂-eq/kWh erwartet. Aufgrund der besonderen Situation durch COVID-19 konnte bereits ein Wert von 229 g CO₂-eq/kWh erzielt werden, bei einer Vorgabe von 265 g CO₂-eq/kWh. Ermöglicht wurde das, durch einen größeren Anteil der erneuerbaren Energie an der kleineren als üblich anfallenden Gesamtstromerzeugung.

Wie zuvor bereits thematisiert, sind in der Schweiz die anfallenden Emissionen tiefer. Aber auch die Schweiz beabsichtigt eine weitere Reduktion der anfallenden Emissionen. Bei der Wasserkraft kann davon ausgegangen werden, dass die spezifischen CO₂-Emissionen, aktuell zwischen 11-20 g CO₂-eq/kWh, im nächsten Jahrzehnt konstant bleiben werden. Die gleiche Annahme gilt für die restlichen Kernkraftwerke, mit rund 24 g CO₂-eq/kWh (VSE, 2012). Bei der Windenergie wird von einer Abnahme ausgegangen, von ca. 24 g zu einem ähnlichen Emissionswert von 10 g CO₂-eq/kWh. Auch bei der Stromerzeugung aus Biomasse in Wärme-Kraft-Kopplung-Anlagen werden Fortschritte erwartet. Bei der Photovoltaik wird erwartet, dass durch reduzierte Materialumsätze und verbesserte Fertigung die etwas höheren CO₂-Emissionen von 40-100 g CO₂-eq/kWh auf 10-20 g CO₂-eq/kWh sinken. Bei Gaskraftwerken, welche temporäre Engpässe bei der Produktionskapazität ausgleichen sollen, sind Emissionen von 50 g CO₂-eq/kWh möglich, wenn eine CO₂-Abscheidung und Speicherung eingerichtet wird (Andersson et al., 2011). Andernfalls sind die Emissionen bei Gaskraftwerken deutlich höher und liegen über 400 g CO₂-eq/kWh (VSE, 2012).

Nach dem Bericht „Wege in die neue Stromzukunft“ des Verbands Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE) führt der Ausstieg aus der Kernenergie in der Mehrheit ihrer Szenarien zu einem Konflikt mit der Klimapolitik. Sofern keine radikale Stromeffizienzpolitik erfolgreich umgesetzt und die Erzeugung aus erneuerbaren Energien nicht massiv ausgebaut wird, ist für den Ersatz der bestehenden Kernkraftwerke im Inland der Bau von Gaskombikraftwerken notwendig. In den VSE-Szenarien 1 und 2 führt dies zu einer starken CO₂-Belastung des Schweizer Stroms von bis zu 7.8 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr. Diese Zunahme würde bis 2050 aufgrund des dann rückläufigen Anteils an gasbasierter Stromerzeugung wieder sinken. Nur im VSE-Szenario 3 wird im Jahr 2035 mit einem Wert von 1.7 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr gerechnet, was etwa den Emissionen des Stromsektors von 2012 von rund 1.8 Mio. t CO₂ entspricht (VSE, 2012). Eine aktuelle Medienmitteilung des Bundesrats zur Versorgungssicherheit für den Winter 2022/23 bestätigt die VSE-Szenarien. Laut der Mitteilung empfiehlt die Eidgenössische Elektrizitätskommission (ElCom) mit dem „Konzept für

Gaskraftwerke zur Abdeckung von Spitzenlasten“ den Bau von zwei bis drei Gaskraftwerken mit einer Gesamtleistung bis zu 1000 Megawatt bis 2025. Diese sollen die Wasserkraftreserve ergänzen (Der Bundesrat, 2022). Laut den *Energieperspektiven 2050+* vom BFE wird die Stromnachfrage in der Schweiz gemäß den meisten Szenarien weiter ansteigen. Nach dem Szenario *ZERO Basis*, mit Fokus auf mehr erneuerbare Energien, wird der Gesamtverbrauch 2035 rund 67.4 TWh sein, laut dem Szenario *Weiter Wie Bisher* wären es 66.3 TWh. Im Jahr 2019 wurden 61.5 TWh verbraucht (BFE, 2020).

Nach den zuvor erwähnten Einflüssen lässt sich kein klarer Trend bei den Emissionen des Schweizer Strommix erkennen und es ist davon auszugehen, dass die Emissionen des *Schweizer Verbraucherstrommix* bis 2035 nicht wesentlich abnehmen werden. Im Vergleich zum zuvor genannten EU-Strommix, ist der Schweizer Strommix bereits heute deutlich emissionsärmer. Im Falle einer Stromknappheit wäre aufgrund von mehr fossilen Stromimporten eine Steigerung der aktuellen THG-Emissionen in der Schweiz denkbar. Auch die aktuellen Ereignisse im Ukraine-Russland-Konflikt, dürften die Energieversorgung weiterhin stark beeinflussen. In dieser Studie wird aufgrund dieser Unsicherheiten von einer konstanten Entwicklung ausgegangen und es wird der für 2023 definierte *Schweizer Verbraucher-Strommix* mit THG-Emissionen von 94.30 g CO₂-eq/kWh verwendet.

Ladeeffizienz und -verluste

In diesem Abschnitt wird diskutiert, welche Verluste beim Laden der Elektrofahrzeuge anfallen. Es fallen immer zusätzliche Ladeverluste an, die nie vollständig verhindert werden können. In der Studie „Real-world study for the optimal charging of electric vehicles“ wurden die Verluste beim Laden anhand verschiedener Ladezustände (State of Charge, SoC) untersucht. Die durchschnittlichen Energieverluste für den getesteten SoC-Bereich von 20-100 %, betragen 13.53 %. Konkret bedeutet dies, dass beim Laden der Batterie von 20 auf 100 % Verluste von 13.53 % auftreten. Auffallend ist, dass während dem Laden über den SoC-Bereich von 80 % hinaus, die Verluste 20 % übersteigen und fast doppelt so hoch sind, wie beim Laden des Fahrzeugs innerhalb des vorgeschlagenen SoC-Bereichs von 20-80 %. In diesem Bereich sind die Verlusten nur ca. 11 % (Kostopoulos et al., 2020). Die Batterieverluste sind auf eine Vielzahl von Faktoren zurückzuführen. Vereinfachend gehören dazu die Umwandlung der elektrischen Leistung von der Wechselstromversorgung in die Li-Ionen-Gleichstrombatterie, bei der die Verluste bei einer Wechselstromleistung von 11 kW bis zu 5 % betragen können (Apostolaki-Iosifidou et al., 2017). Die Verluste entstehen in der Verkabelung, durch verschiedene unerwünschte interne elektrochemische Reaktionen, den unzureichenden Betrieb des Batterie Management Systems (BMS) und durch die Erwärmung der Zellen aufgrund des Innenwiderstands (Lu et al., 2013).

Im Bericht „Measurement of power loss during electric vehicle charging and discharging“ wird gezeigt, wie stark sich die Verluste beim Laden bei unterschiedlichen Stromstärken und Spannungen unterscheiden. Bei 240 Volt (V) und 10 Ampere (A) Wechselstrom (AC) sind die Gesamtverluste des Ladevorgangs 17.22 %, bei 40 A (AC) nur 12.38 %. Betrachtet man die Ursache der Verluste nach Batterie, Leistungselektronikeinheit, Versorgungseinrichtung für Elektrofahrzeuge (Komponenten des Steckers und des Kabels der Ladestation), Leitungsschutzschalter und Transformator, ist bei Strömen

von 10 A der Transformator die Hauptursache für Verluste, bei 40 A ist es die Leistungselektronik. Bei unterschiedlichen Ladespannungen ist festzustellen, dass bei höherer Spannung der Wirkungsgrad besser ist. Bei 120 V und 2.5 A ist die Ladeeffizienz nur 50 %, während bei 120 V und 8 A 80 % erreicht werden. Bei 240 V und 10 A sind die Verluste (nur Verluste im Fahrzeug) noch 6.92 % und bei 70 A nur noch 4.78 %, womit erkennbar wird, dass sowohl die Wechselspannung, wie auch der Stromfluss, einen großen Einfluss auf die Effizienz haben (Apostolaki-Iosifidou et al., 2017).

Testergebnisse vom ADAC zeigen ähnliche Resultate auf (siehe Tab. 4-4). Untersucht wurden durchschnittliche Elektrofahrzeuge bei verschiedenen Leistungen, wobei ein klarer Trend zu höherer Effizienz bei steigender Ladeleistung zu erkennen ist. Bei 150 kW Gleichstrom-Schnellladesystemen werden bereits Wirkungsgrade von 95 % erreicht, bisher üblich sind 90 %. In Zukunft werden bis zu 98 % erwartet (Chatterjee & Hermwille, 2020). Bei der 22 kW Wallbox von Eaton (3 x 400 V, 3 x 32 A, 50 Hz) wird ein Wirkungsgrad von 96 % angegeben (Eaton, 2022).

Tab. 4-4 Ladeverluste beim AC-Laden (ADAC, 2022).

Elektroauto: Ladeverluste beim AC-Laden			
	Steckdose	Wallbox	Wallbox reduziert
Fahrzeug-Typ	Leistung / Verlust	Leistung / Verlust	Leistung / Verlust
Renault Zoe	2.3 kW / 24.2 %	11 kW / 9.7 %	keine Messung
VW ID.3	2.3 kW / 13.6 %	11 kW / 9.0 %	5.5 kW / 9.2 %
Tesla Model 3	2.3 kW / 15.2 %	11 kW / 7.7 %	3.5 kW / 11.4 %
Fiat 500e	2.3 kW / 12.7 %	11 kW / 6.3 %	3.6 kW / 13.9 %

Zusammenfassend werden für den tieferen Leistungsbereich von 0-4 kW Verluste von 17 % angenommen (Ladeeffizienz von 83 %). Für 11 kW betragen die Verluste 8 % (Ladeeffizienz 92 %) und für 22 kW wird von einer Ladeeffizienz von 95 % ausgegangen. In dieser Studie wird daher für die Langsam-Ladekategorie (0-11 kW) mit einer gemittelten Ladeeffizienz von 87.5 % gerechnet, für Beschleunigt-Laden (11-22 kW) mit 93.5 %. Es wird von einer konstanten Ladeeffizienz bis 2035 ausgegangen.

Es wird außerdem darauf hingewiesen, dass die Fahrzeuge nicht immer mit angegebener Leistung, die normalerweise durch die Ladestation bereitgestellt wird, aufgeladen werden können. Es gibt limitierende Faktoren seitens der Fahrzeughersteller, der Ladekabel oder durch andere Infrastrukturnutzer, die bereits ihr Fahrzeug aufladen. Teilweise sind die Kabel oder E-Fahrzeuge nur für geringere Leistungen ausgelegt, was jedoch eher beim Schnell-Laden bemerkbar wird.

Kraftstoffverbrauch BEV (kWh/km)

Abschließend wird auf den Kraftstoffverbrauch eingegangen, der den Energieverbrauch pro gefahrenen Kilometer des Fahrzeugs angibt und somit aussagt, wie effizient ein Fahrzeug ist. In der

Schweiz beträgt der durchschnittliche Stromverbrauch von allen neuzugelassenen rein elektrisch betriebenen Fahrzeugen (BEV) im Jahr 2021 18.91 kWh/100 km. Die Entwicklungen in diesem Fahrzeugsegment sind laut BFE unter anderem auf das zurzeit schnell wachsende Fahrzeugangebot zurückzuführen (BFE, 2022a). Der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch eines mittelgroßen Elektrofahrzeugs beträgt 0.19 kWh/km (IEA, 2022c).

Gemäß einem Faktenblatt von EnergieSchweiz und dem BFE aus dem Jahr 2018 beträgt der Verbrauch für Elektrofahrzeuge 19.3 kWh/100 km, während er bis 2040 auf 15.4 kWh/100 km sinken soll (EnergieSchweiz & BFE, 2020). Für die Batteriefahrzeuge wird dabei eine durchschnittliche Batteriekapazität von 36 kWh (2018) und 55 kWh (2040) angenommen. Die Daten des Faktenblatts basieren auf Resultaten der Studie „Life cycle environmental and cost comparison of current and future passenger cars under different energy scenarios“ des Paul Scherrer Instituts, die im Rahmen des *Swiss Competence Center for Energy Research - SCCER Mobility* erarbeitet wurde (Cox et al., 2020). Aus diesen erwarteten Kraftstoffverbräuchen wird, unter der Annahme einer linearen Abnahme von jährlich 0.001895 kWh/km, ein Wert von 0.19 kWh/km für das Jahr 2021 und ein Verbrauch von 0.1635 kWh/km für das Jahr 2035 berechnet (siehe Dokument „Modell_CO2_Einsparung_GR“, Arbeitsblatt *Kennzahlen-CO2-Modell*).

4.3.2. Verbrennungsfahrzeuge (ICE)

Im Folgenden wird auf die Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren eingegangen. Zuerst werden die Emissionen der Fahrzeuge diskutiert und anschließend der Kraftstoffverbrauch der fossil betriebenen Fahrzeuge in der Schweiz. Dabei wird auch auf die Energieetikette eingegangen, die Auskunft über den Kraftstoffverbrauch und die Emissionen gibt.

Emissionen der Verbrennungsfahrzeuge

Die Emissionen von Verbrennungsfahrzeugen werden in der Schweiz ab Beginn des Jahres 2023 neu berechnet. Nach der Medienmitteilung vom Bundesamt für Energie „Anpassung der Energieetikette für Neuwagen ab 1. Januar 2023“ liegt im Jahr 2022 der aktuelle Durchschnitt der gesamten CO₂-Emissionen (Well-to-Wheel) aller Neuwagen, einschließlich Elektrofahrzeuge, bei 149 g/km. Dieser Wert wird auf Basis von WLTP-Daten berechnet, vom 1. Juni 2020 bis 31. Mai 2021. Für das Jahr 2023 wird ein neuer Wert von 129 g CO₂-eq/km (WLTP) vorgesehen, anhand der erstmalig registrierten Neuwagen vom 1. Juni 2021 bis 31. Mai 2022. Die neue Berechnungsmethodik führt einen Vergleich durch, der auf Basis des gültigen CO₂-Zielwerts beruht (gemäß Art. 17b Abs. 2 Bst. a der Verordnung über die Reduktion der CO₂-Emissionen (641.711)). Aktuell beträgt der Zielwert 118 g CO₂/km (siehe Abb. 4-8). Dieser anzustrebende Zielwert wird in Primärenergie-Benzinäquivalente umgerechnet und definiert die Kategoriengrenze zwischen Kategorie B und C. Die restlichen Kategoriengrenzen werden mittels 20 % Zu-/Abschlägen ausgerechnet (BFE, 2022b).

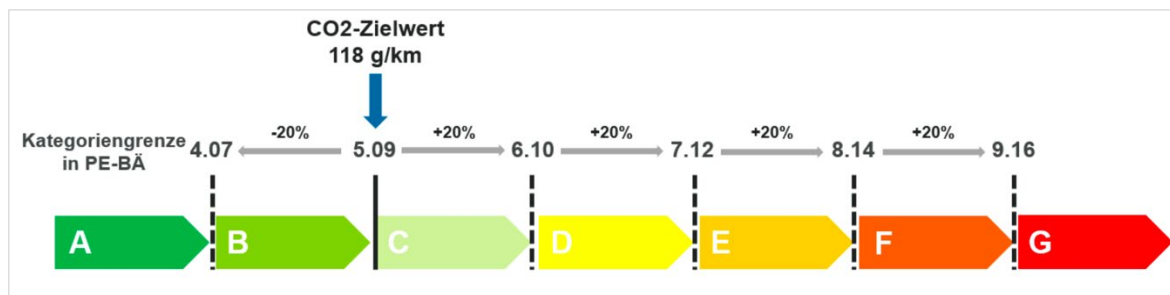


Abb. 4-8 Neue Berechnungsmethode mit CO₂-Zielwert 118 g/km (WLTP) (BFE, 2022c).

Die Anpassung der Berechnungsmethode führt zu einer ambitionierteren Einteilung in die Energieeffizienzkategorien und steht besser mit den CO₂-Emissionsvorschriften im Einklang. In Kategorie A und B werden nur tatsächlich effiziente Modelle, welche die gültigen CO₂-Zielwerte einhalten, eingestuft (BFE, 2022c).

Die Normwerte für den Treibstoffverbrauch und den g CO₂/km-Wert richten sich nach der *Verordnung (EU) 2017/1151 der Kommission vom 1. Juni 2017*. Seit September 2017 werden Fahrzeuge unter Laborbedingungen auf Rollenprüfständen im WLTP-Verfahren getestet. In der Übergangsphase bis 2021 wurden aber noch Werte gemäß des vorherigen NEFZ-Verfahren verwendet (Neuer Europäischer Fahrzyklus NEFZ, veraltetes Test-Vorgehen). 2021 betrug der durchschnittliche CO₂-Ausstoss der neuen PKWs in der Schweiz 129.8 g CO₂/km (WLTP). 2020 waren es 123.6 g CO₂/km und 2019 138.1 g CO₂/km nach NEFZ, weshalb die Werte nicht direkt vergleichbar sind mit denen für das Jahr 2021. Aufgrund der Umstellung auf das WLTP-Messverfahren liegt der Wert für 2021 höher als im Jahr 2020. Diese abgerundeten 129 g CO₂/km (WLTP), ausgewertet im Jahr 2022, werden für die kommende Energieetikette 2023 verwendet. Die nach dem WLTP-Verfahren ermittelten CO₂-Emissionen und Verbräuche sind realistischer und liegen über 20 % höher als diejenigen nach dem NEFZ-Verfahren. Daher wurde der vorherige Zielwert für neue PKWs von 95 g/km ab 2021 proportional auf 118 g/km erhöht. Ohne Berücksichtigung der Elektrofahrzeuge wäre der durchschnittliche Wert 162.3 g CO₂/km (BFE, 2022a).

Nach Bieker (2021) sinken die Emissionen pro Benzinfahrzeug in Europa bis 2030 nur gering, hauptsächlich durch die Fahrzeugherstellung. Eine wesentliche Reduktion beim Treibstoffverbrauch und bei der Treibstoffherstellung wird bis 2030 nicht erwartet. Bei den Steckerfahrzeugen wird ebenfalls eine ähnliche Reduktion der Emissionen in Bezug auf die Fahrzeugherstellung erwartet, so auch bei der separat bilanzierten Batterieherstellung. Aufgrund der Batterie sind die Emissionen bei der Fahrzeugherstellung bei Elektrofahrzeugen höher. Andererseits sind die Wartungskosten bei EVs geringer. Ohne treibstoffbezogene Emissionen, sind die CO₂-Emissionen bei Batterie-Elektrofahrzeugen um rund 6-7 g CO₂-eq/km höher (Bieker, 2021). Die Emissionen aus der Fahrzeugherstellung und Wartung sind bei Verbrennungsfahrzeugen jedoch um Faktoren geringer als die durch die Treibstoffe verursachten Emissionen und werden in dieser Untersuchung nicht weiter berücksichtigt. Für den Primärenergieaufwand von Benzin (Herstellung, Aufbereitung, Transport, usw.) wird angenommen, dass er bis 2035 konstant bleibt. Basierend auf der Umweltbilanz der Strom- und

Treibstoffbereitstellung für Personenwagen, die für die Energieetikette verwendet wird, betragen die fossilen Kohlenstoffdioxidemissionen der Bereitstellung von Benzin 527 g CO₂/L und von Diesel 508 g CO₂/L (Well-to-Tank). Bei den Berechnungen der CO₂-Emissionen werden nur die fossilen Emissionen berücksichtigt. Die erneuerbaren Emissionen, z.B. bei Energie aus Abfall, werden nicht bilanziert (Frischknecht, 2022).

Im Rechenmodell werden somit für die Jahre 2021-2035 konstante Emissionen von 527 g CO₂/L für die Treibstoffbereitstellung von Benzin angenommen. Dazu kommen die Emissionen aus der Treibstoffnutzung hinzu. Die CO₂-Emissionen aus der Treibstoffnutzung betragen 183.4 g CO₂-eq/km, bei einem Verbrauch von 7.4 L-BÄ pro 100 km im Jahr 2021 (EnergieSchweiz, 2020). In dieser Studie wird von einem konstanten Verhältnis von Treibstoffverbrauch und Emissionen aus der Verbrennung des Treibstoffs ausgegangen. Für das Jahr 2035 werden Emissionen von 131.35 g CO₂-eq/km berechnet. Die gesamten Emissionen von Verbrennungsfahrzeugen aus der Treibstoffbereitstellung und Treibstoffnutzung betragen 222.4 g CO₂-eq/km im Ausgangsjahr 2021 und noch 159.29 g CO₂-eq/km im Jahr 2035. Die vollständigen Berechnungen sind im Dokument „Modell_CO2_Einsparung_GR“ unter *Kennzahlen-CO2-Modell* zu finden.

Kraftstoffverbrauch Verbrennungsfahrzeuge (L/km)

In diesem Abschnitt wird die Entwicklung des Kraftstoffverbrauchs in der Schweiz näher untersucht. Die Neuwagen werden aufgrund des technischen Fortschritts energieeffizienter. Die durchschnittlichen CO₂-Emissionen von Neuwagen sind vom Jahr 2000 bis 2019 um rund 32 % gesunken, von 204 g/km auf 138 g/km (NEFZ-Werte). Der durchschnittliche Verbrauch aller Treibstoffe, ausgedrückt in Benzinäquivalenten (BÄ), zeigt ein ähnliches Bild mit einem Rückgang um 27 %, von 8.47 L/100 km auf 6.18 L/100 km. Der Durchschnittsverbrauch sank seit 2009 bei Benzinfahrzeugen um rund 0.6 L/100 km (minus 9 %) und auch bei Dieselfahrzeugen um etwa 0.8 L/100 km (minus 12.5 %). Im Jahr 2019 betrug der Durchschnittsverbrauch für Benzinfahrzeuge 6.39 L/100 km und für Dieselfahrzeuge 5.67 L/100 km (siehe Abb. 4-9). Sowohl der sinkende Treibstoffverbrauch als auch der geringere CO₂-Ausstoß neuer PKWs sind teilweise auf die positive Entwicklung der konventionellen Antriebstechnologien zurückzuführen. Downsizing, Turbotechnologie, Hybridisierung und weitere Entwicklungen, wie z.B. die Start-Stopp-Automatik, sind für den sinkenden Verbrauch von Benzin- und Dieselfahrzeugen verantwortlich. Ab 2017 ist eine leichte Zunahme zu beobachten, bedingt durch den steigenden Anteil von Allradfahrzeugen und den Rückgang an verkauften Dieselfahrzeugen. Außerdem ist es möglich, dass die realistischeren Messbedingungen des neuen WLTP-Verfahrens und die Rückrechnung auf NEFZ-Werte während der Übergangszeit, bei einigen Fahrzeugen zu einer leichten Erhöhung der Emissionen geführt haben. Jedenfalls hat das neue Verfahren die Realverbrauchsabweichung, die in den letzten Jahren auf über 40 % gestiegen ist, leicht reduziert (EnergieSchweiz & TCS, 2022).

Betrachtet man den gesamten Schweizer Treibstoffabsatz, macht sich seit 2009 ein leichter Rückgang bemerkbar. Bis 2008 war der Treibstoffabsatz nicht rückläufig, zum einen, weil der

Personenwagenbestand weiter zunahm, aber auch, weil der Realverbrauch oftmals signifikant von der Werksangabe abwich (EnergieSchweiz & TCS, 2022).

Im Vergleich zum weltweiten Durchschnittsverbrauch eines benzinbetriebenen Mittelklassewagens im Jahr 2020 von 6.8 L/100 km, hat der Schweizer Fahrzeugbestand einen überdurchschnittlichen Verbrauch (IEA, 2022c).

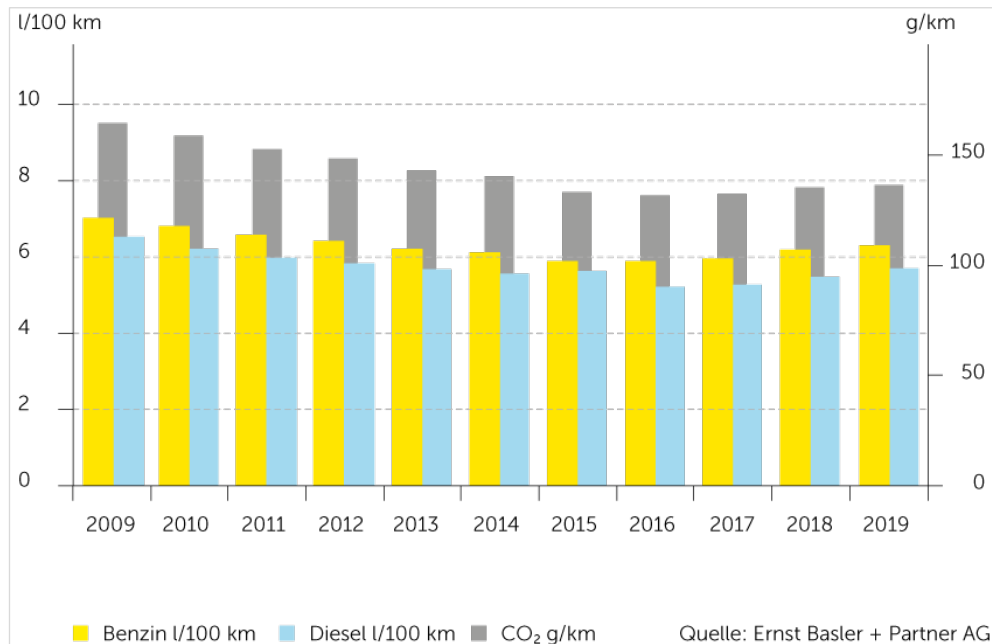


Abb. 4-9 Treibstoffverbrauch Benzin und Diesel, Grafik erstellt von Ernst Basler + Partner AG, veröffentlicht in (EnergieSchweiz & TCS, 2022).

Laut EnergieSchweiz und dem BFE hatte ein durchschnittlicher Mittelklassewagen im Jahr 2018 einen Benzinverbrauch von 7.6 L/100 km. Für das Jahr 2040 wird ein Verbrauch von 4.8 L/100 km erwartet (EnergieSchweiz & BFE, 2020). Diese Daten basieren auf der bereits in Kapitel 4.3.1 erwähnten Studie „Life cycle environmental and cost comparison of current and future passenger cars under different energy scenarios“ des Paul Scherrer Instituts und werden für die hier erstellten Szenarien verwendet (Cox et al., 2020). Der Verbrauch für Verbrennungsfahrzeuge von 2021-2035 wird unter der Annahme einer jährlichen Reduktion von 0.15 L-BÄ berechnet. Bereits nach dem hier untersuchten Zeitraum, von 2035-2040, wird angenommen, dass die Verbrauchsreduzierung der benzin- und dieselbetriebenen Fahrzeuge stagniert, da die Fahrzeughersteller die Erforschung der Elektrofahrzeuge priorisieren. Für 2021, das Startjahr der Szenarien, wird anhand der zuvor erwähnten Verbräuche eine Annahme von 7.4 L/100 km getroffen. Im Jahr 2035 ist der berechnete Treibstoffverbrauch noch 5.3 L/100 km. Wie zuvor bereits angesprochen, hängen die Emissionen durch die Treibstoffnutzung vom hier definierten Treibstoffverbrauch ab. Dabei wird ein konstantes Verhältnis von Emissionen zu Treibstoffverbrauch angenommen, berechnet mit den Daten des Referenzjahres 2021 (siehe Excel-Dokument „Modell_CO2_Einsparung_GR“, unter *Kennzahlen-CO2-Modell*).

4.3.3. Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEV)

Um den Treibstoffverbrauch und die daraus resultierenden Emissionen von PHEVs zu bestimmen, wird untersucht, in welchem Fahrmodus die Fahrzeuge durchschnittlich unterwegs sind. Für die Bestimmung des Bedarfs an Ladestationen werden die PHEVs wie normale Elektrofahrzeuge behandelt, da sie ebenfalls einen Stellplatz mit Ladepunkt benötigen. Trotz kürzeren Ladezeiten aufgrund der geringeren Batteriekapazität der PHEVs wird kein umständliches Umstellen der Fahrzeuge und keine Freigabe der Ladepunkte von den Gästen erwartet.

In einer umfassenden Studie vom International Council on Clean Transportation (ICCT) wurde das Fahrverhalten der PHEVs untersucht. Danach liegt der durchschnittliche reale Anteil des elektrischen Fahrens bei etwa 45 % bis 49 % für Privatfahrzeuge und für Firmenfahrzeuge bei etwa 11-15 %. Dazu wurden 3'661 Privatfahrzeuge und 2'273 Firmenfahrzeuge untersucht, mit Herstellungsjahren von 2012-2021. Im Gegensatz zu diesen Fahranteilen geht das offizielle WLTP-Typgenehmigungsverfahren von einem Anteil des Fahrens im überwiegend, aber nicht vollständig elektrischen Entladungsmodus von etwa 70 % bis 85 % aus. Der deutlich geringere Anteil des elektrischen Fahrens führt zu höheren CO₂-Emissionen und ist einer der Hauptgründe für die hohe Abweichung zwischen Typgenehmigung und realem Kraftstoffverbrauch (Plötz et al., 2022).

In einer Studie von EBP wird davon ausgegangen, dass PHEVs aktuell und bis im Jahr 2030 einen etwas höheren Anteil von 50 % der Kilometer elektrisch zurücklegen (De Haan et al., 2022). Für die Szenarien im Rahmen dieser Untersuchung wird für PHEVs mit einem etwas geringeren Elektro-Fahranteil von 40 % gerechnet. Insbesondere, da die langen Anfahrtsstrecken nach Graubünden kein überwiegend elektrisches Fahren mit den PHEVs zulassen, was zu einem etwas höheren fossilen Fahranteil führt. Dieser Anteil wird für die Jahre 2021 bis 2035 als konstant angenommen. Wie in Kapitel 4.2.1 erwähnt, reisen Touristen überwiegend privat. Daher wird eine überwiegende Nutzung von Privatfahrzeugen angenommen, mit denen durchschnittlich über 40 % im Elektro-Fahrmodus gefahren wird. Gründe für die deutlich geringeren elektrischen Fahranteile bei Firmenfahrzeugen könnten sein, dass die Nutzer nicht ausreichend mit dem Fahrzeug und den verschiedenen Fahrmodi vertraut sind, die Kosten nicht selbst tragen müssen oder längere Strecken zurücklegen, ohne das Fahrzeug oft genug zu laden. Die Berechnungen zu den PHEVs für die Szenarien sind im Excel-Dokument „Modell_CO2_Einsparung_GR“, im Arbeitsblatt *Kennzahlen-CO2-Modell*, zu finden.

5. Resultate

In diesem Kapitel werden die Resultate der beiden Rechenmodelle dargestellt und kommentiert. Dabei werden jeweils die verschiedenen Szenarien diskutiert, um den zukünftigen Bedarf an Ladestationen und die resultierenden CO₂-Einsparungen aufzuzeigen. Zudem wird auf bestimmte Hotspots der Hotellerie näher eingegangen.

Im Anhang sind die Resultate pro Region für die Jahre 2021 bis 2035 zudem tabellarisch aufgeführt. Tab. A-1 bis Tab. A-3 zeigen die Anzahl Ladestationen pro Region und je nach Szenario auf. In Tab. A-4 bis Tab. A-6 sind die CO₂-Einsparungen pro Region und je nach Szenario aufgeführt.

5.1. Bedarfsermittlung Ladeinfrastruktur für Hotelbetriebe

Die folgende Abbildung zeigt die benötigte Ladeinfrastruktur für Hotelbetriebe in Graubünden, berechnet nach den drei Szenarien, für die Jahre 2021 bis 2035. Bereits 2025 werden rund 1'000 Ladestationen benötigt, um den Bedarf der Hotelgäste zu decken. Bis 2035 sollten zwischen 4'366 und 5'430 Ladestationen in den Bündner Hotels zur Verfügung stehen.

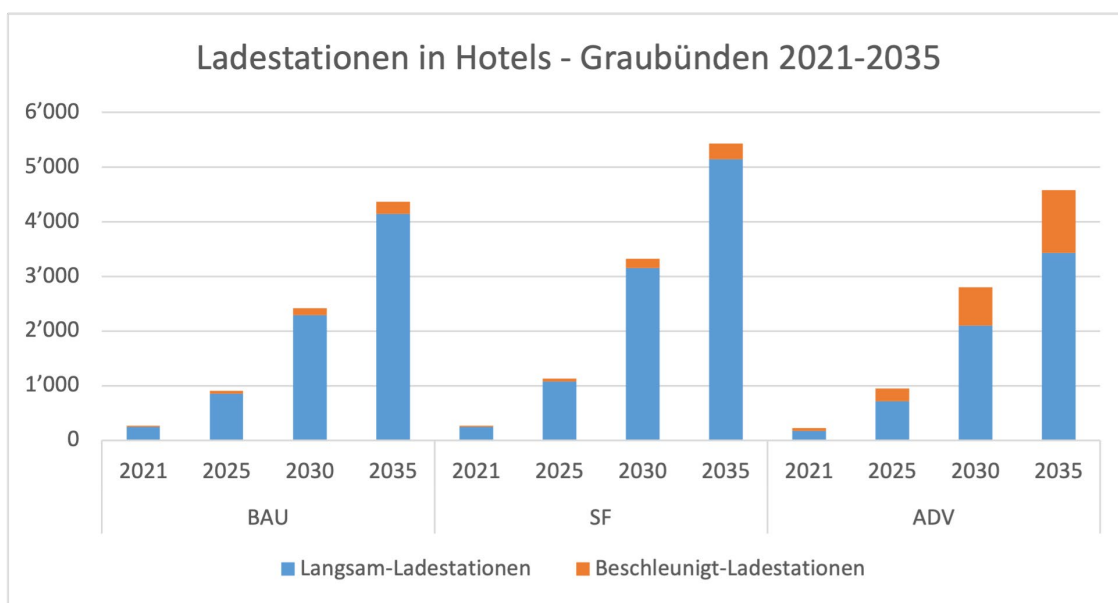


Abb. 5-1 Ladestationen in Hotels – Graubünden 2021-2035 (eigene Grafik und Daten).

In den folgenden Abschnitten wird auf die drei Szenarien detaillierter eingegangen. Zuerst wird auf den Bedarf der elf Regionen eingegangen. Die Abbildungen Abb. 5-2 und Abb. 5-3 zeigen die benötigte Ladeinfrastruktur für die Hotellerie in Graubünden, berechnet für die Jahre 2021 bis 2035. Auf Gemeindeebene werden die Hotspots der Hotellerie diskutiert und es wird ein Vergleich zwischen öffentlichen Ladestationen und Ladestationen in Hotels für Graubünden durchgeführt.

5.1.1. Szenario „Business as Usual (BAU)“ - Fokus auf Langsam-Laden

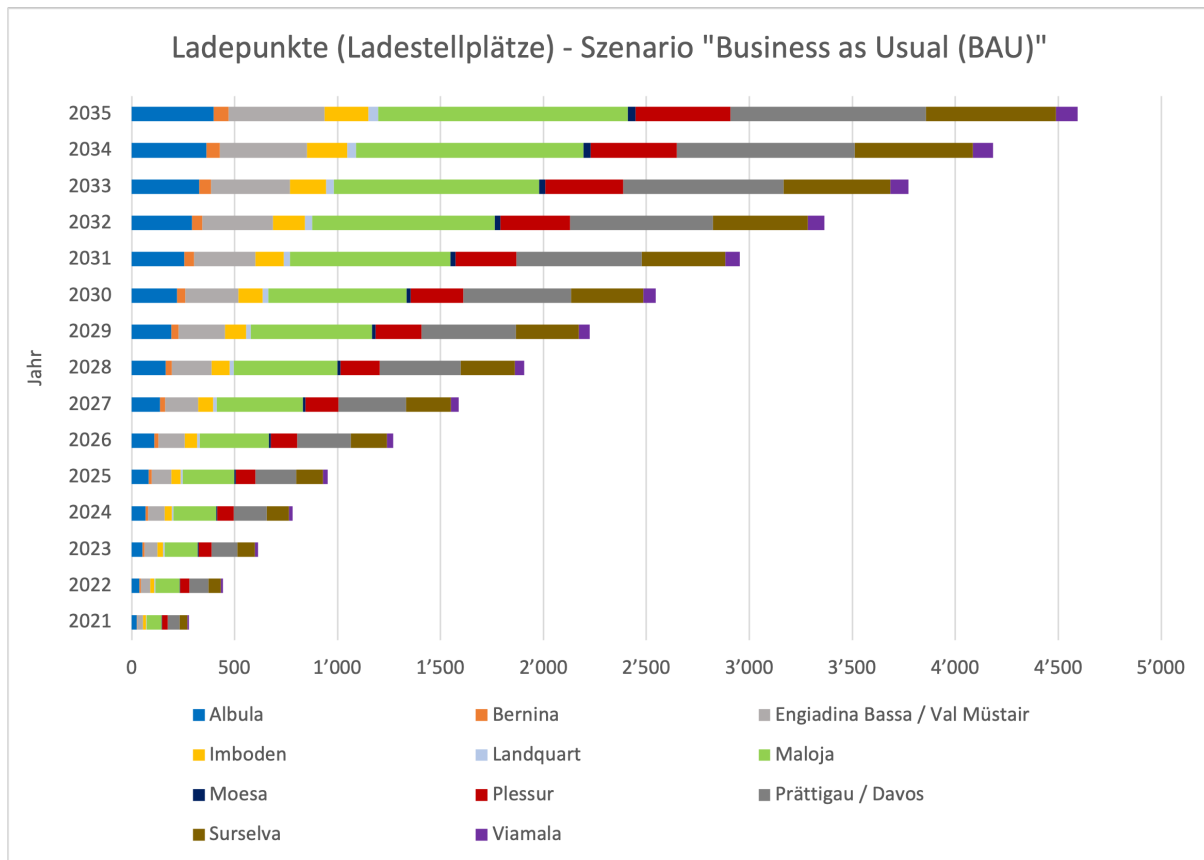


Abb. 5-2 Ladepunkte (Ladestellplätze) Bedarf 2021 bis 2035 - Szenario Business as Usual (eigene Grafik und Daten).

Die Abbildung zeigt den zukünftigen Bedarf an Ladepunkten, verteilt auf die elf Regionen im Kanton Graubünden. Bis im Jahr 2035 besteht im Szenario „Business as Usual (BAU)“ ein Bedarf von knapp 4'600 Ladepunkten. Besonders in den Regionen mit großen Gästekapazitäten, wie Maloja und Prättigau/Davos, sind viele Ladestationen erforderlich. Bis 2035 werden in Maloja 1'213 Ladepunkte und in Prättigau/Davos 948 Ladepunkte benötigt. Ein mittlerer Bedarf wird in Surselva (631 Ladepunkte), Engiadina Bassa/Val Müstair (466), Plessur (461) und Albula (400) erwartet. Die auf der Alpensüdseite gelegenen Regionen Bernina (71) und Moesa (37) weisen eine sehr geringe Nachfrage auf. Hauptsächlich weil sie wenige Hotelbetriebe haben. Auch in den Regionen Imboden (213), Viamala (108) und Landquart (48) ist der Bedarf geringer. Auffallend ist, dass die Regionen mit geringer Nachfrage an Ladestationen im Gebiet der Autobahn 13 (Nord-Süd-Verbindung von St. Gallen ins Tessin) oder in südlichen Regionen mit Alpenpässen liegen.

Betrachtet man die Aufteilung nach Langsam- und Beschleunigt-Laden, mit 90 % und 10 % Anteil der Ladepunkte, werden für das Jahr 2035 kantonsweit 4'136 Langsam-Ladestationen und 230 Beschleunigt-Ladestationen (2 Ladeplätze pro Ladestation) berechnet. Gemäß BFS (2022b) gibt es derzeit 580 Hotelbetriebe im Kanton. Die insgesamt 4'366 Ladestationen, verteilt auf die 580 Betriebe, ergeben 7.1 Langsam-Ladeplätze und 0.8 Beschleunigt-Ladeplätze, respektive 0.4 Beschleunigt-

Ladestationen, pro Betrieb. Durchschnittlich sind demnach rund 7.5 Ladestationen mit knapp acht Ladepunkten bzw. Ladeplätzen pro Betrieb erforderlich.

5.1.2. Szenario „Stärkere Förderung der Elektromobilität (SF)“ - Fokus auf Langsam-Laden

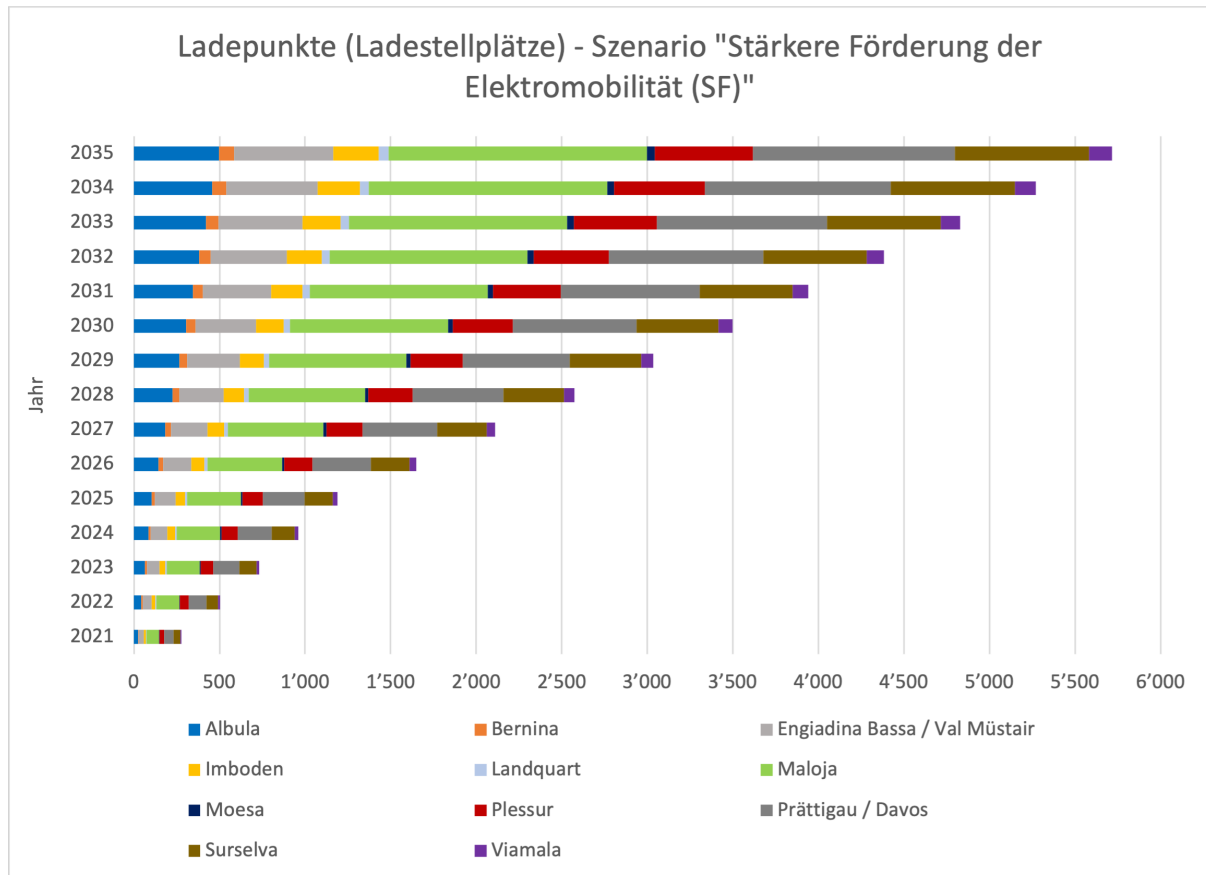


Abb. 5-3 Ladepunkte (Ladestellplätze) Bedarf 2021 bis 2035, Szenario Stärkere Förderung der Elektromobilität (eigene Grafik und Daten).

Im Szenario „Stärkere Förderung der Elektromobilität (SF)“ setzt sich die Elektromobilität schneller und stärker durch. Bis im Jahr 2035 besteht ein Bedarf von etwas über 5'700 Ladepunkten, aufgeteilt auf 5'144 Langsam- und 286 Beschleunigt-Ladestationen. Wie im BAU-Szenario werden in den Regionen mit großen Gästekapazitäten, wie Maloja und Prättigau/Davos, sehr viele Ladestationen benötigt. Bis im Jahr 2035 sind es 1'509 Ladepunkte in Maloja und 1'180 Ladepunkte in Prättigau/Davos. In Surselva (785 Ladepunkte), Engiadina Bassa/Val Müstair (579), Plessur (573) und Albula (497) wird ebenfalls ein großer Bedarf erwartet. Die auf der Alpensüdseite gelegenen Regionen Bernina (88) und Moesa (46) haben einen sehr geringen Bedarf. Auch in den Regionen Imboden (265), Viamala (134) und Landquart (59) sind relativ wenige Ladepunkte erforderlich. Die insgesamt 5'430 Ladestationen, aufgeteilt auf die aktuell 580 Hotelbetriebe im Kanton, ergeben 8.9 Langsam-Ladeplätze und 1.0 Beschleunigt-Ladeplätze pro Hotel. Durchschnittlich sind somit rund 9.4 Ladestationen mit knapp 9.9 Ladepunkten bzw. Ladeplätzen pro Betrieb erforderlich.

5.1.3. Szenario „Advanced Charging (ADV)“ - Fokus auf Beschleunigt-Laden

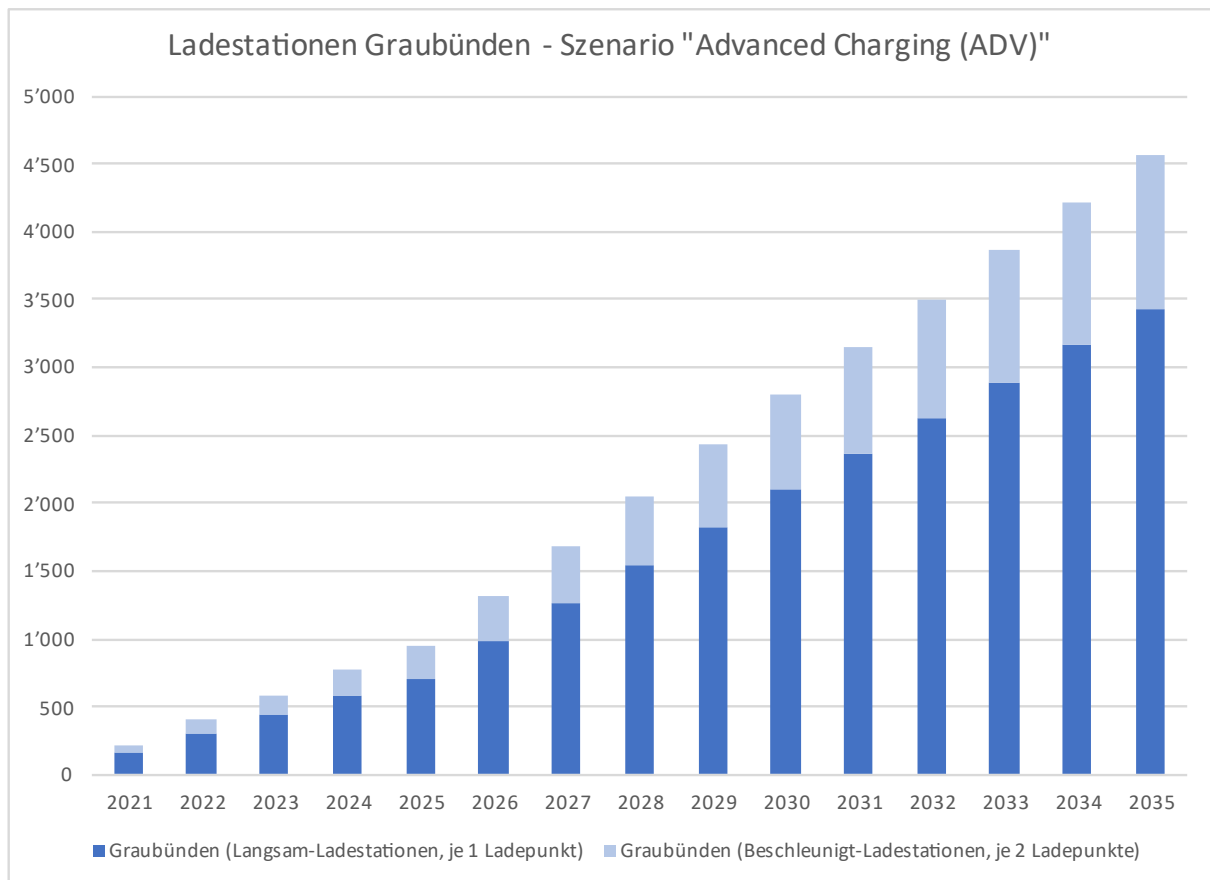


Abb. 5-4 Bedarf an Langsam- und Beschleunigt-Ladestationen von 2021-2035, Szenario „Advanced Charging“ (eigene Grafik und Daten).

Im Szenario „Advanced Charging (ADV)“ ist die gesamte Anzahl Ladepunkte identisch mit dem Szenario „Stärkere Förderung der Elektromobilität (SF)“ (vgl. Abb. 5-3). Allerdings werden im ADV-Szenario neben der generell starken Etablierung der E-Mobilität auch die Beschleunigt-Ladestationen stärker gefördert. Durch diese leistungsfähigeren Ladestationen, mit meist zwei Ladepunkten, werden im Vergleich zum SF-Szenario weniger Ladestationen und Ladestandorte benötigt. Abb. 5-4 zeigt die Aufteilung nach Langsam- und Beschleunigt-Laden, mit 60 % und 40 % Anteil der Ladepunkte. Für das Jahr 2035 werden kantonsweit 3'429 Langsam-Ladestationen und 1'143 Beschleunigt-Ladestationen mit zwei Ladeplätzen pro Ladestation berechnet. Die insgesamt 4'572 Ladestationen, aufgeteilt auf die aktuell 580 Hotelbetriebe im Kanton, ergeben 5.9 Langsam-Ladeplätze und 3.9 Beschleunigt-Ladeplätze pro Hotel. Durchschnittlich sind demnach rund 7.9 Ladestationen mit knapp 9.9 Ladepunkten bzw. Ladeplätzen pro Betrieb erforderlich.

5.1.4. Hotspots der Hotellerie

Im folgenden Abschnitt werden die Hotspots der Hotellerie, das heißt die Gemeinden mit viel Tourismusverkehr diskutiert. In Abb. 5-5 wird der Bedarf an Ladepunkten pro Gemeinde für das BAU-Szenario im Jahr 2035 dargestellt. Die Legende hilft bei der Interpretation der Grafik. Die Gemeinden

mit einem berechneten Bedarf von mehr als 100 Ladepunkten sind zusätzlich beschriftet und die entsprechende Anzahl Ladepunkte ist neben dem Gemeindenamen aufgeführt.

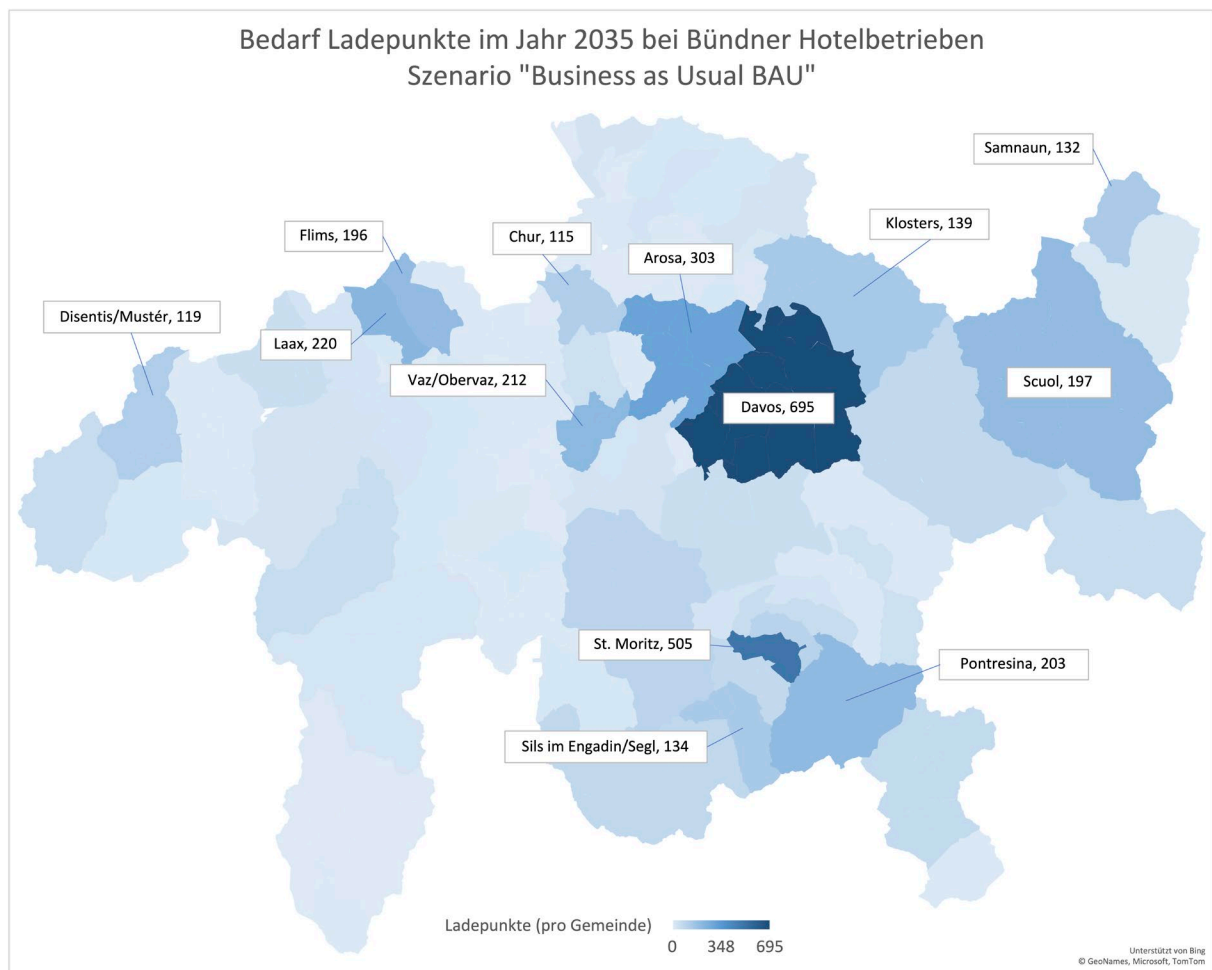


Abb. 5-5 Touristische Hotspots – Bedarf Ladepunkte 2035 Szenario BAU (eigene Daten, Grafik mit Excel erstellt, unterstützt von Bing © GeoNames, Microsoft, TomTom).

Da sich diese Bedarfsberechnung auf die aktuelle Anzahl verfügbarer Betten der geöffneten Hotelbetriebe bezieht, zeigt der abgebildete Bedarf an Ladestationen somit auch die touristischen Hotspots, welche das größte Angebot an Übernachtungsmöglichkeiten und das größte Gästeaufkommen aufweisen. Verglichen mit der aktuellen Ausgangslage (siehe Abb. 3-8) fällt auf, dass Davos auch in Zukunft die meisten Ladestationen benötigt, um die Nachfrage der Gäste zu decken. Auch St. Moritz wird über 500 Ladepunkte in Hotelbetrieben benötigen. Arosa, Laax, Vaz/Obervaz, Pontresina, Scuol und Flims haben ebenfalls einen großen Bedarf von 200 Ladepunkten oder mehr. Auffallend ist, dass Laax die einzige Gemeinde mit einem hohen zukünftigen Bedarf an Ladestationen ist, die aktuell deutlich zu wenig Ladepunkte hat (vgl. Abb. 3-8). Basierend auf dem BAU-Szenario für das Jahr 2021 verfügt Laax derzeit über rund zehn Ladestationen in Hotelbetrieben zu wenig und die Region Surselva hat insgesamt ein Defizit von rund 22 Ladeplätzen. Für Ende 2022 berechnet, gäbe es in Laax bereits 18 und in Surselva 45 Ladestationen zu wenig.

5.1.5. Vergleich der Anzahl öffentlicher Ladestationen und Ladestationen in Hotels

Um die in dieser Untersuchung berechnete Anzahl der benötigten Ladestationen für Hotels einordnen zu können, wird im Folgenden zum Vergleich beschrieben, wie viele Ladestationen im Kanton Graubünden und in der Schweiz insgesamt bis 2035 benötigt werden.

Wenn sich die Schweiz an der EU-Richtlinie über die Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (AFID) orientieren würde (siehe IEA (2022a), Abschnitt 3.2), die einen öffentlichen Ladepunkt pro zehn E-Fahrzeuge vorschreibt, würden im Jahr 2035 bei 2.4-2.9 Mio. E-Fahrzeugen 240-290 Tausend Ladepunkte benötigt. Die Anzahl E-Fahrzeuge im Jahr 2035 (vgl. Tab. 4-2) basiert auf den *Swiss eMobility*-Szenarien (Romang, 2021). Unter der Annahme, dass pro E-Ladestation zwei Ladepunkte zur Verfügung stehen, ergibt sich daraus ein Bedarf von 120-145 Tausend E-Ladestationen. Allerdings hat die Schweiz derzeit ein Verhältnis von 19.2 Elektrofahrzeugen pro Ladestation und 13.5 EVs pro Ladepunkt. Mit den aktuellen Verhältnissen ergäbe das 125-151 Tausend E-Ladestationen, ausgestattet mit knapp 178 bis fast 215 Tausend Ladepunkten, je nach Entwicklung der Anzahl Steckerfahrzeuge in der Schweiz. Wie sich in Zukunft der Bedarf an öffentlichen Ladestationen entwickeln wird, hängt stark vom Verhalten der Nutzer ab. Sollte sich das Langsam-Laden am Arbeitsplatz und zu Hause in Zukunft noch stärker durchsetzen, werden deutlich weniger öffentliche Ladestationen benötigt als zuvor berechnet. Ladestationen in Hotels dienen den Gästen für die Dauer ihres Aufenthaltes als Ersatz für die Langsam-Ladestationen am Arbeitsplatz oder zu Hause.

In der *Roadmap Elektromobilität* wird ein nahes Ziel von 20'000 allgemein zugänglichen Ladestationen in der Schweiz bis im Jahr 2025 formuliert (siehe Roadmap Elektromobilität (2022), Abschnitt 1.1).

Im Kanton Graubünden werden gemäß *Masterplan Graubünden* im Jahr 2035 zwischen 4'561 und 8'855 Ladestationen benötigt, mit rund 6'500-12'500 Ladepunkten. Davon werden für Hotels und Kurbetriebe je nach Szenario zwischen 1'919 und 3'733 Ladestationen der Kategorie Langsam-Laden benötigt, mit 3.7-11 kW Leistung und je einem Ladepunkt (siehe Thoma et al. (2017), Abschnitt 1.2).

In diesem Abschnitt wird kurz verglichen, wie sich der berechnete Bedarf pro Region im *Masterplan Graubünden* und in der für diese Thesis erstellten Untersuchung unterscheidet. Dazu wird das Szenario *Connected Mobility (COM)* aus dem Masterplan betrachtet, welches von einer starken Etablierung der E-Mobilität ausgeht und die aktuelle Entwicklung am besten abbildet. Im *Masterplan Graubünden* sind für das Jahr 2035 mit 1'215 am meisten Ladestationen für Hotelbetriebe in Maloja geplant, gefolgt von Prättigau/Davos mit einem Bedarf von 758 Ladestationen. Alle Ladestationen für die Hotels sind als Langsam-Ladestationen mit je einem Ladepunkt geplant. In Plessur, Engiadina Bassa/Val Müstair, Surselva und Albula sind bis 2035 ebenfalls knapp 300 bis zu 400 Ladestationen vorgesehen. In Imboden und Viamala wird ein deutlich geringerer Bedarf erwartet und in Bernina, Landquart und Moesa wird der Bedarf als sehr gering eingeschätzt. In der hier durchgeführten Untersuchung sind ebenfalls in Maloja am meisten Ladestationen vorgesehen, mit einer Anzahl von 1'153 Ladestationen im BAU-Szenario, davon 90 % Langsam-Ladestationen mit je einem Ladepunkt und 10 % Beschleunigt-Ladestationen mit je zwei Ladepunkten. Für Prättigau/Davos wird der Bedarf mit 901 Ladestationen

etwas höher eingestuft als im Masterplan. Ebenso für Surselva, wo ein Bedarf von 600 Ladestationen berechnet wird. Engiadina Bassa/Val Müstair (443 Ladestationen), Plessur (438), Albula (380) werden ähnlich wie im Masterplan eingestuft. In Imboden wird der Bedarf mit 203 Ladestationen vergleichsweise etwas höher eingeschätzt. Für Viamala werden in beiden Studien 102 Ladestationen berechnet und Bernina, Landquart und Moesa haben jeweils den geringsten Bedarf bis im Jahr 2035 (Thoma et al., 2017).

5.2. Einsparpotential - CO₂-Emissionen

Im folgenden Abschnitt werden die resultierenden Emissionseinsparungen durch den Umstieg auf Elektrofahrzeuge diskutiert. Die vollständigen Berechnungen pro Gemeinde sind im Rechenmodell „Modell_CO₂_Einsparung_GR“ aufgeführt. Die Einsparungen werden in CO₂-Equivalenten ausgedrückt und die Resultate werden für die elf Bündner Regionen und für den gesamten Kanton ausgewertet.

5.2.1. Szenario „Business as Usual (BAU)“ - Fokus auf Langsam-Laden

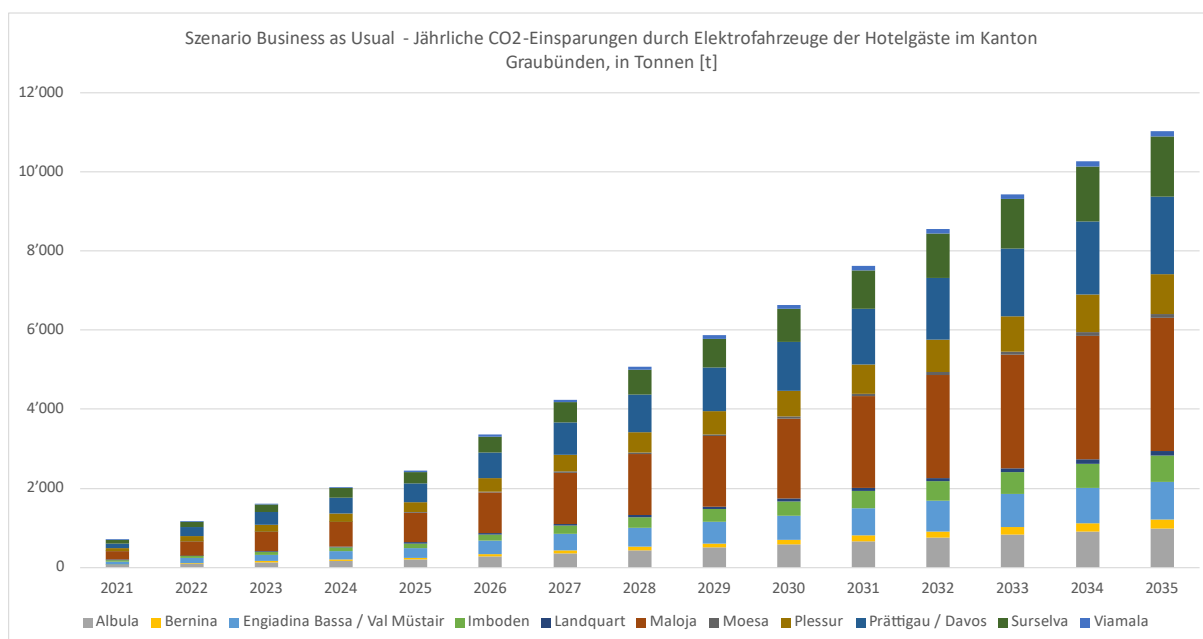


Abb. 5-6 Jährliche CO₂-Einsparungen von 2021-2035 – Szenario BAU (eigene Grafik und Daten).

Laut dem Rechenmodell wurden im Jahr 2021 im Kanton Graubünden bereits 714 t CO₂ durch PKWs von Touristen eingespart. Diese Einsparung wird durch die Nutzung von Elektrofahrzeugen anstelle von benzinbetriebenen Fahrzeugen erreicht. Im BAU-Szenario können bereits im Jahr 2030 mehr als 6'600 t CO₂ eingespart werden. Im Jahr 2035 werden es voraussichtlich knapp über 11'000 t sein. Insgesamt werden im Zeitraum von 2021 bis 2035 80'049 t CO₂ eingespart. Die Ergebnisse hängen insbesondere von der Anzahl Logiernächte ab. Die Region mit den meisten Logiernächten und damit den größten CO₂-Einsparungen ist derzeit Maloja, gefolgt von Prättigau/Davos und Surselva. Auch Plessur, Albula und Engiadina Bassa/Val Müstair haben ein großes CO₂-Einsparpotential. In Imboden ist die Nachfrage an Logiernächten schon etwas tiefer. Deutlich weniger Logiernächte als alle anderen

Regionen und damit ein geringes CO₂-Einsparpotential verzeichnen hingegen Bernina, Viamala, Landquart und Moesa. Diese Reihenfolge korreliert auch mehrheitlich mit der Anzahl der angebotenen Betten in den geöffneten Betrieben, respektive mit der Anzahl benötigter Ladepunkte (siehe Abschnitt 5.1). Je nach Zimmer- oder Bettenauslastung kann ein Hotelbetrieb mehr Betten anbieten als ein anderer und dennoch weniger Logiernächte verzeichnen. Die CO₂-Einsparungen pro Ladestation für die verschiedenen Regionen sind zudem in Abschnitt 5.2.4 ersichtlich.

5.2.2. Szenario „Stärkere Förderung der Elektromobilität (SF)“ - Fokus auf Langsam-Laden

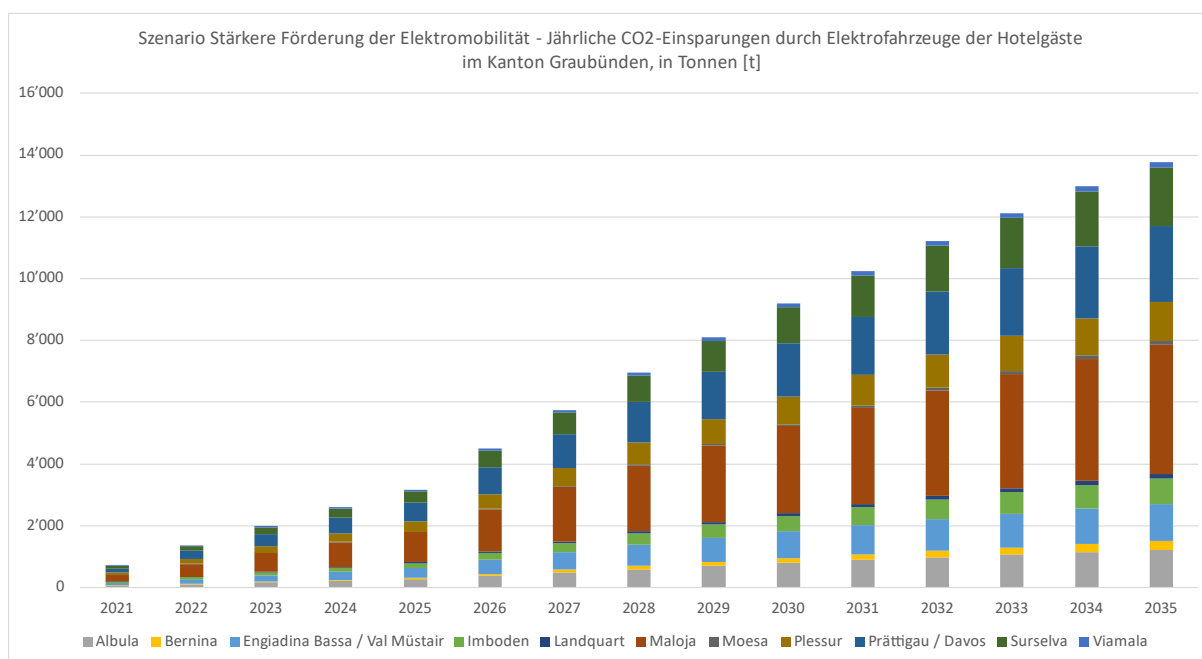


Abb. 5-7 Jährliche CO₂-Einsparungen von 2021-2035 – Szenario SF (eigene Grafik und Daten).

Für das SF-Szenario, mit einer stärkeren Förderung der Elektromobilität, verhalten sich die regionalen Einsparungen im Vergleich zum BAU-Szenario im gleichen Verhältnis untereinander. Die Einsparungen pro Region sind jeweils höher. Insgesamt werden im Zeitraum von 2021 bis 2035 Einsparungen von 104'680 t CO₂ berechnet. Das sind 24'631 t CO₂ oder rund 31 % mehr CO₂-Einsparungen, als im BAU-Szenario. Im Jahr 2030 können bereits rund 9'200 t CO₂ jährlich eingespart werden, im Jahr 2035 sind es bereits 13'772 t pro Jahr.

5.2.3. Szenario „Advanced Charging (ADV)“ - Fokus auf Beschleunigt-Laden

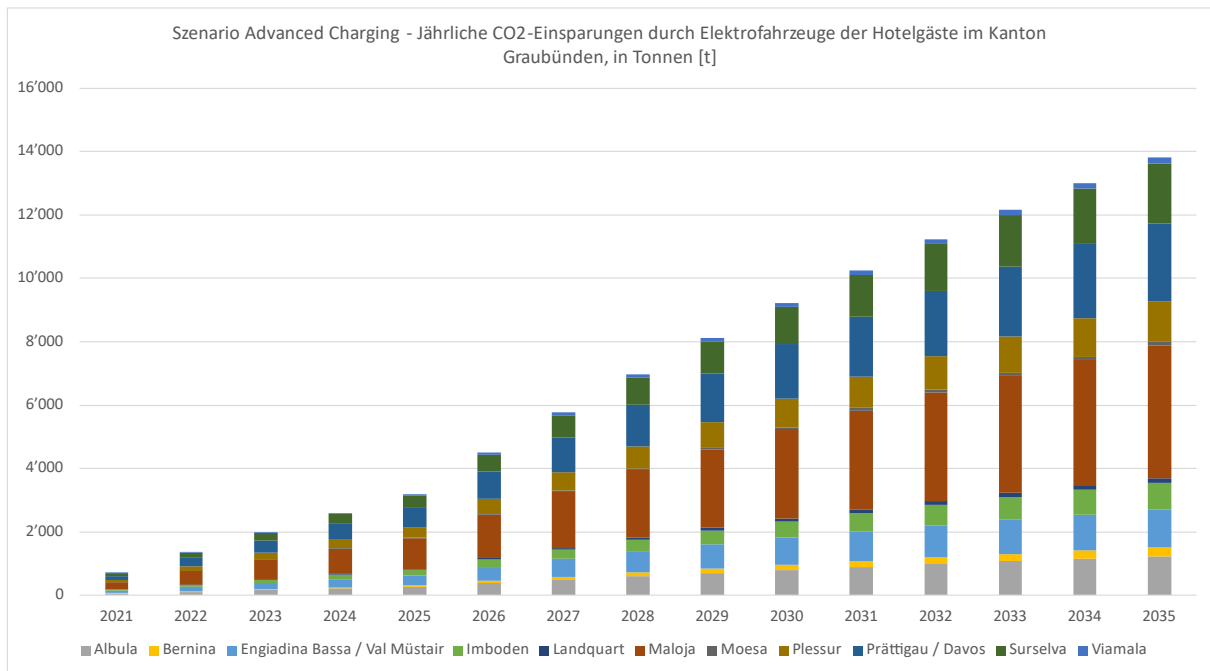


Abb. 5-8 Jährliche CO₂-Einsparungen von 2021-2035 – Szenario ADV (eigene Grafik und Daten).

Im ADV-Szenario sind die CO₂-Einsparungen nahezu identisch mit dem SF-Szenario. Der Unterschied zwischen diesen Szenarien ist der Anteil der Langsam- und Beschleunigt-Ladestationen. Die etwas effizienteren Beschleunigt-Ladestationen haben geringere Leistungsverluste und ermöglichen daher ein etwas größeres Einsparpotential. Im Vergleich zum SF-Szenario können im Zeitraum von 2021-2035 jedoch nur 234 t CO₂ zusätzlich eingespart werden, insgesamt 104'914 t CO₂.

Der THG-Ausstoß in der Schweiz beträgt 5 t CO₂-eq pro Person, respektive 13 t CO₂-eq pro Person, wenn man die durch Importgüter im Ausland verursachten Emissionen berücksichtigt. Der THG-Fußabdruck der Schweiz liegt damit deutlich über dem weltweiten Durchschnitt von rund 6 t CO₂-eq pro Person (BAFU, 2022b). Die im Jahr 2035 durch die E-Mobilität der Hotelgäste im Kanton Graubünden eingesparten Emissionen von 11'038-13'805 t entsprechen somit dem jährlichen CO₂-Ausstoß von 850-1'062 Schweizer Bürgerinnen und Bürgern. Eine Tonne CO₂ entspricht etwa den Emissionen, die ein Verbrennungsfahrzeug während 4'500 km verursacht, berechnet mit dem Well-to-Wheel-Ausstoß von 222.4 g CO₂-eq/km (Spezifische Emissionen pro Kilometer im Jahr 2021, berechnet im Dokument „Modell_CO₂_Einsparung_GR“, Arbeitsblatt *Kennzahlen-CO₂-Modell*).

5.2.4. CO₂-Einsparung pro Ladestation nach Regionen

Nach der Betrachtung der unterschiedlichen Einsparungen pro Region und für den Kanton wird nun aufgezeigt, wie viel CO₂-Einsparungen pro Ladepunkt, beziehungsweise pro Ladestation erzielt werden können. Dazu werden die Einsparungen in Tonnen CO₂ pro Region, die anhand der Anzahl jährlicher Logiernächte berechnet werden, auf die jeweilige Anzahl Ladepunkte pro Region aufgeteilt (siehe Tab. 5-1). Die Anzahl erforderlicher Ladepunkte für ausgebuchte Betriebskapazitäten der Hotels ergibt sich

anhand der Anzahl Betten in den geöffneten Hotelbetrieben. Je höher also das Verhältnis von Logiernächten zu angebotenen Betten oder Ladestationen ist, desto höher ist das Einsparpotential an Emissionen pro Ladepunkt. Die Ergebnisse geben daher Aufschluss darüber, wie stark eine Ladestation je nach Region genutzt wird. Zudem werden die Emissionen auf die Langsam- und Beschleunigt-Ladestationen aufgeteilt, unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Ladeeffizienz und Anzahl der Ladepunkte pro Ladestation.

Im BAU-Szenario sind die jährlichen Einsparungen im Jahr 2035 in Imboden mit 3.14 t CO₂/Ladepunkt am höchsten, gefolgt von Bernina mit 3.06 t CO₂/Ladepunkt (siehe Tab. 5-1). Hohe Einsparungen pro Ladepunkt sind auch in Maloja möglich. Am geringsten ist die Einsparung in Viamala mit 1.28 t CO₂/Ladepunkt, wo besonders aufgrund des zu erwartenden Rückgangs der Logiernächte (vgl. Abb. 4-2) und somit tieferen Auslastung der Hotels, davon ausgegangen werden kann, dass möglicherweise auch die Zahl der geöffneten Betriebe und der angebotenen Betten abnehmen wird. Daher wären proportional auch weniger Ladepunkte notwendig. Das Eintreffen dieser Entwicklung kann jedoch erst in einigen Jahren genauer abgeschätzt werden.

Tab. 5-1 Jährliche Einsparung in t CO₂ / Ladepunkt – Szenario BAU (eigene Daten).

Berechnung mit Ladepunkten (Anzahl Anschlüsse) - Business as Usual BAU						
Jährliche Einsparung CO2 [t] / Ladepunkt						
Regionen		Jahr	2021	2025	2030	2035
		GRAUBÜNDEN	2.58	2.57	2.60	2.40
AI		Albula	2.57	2.50	2.61	2.47
Be		Bernina	2.54	2.51	2.94	3.06
EB	Engiadina Bassa/Val Müstair		2.88	2.52	2.40	2.06
Im		Imboden	2.82	2.73	3.09	3.14
La		Landquart	2.13	2.38	2.57	2.51
Ma		Maloja	2.92	2.97	3.01	2.77
Mo		Moesa	1.74	1.90	2.28	2.42
PI		Plessur	2.60	2.67	2.55	2.20
Pr		Prättigau/Davos	2.19	2.41	2.35	2.08
S		Surselva	2.38	2.17	2.41	2.40
V		Viamala	1.94	1.73	1.57	1.28

Bei Beschleunigt-Ladestationen sind die Einsparungen aufgrund der höheren Effizienz und insbesondere wegen der zwei Ladepunkte pro Ladestation höher. Am höchsten sind die Einsparungen im Jahr 2035 in Imboden mit 6.66 t CO₂, Bernina mit 6.5 t CO₂ und Maloja mit 5.87 t CO₂ pro Ladestation.

Im Szenario „Stärkere Förderung der Elektromobilität (SF)“ und „Advanced Charging (ADV)“ sind die Verhältnisse sehr ähnlich, da aufgrund des höheren Anteils an Elektrofahrzeugen der anreisenden

Touristen auch die Anzahl der Ladestationen in Hotels für diese beiden Szenarien proportional höher ausfällt. Die vollständigen Tabellen zu den Einsparungen pro Ladepunkt und Ladestation für alle Szenarien sind im Dokument „Modell_CO2_Einsparung_GR“, unter *CO2 pro Ladestation* zu finden.

5.2.5. Energieverbrauch der E-Ladestationen

Im Folgenden wird einerseits auf den Stromverbrauch und die Emissionen eines einzelnen E-Fahrzeugs, sowie auf die Werte pro Person eingegangen. Zum anderen wird der gesamte Strombedarf diskutiert, der in den Jahren 2021 bis 2035 für die EVs der Hotelgäste in Graubünden gedeckt werden muss.

Zur Ermittlung der CO₂-Einsparungen wird unter anderem der spezifische Energiebedarf, respektive Kraftstoffverbrauch pro Kilometer der konventionellen und elektrischen Fahrzeuge benötigt. Anhand des spezifischen Energieverbrauchs der Elektrofahrzeuge kann unter Berücksichtigung der Ladeeffizienz und der durchschnittlich zurückgelegten Strecke auch ermittelt werden, wie viel Energie ein E-Fahrzeug pro Logiernacht an einer Ladestation bezieht. Im Ausgangsjahr 2021 benötigt ein Elektrofahrzeug im BAU-Szenario durchschnittlich 27.36 kWh pro Übernachtung. Bei einem Besetzungsgrad von 2.46 Personen in einem PKW sind das pro Person und Übernachtung 11.12 kWh. Dabei spart man mit einem EV im Jahr 2021 pro Fahrzeug und Übernachtung rund 25.6 kg CO₂ ein, gegenüber einem Benzinfahrzeug. Pro Person und Übernachtung sind das rund 10.4 kg CO₂. Bis im Jahr 2035 wird der benötigte Stromverbrauch pro Fahrzeug voraussichtlich geringer sein, hauptsächlich weil die Fahrzeuge effizienter werden und somit weniger Energie pro Kilometer benötigen. Aber auch, weil z.B. die Ladeeffizienz durch neue Technologien steigen könnte. Verbrennungsfahrzeuge werden voraussichtlich ebenfalls deutlich effizienter und sparsamer unterwegs sein. Es wird davon ausgegangen, dass die durchschnittlich zurückgelegte Strecke und der Besetzungsgrad der Personenwagen unverändert bleiben. Im Jahr 2035 wird somit pro Logiernacht und Fahrzeug nur noch 23.54 kWh Strom benötigt. Pro Person sind das 9.57 kWh/Logiernacht. Dabei werden knapp 18 kg CO₂ pro Fahrzeug, oder 7.3 kg pro Person eingespart. Der Energiegehalt von 23.54 kWh entspricht etwa 43 % der Kapazität einer durchschnittlichen E-Fahrzeuggatterie von 55 kWh (IEA, 2021).

In diesem Abschnitt wird der gesamte Strombedarf für die Elektrofahrzeuge der Hotelgäste in Graubünden in den Jahren 2021 bis 2035 diskutiert. Gemäß dem hier erstellten Rechenmodell beträgt der Stromverbrauch für das Ausgangsjahr 2021 im ADV-Szenario 749 MWh und im SF- und BAU-Szenario 763 MWh. Aktuell entspricht die Ausgangslage der vorhandenen Ladestationen am ehesten dem ADV-Szenario mit rund 40 % Beschleunigt-Ladestationen. Im Jahr 2035 werden im BAU-Szenario bereits 14'451 MWh Strom benötigt, im SF-Szenario 18'031 MWh und im ADV-Szenario 17'682 MWh. Die vollständigen Daten zum Energieverbrauch sind im Dokument „Modell_CO2_Einsparung_GR“ aufgeführt und eine Zusammenfassung des jährlichen Stromverbrauchs von 2021-2035, je nach Szenario und Region, ist im Anhang in Tab. A-8 bis Tab. A-10 zu finden. Im Vergleich zum Gesamtstromverbrauch im Kanton Graubünden von knapp 2'000 GWh machen die bis zu 18'031 MWh, oder 18 GWh, für die E-Fahrzeuge der Hotelgäste einen sehr kleinen Anteil aus. In Graubünden ist der Haushaltssektor mit fast 800 GWh der größte Stromverbraucher, gefolgt von Industrie /

Verarbeitendes Gewerbe mit über 600 GWh. Der Dienstleistungssektor ist für 400 GWh verantwortlich und der Verkehr für rund 200 GWh (Amt für Energie und Verkehr Graubünden, 2022). Die bis zu 18 GWh Strom, die von den Ladestationen in den Hotels im Jahr 2035 bezogen werden, entsprechen dem jährlichen Stromverbrauch von rund 8'200 typischen Zwei-Personen-Mehrfamilienhaus-Wohnungen, berechnet mit einem durchschnittlichen Stromverbrauch von 2'190 kWh aus dem Jahr 2019. Bezogen auf einen durchschnittlichen Schweizer Haushalt mit einem Verbrauch von 5'000 kWh pro Jahr würde dies 3'600 Haushalten entsprechen (EnergieSchweiz & BFE, 2021). Die alltägliche E-Mobilität wird in Graubünden mit seinen 200'000 Einwohnern einen deutlich größeren Anteil am Stromverbrauch haben als die Fahrzeuge der Hotelgäste.

6. Diskussion

Im Folgenden werden die Resultate der Untersuchung aus Kapitel 5 beurteilt und auf ihre Durchführbarkeit überprüft. Zudem wird ein alternatives Szenario mit mehr PHEVs aufgezeigt. Anschließend werden Handlungsempfehlungen aufgeführt, die sowohl der Bündner als auch der Schweizer Hotellerie helfen sollen, sich auf die E-Mobilität vorzubereiten. Zuletzt wird auf die Herausforderungen und Grenzen dieser Masterthesis eingegangen. Dazu wird das methodische Vorgehen diskutiert und es wird erläutert, wie die Werte der Einflussfaktoren ausgewählt wurden, die zu den vorliegenden Resultaten der erstellten Szenarien geführt haben.

6.1. Beurteilung der Resultate und Handlungsempfehlungen

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden Resultate hergeleitet, welche in drei möglichen Szenarien die E-Mobilitätsentwicklung von 2021 bis 2035 abbilden. Die im vorherigen Kapitel präsentierten Resultate beruhen auf vertrauenswürdigen Quellen und es wurden möglichst aktuelle Daten verwendet. Sämtliche erforderlichen Annahmen, die getroffen werden mussten, wurden mit wissenschaftlichen Ressourcen verglichen und möglichst realitätsnah gehalten. Im Vergleich zu anderen Untersuchungen, wie dem *Masterplan Graubünden* oder der EBP-Studie „Electric and Hydrogen Mobility Scenarios Switzerland 2022“, erweisen sich die Resultate der hier durchgeführten Studie als plausibel und deuten auf eine ähnlich starke Elektrifizierung des Verkehrs hin.

Insgesamt bieten in Graubünden die 580 Betriebe im Jahr 2021 18'395 Zimmer und 39'035 Betten an. Für das Jahr 2022 wurden je nach Szenario zwischen 445 und 504 Ladepunkte bzw. Ladepunkte berechnet, was weniger als ein Ladepunkt pro Hotelbetrieb ist. Bis 2035 sollen es jedoch zwischen 4'595 und 5'716 Ladepunkte sein, verteilt auf 4'366 bis 5'430 Ladestationen. Das wären rund 8-10 Ladepunkte pro Hotelbetrieb. Wie im Rechenmodell berechnet, werden im Jahr 2035 rund 39'249 Hotelbetten zur Verfügung stehen. Je nach Szenario müsste also ein Ladepunkt pro 6.87-8.54 Betten vorhanden sein, um den durchschnittlichen Ladebedarf zu decken, was durchaus im realisierbaren Rahmen liegt. Die Anzahl Ladepunkte und Ladestationen wurde für eine volle Auslastung der Betriebe und einen durchschnittlichen Anteil von E-Fahrzeugen an allen PKWs dimensioniert.

Nun wird die Anzahl Ladepunkte und Ladestationen mit dem Aufkommen an E-Fahrzeugen der Touristen in Graubünden verglichen. Berücksichtigt wurden nur die Touristen, die in Hotels übernachteten. Bei einem Total von 5'153'155 Logiernächten im Jahr 2021, wurden im Durchschnitt täglich rund 14'118 Logiernächte verbucht. Unter der Annahme des Rechenmodells, dass 60 % der Touristen mit dem Auto anreisen, ergibt das bei einem Besetzungsgrad von 2.46 Personen/PKW jede Nacht 3'443 Autos von Touristen, die in den Hotels parkiert sind. Im Jahr 2021 waren bereits knapp 3 % der PKWs in der Schweiz elektrisch angetrieben, als PHEVs oder EVs. Auf die 3'443 PKWs der Touristen berechnet, wären dies nur 100 Fahrzeuge mit Elektroantrieb. Bis 2035 dürfte sich diese Zahl jedoch stark erhöhen. Bei erwarteten 5'425'280 Logiernächten und einem Anteil an Steckerfahrzeugen von 48-59.7 %, wären das im Durchschnitt täglich 14'864 verbuchte Logiernächte, 3'625 Personenwagen und davon 1'740 bis 2'164 E-Fahrzeuge.

Laut einer Umfrage des *Hospitality Collaboration Labs* geben 49 von 60 Hotelbetrieben an, dass rund 10 % der Gäste mit einem Elektrofahrzeug anreisen. Dabei ist nicht bekannt, wie die Hotelbetriebe die Daten der Gäste erfasst haben und welche Annahmen dabei getroffen wurden. Dieser Anteil scheint jedenfalls zu hoch zu sein, im Vergleich zur hier durchgeführten Untersuchung. Hinsichtlich der Frage nach angebotenen Ladestationen geben 45 % der Hotelbetriebe an, für die nächsten Jahre ausgerüstet zu sein. 19 % haben bereits Ladestationen, müssen aber nachrüsten. 22 % planen in Zukunft Ladestationen anzubieten, während 14 % der Betriebe dies nicht vorhaben, meist mit der Begründung, dass in der Umgebung bereits Ladestationen zu finden sind. Demnach planen nur 41 % der befragten Hotels neue Ladestationen in ihrem Betrieb, was zeigt, dass viele Betriebe den künftigen Ladebedarf noch nicht als hoch einschätzen. Aufgrund der Umfrage erscheinen zudem kooperative Lösungen für gemeinsame Ladestationen interessant, insbesondere da Hotels ohne eigene Ladestationen angeben, dass Ihre Gäste Ladestationen in der Umgebung nutzen sollen. Darauf wird im folgenden Abschnitt Handlungsempfehlungen näher eingegangen. Die Ergebnisse der Umfrage stammen von 60 Hotelbetrieben, die Mitglieder von *HotellerieSuisse Graubünden* sind und im Sommer 2022 zur Erfassung der Bedürfnisse der Bündner Hotellerie befragt wurden (Küng, 2022).

Bezüglich der CO₂-Einsparungen geht aus der Studie hervor, dass im Jahr 2035 durch die E-Mobilität der Hotelgäste im Kanton Graubünden 11'038-13'805 t CO₂ eingespart werden, was dem jährlichen CO₂-Ausstoss von 850-1'062 Schweizer Bürgern entspricht. Der jährliche THG-Ausstoß in der Schweiz beträgt 13 t CO₂-eq pro Person, wenn man die durch Importgüter im Ausland verursachten Emissionen berücksichtigt (BAFU, 2022b). Eine Tonne CO₂ entspricht etwa den Emissionen, die ein Verbrennungsfahrzeug während 4'500 km verursacht, berechnet mit dem Well-to-Wheel-Ausstoß in 2021 von 222.4 g CO₂-eq/km. Zum Vergleich dienen die jährlichen Einsparungen pro Ladestation, die im BAU-Szenario im Jahr 2035 in Imboden mit 3.14 t CO₂/Ladepunkt am höchsten sind.

Die hier erstellten Szenarien, wie auch die weiteren in dieser Arbeit erwähnten Studien zur E-Mobilität in der Schweiz, gehen mehrheitlich von einem kleinen Anteil an Plug-in-Hybrid Fahrzeugen bis im Jahr 2035 aus. Im BAU-Szenario ist der PHEV-Anteil am Gesamtbestand der PKWs im Jahr 2030 mit knapp 3.3 % am höchsten. In einem alternativen Szenario wurden die Auswirkungen eines größeren Anteils von PHEVs auf die CO₂-Einsparungen berechnet. Dabei ist der gesamte Anteil an Steckerfahrzeugen am Fahrzeugbestand derselbe wie im BAU-Szenario. Von 2021 bis 2030 wird ein stetiger Anstieg des PHEV-Anteils angenommen. In den Jahren 2030 bis 2032 wird ein maximaler PHEV-Anteil von 10 % erreicht. Danach wird angenommen, dass der Anteil wieder leicht abnimmt. 2035 sind es noch 8 % PHEVs, bei einem Gesamtanteil von 48 % Steckerfahrzeugen, wie im BAU-Szenario. Das CO₂-Einsparpotential fällt in diesem Alternativ-Szenario etwas geringer aus, mit mehr PHEVs und weniger EVs. Insgesamt werden bis 2035 72'155 t CO₂ eingespart, am meisten davon im Jahr 2035 mit 10'277 t CO₂. Im Vergleich zum BAU-Szenario ist der CO₂-Ausstoß damit allein im Jahr 2035 um 761 t CO₂, und im Zeitraum 2021 bis 2035 um rund 7'894 t CO₂ höher. Dies entspricht, bezogen auf die Einsparungen im BAU-Szenario von 80'049 t CO₂, 9.86 % weniger Einsparungen bzw. mehr emittierte Emissionen. Der höhere PHEV-Anteil hat keine Auswirkungen auf die benötigte Ladeinfrastruktur. Es wird davon

ausgegangen, dass sowohl für PHEVs als auch für EVs Ladeplätze zur Verfügung stehen sollten, um wenn immer möglich im elektrischen Fahrmodus zu fahren. Die Berechnungen für das alternative Szenario sind ebenfalls im Dokument „Modell_CO2_Einsparung_GR“ zu finden.

Handlungsempfehlungen

Aus den Erkenntnissen dieser Untersuchung werden nun Handlungsempfehlungen formuliert, welche die Etablierung der E-Mobilität in der Hotellerie unterstützen und vorantreiben sollen.

Bei der Ermittlung der Anzahl Ladestationen wurde in dieser Untersuchung davon ausgegangen, dass alle Hotelgäste die Möglichkeit haben sollen, ihr Auto bei Bedarf direkt im Hotel aufzuladen, damit sie nicht umständlich auf dem Weg oder in der Nähe des Hotels nach einer Lademöglichkeit suchen müssen. Deshalb wird bei der Berechnung von einer Vollbelegung der Betriebe ausgegangen. Das wird auch den Hotelbetrieben empfohlen zu berücksichtigen. Wollen die Bündner Hotels den E-Ladeservice als Dienstleistung anbieten, müssen genügend Ladestationen vorhanden sein. Deshalb wurde folgender Bedarf definiert: Ein Ladepunkt für jedes E-Fahrzeug, das sich im Durchschnitt bei Vollausslastung im Hotel befindet. Um den Anteil der Gäste mit Steckerfahrzeugen (PHEV und EV) zu ermitteln kann ein Hotel einerseits die Anzahl Steckerfahrzeuge über einen bestimmten Zeitraum zählen und daraus den kurzfristigen Bedarf an Ladestationen ableiten. Andererseits kann das Hotel die gesamte Anzahl der Autos zählen, die üblicherweise über Nacht im Hotel parkiert werden, und anhand des Anteils der Steckerfahrzeuge am Schweizer PKW-Gesamtbestand berechnen, wie viele Steckerfahrzeuge in Zukunft zu erwarten sind. Letzteres wurde in der vorliegenden Studie durchgeführt.

Nach dem Berechnen des Aufkommens an E-Fahrzeugen in einem Hotel, wird den Hotelbesitzern empfohlen, dass jeder Gast mit E-Fahrzeug einen Langsam- oder Beschleunigt-Ladepunkt zur Verfügung haben sollte und das Fahrzeug zu keinem Zeitpunkt während seines Aufenthaltes bewegen muss, zum Beispiel aus Rücksicht auf andere E-Fahrzeug-Nutzer. In Zeiten mit überdurchschnittlich vielen Gästen mit E-Fahrzeugen wird empfohlen, dass das Hotelpersonal auch anordnen kann, dass die Ladestecker wieder freigegeben werden, wenn sie nicht mehr benötigt werden. Auf diese Weise könnten auch direkt an Ladestecker grenzende normale Parkplätze von E-Fahrzeug-Nutzern belegt werden, um ihre Fahrzeuge aufzuladen. Es könnte aber auch ein Service des Hotels sein, die Elektrofahrzeuge der Gäste umzuparken, ähnlich wie der herkömmliche Parkservice. Dies von den Gästen zu verlangen, könnte jedoch als Hürde für die E-Mobilität angesehen werden. Laut einer Umfrage des *Hospitality Collaboration Labs* ist die Mehrheit, 83 % der Betriebe, der Meinung, dass die Gäste ihre Fahrzeuge selbst aufladen sollten. So finden auch die meisten der 60 befragten Betriebe (88 %), dass der Gast die Kosten tragen soll (Küng, 2022).

Obwohl Langsam-Laden (0-11 kW) für Hotelgäste in den meisten Fällen ausreichend ist, verfügen viele Betriebe derzeit über Ladestationen der Kategorie Beschleunigt-Laden (siehe Tab. 3-3). Rund 40 % der Ladepunkte sind in dieser Leistungskategorie mit 11-22 kW. Empfohlen werden vorrangig Langsam-Ladestationen, bei hoher Nachfrage nach leistungsstärkeren, schnelleren Ladestationen auch

Beschleunigt-Ladestationen. Schnell-Ladestationen (22 kW+) werden für Hotels hingegen nicht empfohlen, da sie sich besser für öffentliche Ladestandorte eignen und mit höheren Infrastrukturkosten verbunden sind. Normalerweise werden Ladestationen mit höherer Leistung nur während des Ladevorgangs belegt, da danach je nach Ladeanbieter eine Blockiergebühr fällig wird. Insbesondere wenn Hotels ihre Ladestationen auch der Öffentlichkeit anbieten, z.B. in einer gemeinsamen Tiefgarage oder auf einem Außenparkplatz, wäre diese Gebühr sicher tagsüber zu empfehlen. Beschleunigt-Laden würde je nachdem auch ein bedingtes Umparken der Fahrzeuge oder eine durchdachte Anordnung zusätzlicher Ladeparkplätze erfordern, damit nur die Stecker ausgesteckt werden müssten, ohne dass ein Umparken erforderlich wäre. Jedenfalls ermöglichen die kürzeren Ladezeiten eine zusätzliche flexible Lösung für die Bedürfnisse der Gäste. Dies ist besonders dann hilfreich, wenn die Gäste ihre E-Fahrzeuge tagsüber aufladen wollen, wenn die Nachfrage nach Ladeplätzen während der Spitzenzeiten hoch ist, oder wenn Tagesgäste ihre Fahrzeuge aufladen wollen, während sie das Hotelrestaurant besuchen.

Den Hotelbetrieben wird im Allgemeinen geraten, sich mit dem Thema Elektromobilität zu befassen und die rasant wachsende Zunahme von Elektrofahrzeugen als Chance für ihren Betrieb zu sehen. Es gibt zahlreiche Ladestationsanbieter, Fachverbände und Organisationen, die für weitere Informationen kontaktiert werden können. Beispielsweise erklären *HotellerieSuisse* und *Swiss eMobility* in einem kurzen Ratgeber wie Ladelösungen vorausschauend, sinnvoll und ausbaufähig geplant werden können, um Fehlinvestitionen zu vermeiden. Dazu wurde das Vorgehen in vier Schritte unterteilt, um den Betreibern von Hotels einfach aufzuzeigen, was dabei alles zu beachten ist. Als erstes wird erklärt, wie die Ausgangslage erstellt und analysiert werden soll. Das beinhaltet hauptsächlich die Installationsplanung und die Integration in die bestehende Hotelinfrastruktur. Als nächstes sollte das Angebot definiert werden, das sich an den Bedürfnissen der Gäste orientiert. Es sollte ein Ladesystem gebaut werden, welches zu einem späteren Zeitpunkt erweitert werden kann, um auch für zukünftige Anforderungen zu genügen. Die Ausweitung der Lademöglichkeiten ist wichtiger, als nur auf leistungsstarke Ladestationen zu setzen. Zudem wird erklärt, wie die Abrechnung des Ladevorgangs erfolgen kann. Abschließend empfiehlt der Ratgeber den Hotelbetreibern, sich von Experten beraten zu lassen und anhand mehrerer Offerten eine geeignete Lösung zu finden (HotellerieSuisse & Swiss eMobility, 2022).

Außerdem sollten Hotelbetreiber die kurzfristigen Entwicklungen und Projekte in ihrer Tourismusregion kennen und wissen, was Gäste vom lokalen Freizeit- und Hotelangebot erwarten, um das Ladeangebot entsprechend zu gestalten. Es wird empfohlen, lokale Kooperationen zu suchen und E-Ladestationsprojekte gemeinsam voranzutreiben. Beispielsweise können benachbarte Hotels gemeinsam einen größeren Ladestandort gestalten, und Hotels können mit nahe gelegenen Unternehmen zusammenarbeiten, die den Betrieb und die Wartung der Ladestationen übernehmen.

6.2. Herausforderungen und Einschränkungen der Methodik

Nun werden die Herausforderungen und Grenzen der hier durchgeführten Arbeit diskutiert. Die Methodik der Szenario-Entwicklung berücksichtigt viele Einflussfaktoren. In einigen Bereichen wurde

jedoch eine vereinfachte Vorgehensweise gewählt. Einige Faktoren und Wechselwirkungen zwischen Faktoren wurden nicht berücksichtigt. Die Annahmen über die Werte der Einflussfaktoren, die maßgeblich zu den vorliegenden Ergebnissen der erstellten Szenarien geführt haben, unterliegen gewissen Ungenauigkeiten und Unsicherheiten, die sich nie ganz vermeiden, aber weiter reduzieren lassen. Im Folgenden werden die wichtigsten limitierenden Aspekte beschrieben, die Forschungsgebiete für weiterführende Untersuchungen im Bereich der „E-Mobilität in der Hotellerie“ darstellen.

Aktueller Bestand der Ladestationen in Hotels

Die Korrektheit und Aktualität der Angaben zu den aktuellen Lademöglichkeiten von Electrosuisse, Schweiz Tourismus und Tesla wurde gegenseitig geprüft oder anhand der Websites der Hotels abgeglichen, sofern Informationen veröffentlicht wurden. Auch der Online-Kartendienst Google Maps kann häufig genutzt werden, um die Leistung und Anzahl der verfügbaren öffentlichen Lademöglichkeiten zu überprüfen. Andere frei zugängliche Dienste wie Chargemap.com können ebenfalls dafür verwendet werden. Oft sind die Daten nicht auf allen Websites aktualisiert oder einsehbar, insbesondere bei privaten Ladestationen, die nur für Hotelgäste zugänglich sind. Viele der privaten Ladestationen lassen sich nur erschwert lokalisieren. Daher kann nicht garantiert werden, dass alle Daten zur aktuellen Ausgangslage korrekt sind, da die Betreiber die Ladestationen jederzeit aufrüsten oder Änderungen an ihnen vornehmen können.

Entwicklung der Hotellerie in Graubünden

Die zukünftige Entwicklung der Hotellerie in Graubünden wurde in dieser Studie hauptsächlich mit Daten der letzten zehn Jahre eingeschätzt. Im Falle von unvorhersehbaren energiepolitischen Entwicklungen, Wirtschaftskrisen, politischen Veränderungen, Kriegen oder rasanten technologischen Fortschritten können sich andere Entwicklungen ergeben, die von den hier erstellten Szenarien abweichen. Welche Erneuerungs- und Erweiterungspläne und Strategien einzelne Tourismusregionen haben, wird nicht immer öffentlich publiziert. Zudem sind touristische Ausbauprojekte und deren Auswirkungen mit Unsicherheiten verbunden. In dieser Studie wurden keine geplanten Tourismusprojekte berücksichtigt, obwohl sie die Nachfrage nach Ladestationen in Hotels beeinflussen könnten.

Anzahl und Art der Fahrzeuge der Touristen

Die Anzahl und Art der Fahrzeuge, die von den Touristen genutzt werden, wurde anhand des Rechenmodells mit verschiedenen Einflussfaktoren bestimmt. Die verwendeten Daten sind mehrheitlich Schweizer Durchschnittswerte.

Von den befragten Reisenden der Gästenumfrage „Tourismus Monitor Schweiz (TMS) 2017“ zur Bestimmung der Hauptverkehrsmittel der Touristen, übernachteten rund 41.1 % in Hotels, 21.8 % in Eigentumsferienwohnungen und 19.7 % in gemieteten Ferienunterkünften. Der größte Anteil, nämlich 23.9 %, verbrachte den Aufenthalt in Graubünden. Rund 76 % aller Touristen hielt sich in den Bergen auf. Der TMS ist eine repräsentative Erhebung zum Schweizer Übernachtungstourismus, die unter der

Leitung der Marktforschungsabteilung von Schweiz Tourismus normalerweise alle vier Jahre durchgeführt wird. Der TMS stellt die umfangreichste nationale Tourismusumfrage in Europa dar und dient als Marketinginstrument für die Tourismusbranche. Im Tourismusjahr 2017 wurden in 180 Schweizer Destinationen 21'500 Touristen aus 130 Ländern via Online-Fragebogen befragt (Schweiz Tourismus, 2018). Die nächste Erhebung für den TMS 2023 wird zwischen November 2022 und Oktober 2023 durchgeführt, was z.B. mehr Aufschluss auf einige Folgen der COVID-19 Pandemie geben wird (Schweiz Tourismus, 2022b).

Für den Anteil der E-Fahrzeuge an allen PKWs der Touristen, wurden als Referenz Studien zur allgemeinen Elektrifizierung des Fahrzeugbestandes untersucht. Die Daten der hier verwendeten Studie von *Swiss eMobility* für die Anzahl E-Fahrzeuge bis 2035 sind nur in Fünfjahresschritten verfügbar. Der gesamte Flottenbestand in diesen Szenarien wurde mit einem Wachstumskoeffizienten anhand der jährlichen Verkaufsszenarien aller Steckerfahrzeuge berechnet (Romang, 2021). Einzelne Werte, wie die PHEV-Anteile, mussten für die vorliegende Studie anhand einer Grafik interpretiert werden, da auf Anfrage keine zusätzlichen Daten herausgegeben werden konnten. Im Gegensatz dazu würden die kostenpflichtigen Daten der EBP-Studie „Electric and Hydrogen Mobility Scenarios Switzerland 2022“ detailliertere und umfassendere Auskunft über die Entwicklung der E-Mobilität geben. EBP ist ein erfahrenes Unternehmen, das die Entwicklung der E-Mobilität in der Schweiz seit Jahren untersucht und auch bereits kantonsspezifische Szenarien zur Entwicklung der E-Mobilität durchgeführt hat (De Haan et al., 2022).

Ebenfalls relevant ist der Besetzungsgrad, der angibt wie viele Personen in einem Fahrzeug unterwegs sind. Für touristische Reisen mit Übernachtungen kann davon ausgegangen werden, dass der Besetzungsgrad höher ist als im Alltag. In dieser Untersuchung wurde anhand der Gästenumfrage „Tourismus Monitor Schweiz 2017“ die Größe der Reisegruppen ausgewertet (siehe Abb. 4-5) und daraus ein durchschnittlicher Besetzungsgrad berechnet. Bei der Umfrage wurden 21'501 Touristen in der Schweiz befragt (Schweiz Tourismus, 2018). Der Besetzungsgrad konnte anhand der verfügbaren Daten nicht spezifisch für Graubünden ermittelt werden.

Zurückgelegte Strecken

Die durchschnittlich von Touristen zurückgelegten Strecken wurden anhand von Studien, Umfragewerten und beispielhaften Reisewegen von Touristen ermittelt. Da die Strecken je nach Lage und Erreichbarkeit der Hotels stark variieren und die Gäste aus sehr unterschiedlichen Gebieten anreisen, wird die Unsicherheit und Ungenauigkeit der durchschnittlich mit dem Auto zurückgelegten Strecken als hoch eingeschätzt. In dieser Studie sind die zurückgelegten Strecken nur für die Berechnung der CO₂-Einsparungen relevant und haben keinen Einfluss auf die Berechnung der Anzahl E-Ladestationen.

Im Allgemeinen scheint der Mobilitätstrend während der Pandemie stark rückläufig gewesen zu sein, unabhängig vom Fahrtzweck. Mittlerweile sollte sich der Trend jedoch wieder geändert haben. Die außergewöhnlichen Folgen der Pandemie auf das Mobilitätsverhalten sind in einer Sonderauswertung

des BFS der Mikrozensusdaten von Januar bis Anfang März der Jahre 2020 und 2021 aufgeführt. Allerdings sind in der Sonderausgabe keine Angaben zu längeren Reisen vorhanden. Das Verkehrsverhalten der Schweizer Bevölkerung wird in der Regel alle fünf Jahre vom Bundesamt für Statistik (BFS) und vom Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) im Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZMV) ausgewertet. Die aktuellste vollumfängliche Datenerhebung ist aus dem Jahr 2015. Mit einer Stichprobengröße von über 57'000 Personen und einem umfassenden Fragenkatalog, ist diese Umfrage die größte gesamtschweizerische Untersuchung zum Verkehrsverhalten der Bevölkerung (Danalet, 2022). Derzeit steht demnach keine zeitgemäße MZMV-Studie zur Verfügung für die Auswertung von längeren Reisen.

Pfadabhängigkeit - Elektromobilität

Obwohl bereits viele Fahrzeughersteller Ziele von bis zu 100 % BEV-Anteilen an ihrer Neuwagenproduktion angekündigt haben, ist nicht gewiss, dass langfristig nur das Elektrofahrzeug den Markt dominieren wird (Smorodin & Mock, 2022). Es könnte auch sein, dass sich z.B. Brennstoffzellenfahrzeuge in den kommenden Jahrzehnten als effizienter und nachhaltiger erweisen oder sich ein völlig neuartiger Fahrzeugantrieb etabliert. Für die kommenden Jahre bis 2035, sehr wahrscheinlich auch bis 2050, kann jedoch davon ausgegangen werden, dass das Elektrofahrzeug den größten Marktanteil haben wird. Nicht nur die Fahrzeughersteller sind dafür verantwortlich, sondern auch politische Entscheidungen, die den Weg für die E-Mobilität ebnen. Ob reine Elektrofahrzeuge die beste Zukunftstechnologie für PKWs sind, wurde in dieser Arbeit nicht untersucht. Es gibt einige Studien, die den Übergang von Verbrennungsfahrzeugen zu Elektrofahrzeugen beschreiben. Die Studie „Pfadabhängigkeiten in der Energiewende - Das Beispiel Mobilität“ diskutiert beispielsweise die langfristigen Folgen von Policy-Maßnahmen zur Förderung von Elektrofahrzeugen und ihrer Infrastruktur. Die Studie weist auch darauf hin, dass Entscheidungen zur Förderung von einzelnen Antriebstechnologien und Verkehrssystemen später nicht ohne weiteres rückgängig gemacht werden können, selbst wenn sich z.B. alternative Technologien durchsetzen (Fischedick & Grunwald, 2017).

Emissionswerte - LCA

Ziel der hier durchgeführten Vergleiche der Umweltbelastungen von den verschiedenen Fahrzeugantrieben war es, das lokale, kraftstoffbezogene CO₂-Einsparpotential durch den Umstieg von einem konventionellen auf ein elektrisches Fahrzeug aufzuzeigen. Die durchschnittlichen Emissionen aus der Produktion und Wartung der Fahrzeuge sind wesentlich geringer als die durch die Treibstoffe verursachten Emissionen und wurden in dieser Untersuchung nicht weiter berücksichtigt. Diese Emissionen könnten auch auf die während der gesamten Lebensdauer der Fahrzeuge gefahrenen Kilometer angerechnet werden. Dies wird in LCA-Studien durchgeführt, wäre allerdings für die vorliegende Studie zu umfangreich, da verhältnismäßig keine großen Unterschiede in der CO₂-Bilanzierung erfolgen würden. Laut Bieker (2021) sinken die Gesamtemissionen pro Benzinfahrzeug in Europa bis 2030 nur gering. Eine wesentliche Reduktion beim Treibstoffverbrauch und bei der Treibstoffherstellung wird bis 2030 nicht erwartet. Hauptsächlich erfolgt die Reduktion durch die Fahrzeugherstellung. Bei den Steckerfahrzeugen wird ebenfalls eine ähnliche Reduktion der

Emissionen in Bezug auf die Fahrzeugherstellung erwartet, sowie bei der separat bilanzierten Batterieherstellung. Aufgrund der Batterie sind die Emissionen bei der Fahrzeugherstellung bei Elektrofahrzeugen höher. Andererseits sind die Wartungskosten bei EVs geringer. Ohne treibstoffbezogene Emissionen sind die CO₂-Emissionen bei Batterie-Elektrofahrzeugen um rund 6-7 g CO₂-eq/km höher (Bieker, 2021).

Weiter wurde angenommen, dass der Primärenergieaufwand von Benzin (Herstellung, Aufbereitung, Transport, usw.) bis im Jahr 2035 konstant bleibt. Emissionen aus der Installation und Herstellung der E-Ladeinfrastruktur sind dabei vernachlässigbar und wurden nicht berücksichtigt. Für konventionelle Fahrzeuge wurde der Bau der Tankstelleninfrastruktur ebenfalls nicht berücksichtigt. Bei Elektrofahrzeugen wurde anhand des Strommix definiert, welche Emissionen durch die Primärenergie entstehen, wie dies auch bei der Energieetikette erfolgt. Lokal können die Emissionen des verwendeten Stroms abweichen. Es scheint jedoch nicht sinnvoll, den Strom pro Region oder für den Kanton zu bilanzieren, da die Schweizer Stromproduktion und der Verbrauch kantons- und grenzüberschreitend erfolgen. Beispielsweise wird im Winter in den Bergregionen weniger Strom produziert, da weniger Wasser in den Fließgewässern und Stauseen vorhanden ist, und mehr Strom aus Kernkraftwerken im Flachland generiert wird. Im Sommer ist es gerade umgekehrt, da ein deutlich größerer Anteil aus Schmelzwasser in Laufwasserkraftwerken generiert wird und daher weniger Atomstrom erforderlich ist.

7. Schlussfolgerungen und Ausblick

Im Rahmen dieser Thesis wurden drei Szenarien für die E-Mobilität und die benötigte Ladeinfrastruktur erstellt, um zu zeigen, wie viele Elektroladestationen in Hotels im Kanton Graubünden bis im Jahr 2035 notwendig sind, um den zukünftigen Ladebedarf der Hotelgäste zu decken. Für den kantonsweiten Bedarf an Ladestationen für Hotels wurden Herleitungen über die bevorstehende Entwicklung erstellt und verschiedene Szenario-Einflussfaktoren untersucht. Beispielsweise wurde analysiert wie groß das zukünftige Fahrzeugaufkommen der Gäste während ausgelasteten Spitzenzeiten sein wird und wie viele der Gäste in Zukunft in einem Elektrofahrzeug anreisen werden. Dazu wurde unter anderem die Entwicklung der gesamtschweizerischen Automobilflotte auf die verschiedenen Antriebsarten untersucht. Anhand der erstellten Szenarien wurde auch eine quantitative Berechnung in Bezug auf den zukünftigen Energiebedarf und das CO₂-Einsparungspotenzial durch die E-Mobilität erstellt. Dazu wurde das durchschnittliche Verkehrsverhalten für längere Reisen mit Übernachtungen untersucht und welchen Einfluss Langsam- und Beschleunigt-Ladestationen auf die Benutzer und den Stromverbrauch haben. Ebenfalls wurden antriebspezifische Eigenschaften der Fahrzeuge untersucht, insbesondere der spezifische Treibstoffverbrauch und die THG-Emissionen. Die Ergebnisse wurden jeweils für die elf Regionen und die Gemeinden im Kanton Graubünden ausgewertet.

Bereits 2025 werden rund 1'000 Ladestationen benötigt, um den Bedarf der Hotelgäste in Graubünden zu decken. Bis 2035 sollen zwischen 4'366 und 5'430 Ladestationen in den Bündner Hotels zur Verfügung stehen. Im Szenario „Business as Usual (BAU)“ besteht bis im Jahr 2035 ein Bedarf von knapp 4'600 Ladepunkten. Besonders in den Regionen mit großen Gästekapazitäten, wie Maloja und Prättigau/Davos, sind viele Ladestationen erforderlich. Bis 2035 werden in Maloja 1'213 Ladepunkte und in Prättigau/Davos 948 Ladepunkte benötigt. Betrachtet nach Langsam- und Beschleunigt-Laden, mit 90 % und 10 % Anteil der Ladepunkte, wurden für das Jahr 2035 kantonsweit 4'136 Langsam-Ladestationen (ein Ladeplatz pro Ladestation) und 230 Beschleunigt-Ladestationen (zwei Ladeplätze pro Ladestation) berechnet. Im Szenario „Stärkere Förderung der Elektromobilität (SF)“ setzt sich die Elektromobilität schneller und stärker durch. Bis im Jahr 2035 besteht ein Bedarf von etwas über 5'700 Ladepunkten. Wie im BAU-Szenario werden in den Regionen mit großen Gästekapazitäten am meisten Ladestationen benötigt. Bis im Jahr 2035 ist der Bedarf 1'509 Ladepunkte in Maloja und 1'180 Ladepunkte in Prättigau/Davos. Im Szenario „Advanced Charging (ADV)“ ist die gesamte Anzahl Ladepunkte identisch mit dem SF-Szenario. Allerdings werden im ADV-Szenario neben der generell starken Etablierung der E-Mobilität auch die Beschleunigt-Ladestationen stärker gefördert. Dazu wurden 60 % Langsam-Ladepunkte und 40 % Beschleunigt-Ladepunkte angenommen. Durch diese leistungsfähigeren Ladestationen, mit meist zwei Ladepunkten, werden im Vergleich zum SF-Szenario weniger Ladestationen und Ladestandorte benötigt. Für das Jahr 2035 wurden kantonsweit 3'429 Langsam-Ladestationen und 1'143 Beschleunigt-Ladestationen berechnet. Die insgesamt 4'572 Ladestationen, aufgeteilt auf die aktuell 580 Hotelbetriebe im Kanton, ergeben 5.9 Langsam-Ladeplätze und 3.9 Beschleunigt-Ladeplätze pro Hotel. Der größte Tourismus-Hotspot ist die Gemeinde Davos, die bereits heute über die meisten Ladestationen verfügt und im Jahr 2035 voraussichtlich 695

Ladepunkte haben wird. Auch St. Moritz wird mehr als 500 Ladepunkte in Hotelbetrieben benötigen. Arosa, Laax, Vaz/Obervaz, Pontresina, Scuol und Flims werden ebenfalls einen großen Bedarf von 200 Ladepunkten oder mehr haben. Laax ist die einzige Gemeinde mit einem hohen zukünftigen Bedarf an Ladestationen, die aktuell deutlich zu wenig Ladepunkte hat.

Laut dem Rechenmodell wurden im Jahr 2021 im Kanton Graubünden von Touristen bereits 714 t CO₂ durch die Nutzung von Elektrofahrzeugen anstelle von benzinbetriebenen Fahrzeugen eingespart. Im BAU-Szenario wurden bereits für das Jahr 2030 Einsparungen von mehr als 6'600 t CO₂ berechnet. Im Jahr 2035 werden es voraussichtlich knapp über 11'000 t sein. Insgesamt werden im Zeitraum von 2021 bis 2035 80'049 t CO₂ eingespart. Die Ergebnisse hängen insbesondere von der Anzahl Logiernächte ab. Die Region mit den meisten Logiernächten und damit dem größten CO₂-Einsparpotential ist derzeit Maloja, gefolgt von Prättigau/Davos und Surselva. Auch Plessur, Albula und Engiadina Bassa/Val Müstair haben ein großes CO₂-Einsparpotential. Für das SF-Szenario, mit einer stärkeren Förderung der Elektromobilität, wurden im Zeitraum von 2021 bis 2035 insgesamt Einsparungen von 104'680 t CO₂ berechnet. Das sind 24'631 t CO₂ oder rund 31 % mehr CO₂-Einsparungen, als im BAU-Szenario. Im Jahr 2035 können rund 13'772 t CO₂ eingespart werden. Im ADV-Szenario sind die CO₂-Einsparungen nahezu identisch mit dem SF-Szenario. Der höhere Anteil der etwas effizienteren Beschleunigt-Ladestationen ermöglichen ein etwas größeres Einsparpotential. Im Vergleich zum SF-Szenario können im Zeitraum von 2021-2035 jedoch nur 234 t CO₂ zusätzlich eingespart werden, insgesamt 104'914 t CO₂.

Im Ausgangsjahr 2021 benötigt im BAU-Szenario ein Elektrofahrzeug durchschnittlich 27.36 kWh pro Übernachtung. Dabei spart man mit einem EV im Jahr 2021 pro Fahrzeug und Übernachtung rund 25.6 kg CO₂ gegenüber einem Benzinfahrzeug. Bis im Jahr 2035 wird der benötigte Stromverbrauch pro EV geringer, weil die Fahrzeuge effizienter werden. Verbrennungsfahrzeuge werden ebenfalls deutlich sparsamer unterwegs sein. Im Jahr 2035 wird somit pro Logiernacht und Fahrzeug nur noch 23.54 kWh Strom benötigt. Dabei werden knapp 18 kg CO₂ pro Fahrzeug, oder 7.3 kg pro Person eingespart. Der Energiegehalt von 23.54 kWh entspricht etwa 43 % der Kapazität einer durchschnittlichen E-Fahrzeuggatterie von 55 kWh. Gemäß dem hier erstellten Rechenmodell beträgt der gesamte Stromverbrauch für die E-Fahrzeuge der Hotelgäste in Graubünden für das Ausgangsjahr 2021 im ADV-Szenario 749 MWh und im SF- und BAU-Szenario 763 MWh. Aktuell entspricht die Ausgangslage der vorhandenen Ladestationen am meisten dem ADV-Szenario mit rund 40 % Beschleunigt-Ladestationen. Im Jahr 2035 werden im BAU-Szenario bereits 14'451 MWh Strom benötigt, im SF-Szenario 18'031 MWh und im ADV-Szenario 17'682 MWh. Im Vergleich zum Gesamtstromverbrauch im Kanton Graubünden von knapp 2'000 GWh machen die rund 18 GWh für die E-Fahrzeuge der Hotelgäste einen sehr kleinen Anteil aus. 18 GWh entsprechen dem jährlichen Stromverbrauch von rund 3'600 durchschnittlichen Schweizer Haushalten, mit einem Verbrauch von 5'000 kWh (im Jahr 2019).

In den kommenden Jahren wird eine rasante Zunahme der Anzahl E-Ladestationen und E-Fahrzeugen erwartet. Wie in Kapitel 6 diskutiert, wurden für das Jahr 2022 zwischen 445 und 504 Ladepunkte bzw.

Ladeplätze berechnet, was immer noch weniger als ein Ladepunkt pro Hotelbetrieb ist bei 580 Betrieben mit 39'035 Betten (Stand 2021). Bis 2035 sollen es jedoch zwischen 4'595 und 5'716 Ladeplätze sein, verteilt auf 4'366 bis 5'430 Ladestationen, was rund 8-10 Ladepunkte pro Hotelbetrieb entspricht. Wie im Rechenmodell berechnet wurde, müsste je nach Szenario ein Ladepunkt pro 6.87-8.54 Betten vorhanden sein, um den durchschnittlichen Ladebedarf zu decken, was durchaus realisierbar erscheint. Bei voraussichtlich 5.4 Mio. Logiernächten in Hotels im Jahr 2035 und einem Anteil an Steckerfahrzeugen von 48-59.7 %, werden pro Tag durchschnittlich 14'864 Logiernächte verbucht und 3'625 Personenwagen erwartet, davon 1'740-2'164 E-Fahrzeuge. Im Vergleich dazu, waren laut Rechenmodell im Jahr 2021 täglich nur 100 PKWs von Touristen elektrisch unterwegs.

In der Diskussion in Abschnitt 6.2 wurden einige Einschränkungen der angewandten Methodik aufgezeigt. Für die Etablierung der E-Mobilität in der Hotellerie besteht in verschiedenen Bereichen weiterer Forschungsbedarf. Folgende Aspekte werden für weiterführende Forschungsarbeiten empfohlen, um bessere Analysen, auch für einzelne Ortschaften oder Hotelbetriebe, zu ermöglichen.

Aktueller Bestand der Ladestationen in Hotels

Um den Hotelgästen einfach zu ermöglichen, den aktuellen Bestand der Ladestationen in Hotels einzusehen, wird empfohlen eine hotelspezifische E-Mobilitäts-App oder Website mit hilfreichen Übersichten und Details über die angebotene Ladeinfrastruktur zu entwickeln, bei der sich alle Hotels registrieren können.

Entwicklung der Hotellerie in Graubünden

Um die lokale Entwicklung der Hotellerie genauer zu analysieren, wird empfohlen zukünftig geplante Projekte einer Tourismusregion, unter Absprache mit lokalen Behörden und den Gemeinden, näher zu untersuchen. Die Ansprüche der Gäste, die sich aus dem lokalen Freizeitangebot ergeben, können helfen, um das Ladestationsangebot entsprechend zu gestalten. Auch lokale Zusammenarbeiten zwischen Hotels und Ladestationsanbieter könnten innovative Projektideen für E-Ladestationen vorantreiben. Wenn genauer ermittelt werden soll, wie groß das Aufkommen an E-Fahrzeugen in Hotels ist, könnten Zählungen der Fahrzeuge oder Gästebefragungen durchgeführt werden, um konkrete Werte für eine Region oder Gemeinde zu erhalten. Auch für zurückgelegte Distanzen werden Gästenumfragen empfohlen. Zudem könnte auch eine Auswertung anhand der Schweizerischen automatischen Strassenverkehrszählung (SASVZ) vom Bundesamt für Strassen erfolgen.

Emissionswerte - LCA

Um die CO₂-Einsparungen von E-Fahrzeugen im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen zu bestimmen, könnte eine vollständige LCA-Studie durchgeführt werden. Dabei könnten auch Aspekte berücksichtigt werden, wie die unterschiedlichen Emissionswerte von Fahrzeugen auf Autobahnen und Hauptstraßen. Dazu müsste auch genauer analysiert werden, welcher Teil der Gesamtstrecke auf welchen Strassen zurückgelegt wird, was in Graubünden je nach Region sehr unterschiedlich sein kann, besonders wenn die Fahrten durch bergiges Gebiet führen.

Quellenverzeichnis

Literaturverzeichnis

Amt für Energie und Verkehr Graubünden (2022): *Elektrizitätsverbrauch Graubünden*. Wasser und Energie – Statistiken. Kanton Graubünden. https://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/diem/aev/wasser_energie/statistiken/Seiten/default.aspx (letzter Zugriff: 28.12.2022).

Andersson, G.; Boulouchos, K.; Bretschger, L.; Boes, R.; Brüttsch, F.; Filippini, M.; Leibundgut, H.; Mazzotti, M.; Noembrini, F.; Ramer, R. (2011): *Energiezukunft Schweiz*, S. 21–24. ETH Zürich. https://ethz.ch/content/dam/ethz/main/eth-zurich/nachhaltigkeit/studien/ETH_Zuerich_Energiezukunft_Schweiz.pdf (letzter Zugriff: 27.10.2022).

Andreas Justen; Raphaël Ancel; Nicole Mathys; Christian Schiller (2022): *Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050*, S. 4–6, 44, 56, 77, 114, 134, 156, 274. ARE. <https://www.are.admin.ch/are/de/home/verkehr-und-infrastruktur/grundlagen-und-daten/verkehrsperspektiven2050.html> (letzter Zugriff: 14.07.2022).

Apostolaki-Iosifidou, Elpiniki; Codani, Paul; Kempton, Willett (2017): *Measurement of power loss during electric vehicle charging and discharging*. Energy, 127, S. 730–742. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.015> (letzter Zugriff: 28.10.2022).

BAFU (2022a): *Kenngrossen zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Schweiz 1990–2020*, S. 9. Bundesamt für Umwelt BAFU. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-klima/klima--daten--indikatoren-und-karten/daten--treibhausgasemissionen-der-schweiz/treibhausgasinventar.html> (letzter Zugriff: 08.11.2022).

BFE (2020): *Energieperspektiven 2050+ Kurzbericht*, S. 47–48, 53. Bundesamt für Energie BFE, Prognos AG, INFRAS AG, TEP Energy GmbH, Ecoplan AG. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/politik/energieperspektiven-2050-plus.html> (letzter Zugriff: 27.10.2022).

BFE (2022a): *Energieverbrauch und Energieeffizienz der neuen Personenwagen und leichten Nutzfahrzeuge 2021*, Nr. 26, S. 4–5, 20–23, 40–41. Bundesamt für Energie BFE. <https://www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/72166.pdf> (letzter Zugriff: 24.11.2022).

BFE (2022c): *Brancheninfo 07/2022: Energieetikette 2023*, S. 1–4. Bundesamt für Energie BFE. <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/10979> (letzter Zugriff: 14.10.2022).

BFS (2016): *Schweizer Tourismusstatistik 2015*, S. 18. Bundesamt für Statistik BFS. <https://www.bfs.admin.ch/asset/de/1347709> (letzter Zugriff: 12.09.2022).

BFS (2017): *Verkehrsverhalten der Bevölkerung. Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015*, S. 17, 24, 63–65. Bundesamt für Statistik BFS. <https://www.bfs.admin.ch/asset/de/1840477> (letzter Zugriff: 12.09.2022).

BFS (2020): *Schweizer Tourismusstatistik 2018*, S. 27. Bundesamt für Statistik BFS. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/kataloge-datenbanken/publikationen.assetdetail.11507546.html> (letzter Zugriff: 03.10.2022).

BFS (2022b): *Hotel- und Kurbetriebe Angebot, Nachfrage und Auslastung nach Schweizer Tourismusregionen, 2005-2021*. Bundesamt für Statistik BFS. <https://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/dvs/awt/statistik/Tourismus/Seiten/Beherbergungsstatistik.aspx> (letzter Zugriff: 21.10.2022).

BFS (2022c): *Hotel- und Kurbetriebe: Angebot und Nachfrage der geöffneten Betriebe, nach Gemeinden (Jahresergebnisse 2017-2021)*. Daten auf Anfrage erhalten von Amt für Wirtschaft und Tourismus Graubünden, am 28.09.2022 [Unveröffentlicht].

BFS (2022d): *Hotel- und Kurbetriebe Angebot und Nachfrage nach Gemeinden 2017-2021*. Bundesamt für Statistik BFS. <https://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/dvs/awt/statistik/Tourismus/Seiten/Beherbergungsstatistik.aspx> (letzter Zugriff: 09.11.2022).

BFS (2022e): *Hotel- und Kurbetriebe Nachfrage nach Destinationen in Graubünden 2005-2022*. Bundesamt für Statistik BFS. <https://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/dvs/awt/statistik/Tourismus/Seiten/Beherbergungsstatistik.aspx> (letzter Zugriff: 15.08.2022).

BFS (2022f): *Hotel- und Kurbetriebe Nachfrage nach Herkunftsländern in Graubünden 2005-2022*. Bundesamt für Statistik BFS. <https://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/dvs/awt/statistik/Tourismus/Seiten/Beherbergungsstatistik.aspx> (letzter Zugriff: 03.10.2022).

BFS (2022i): *Schweizer Tourismusstatistik 2020*, S. 29. Bundesamt für Statistik BFS. <https://www.bfs.admin.ch/asset/de/21404458> (letzter Zugriff: 14.07.2022).

Bieker, Georg (2021): *A global comparison of the life-cycle greenhouse gas emissions of combustion engine and electric passenger cars*, S. 25, 53. International Council on Clean Transportation ICCT. <https://theicct.org/publication/a-global-comparison-of-the-life-cycle-greenhouse-gas-emissions-of-combustion-engine-and-electric-passenger-cars/> (letzter Zugriff: 15.10.2022).

Küng, Brigitte (2022): *Ergebnisse Umfrage Hospitality Collaboration Lab*, S. 24–26, 40. Hanser Consulting AG. [Unveröffentlicht].

Boulouchos, K., Bach, C., Bauer, C., Bucher, D., Cerruti, D., Dehdarian, A., Filippini, M., Held, M., Hirschberg, S., Kannan, R. (2021): *Pathways to a net zero CO₂ Swiss mobility system: SCCER Mobility Whitepaper*, S. 27–28. SCCER Mobility. <https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/481510> (letzter Zugriff: 22.11.2022).

Chatterjee, Pradip; Hermwille, Markus (2020): *Tackling the Challenges of Electric Vehicle Fast Charging*. ATZelectronics Worldwide, 15(10), S. 18–22. <https://doi.org/10.1007/s38314-020-0263-6>

(letzter Zugriff: 28.10.2022).

Cox, Brian; Bauer, Christian; Beltran, Angelica Mendoza; Van Vuuren, Detlef P.; Mutel, Christopher L. (2020): *Life cycle environmental and cost comparison of current and future passenger cars under different energy scenarios.* Applied Energy, 269, S. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115021> (letzter Zugriff: 16.10.2022).

EnergieSchweiz; BFE (2020): *Umweltauswirkungen von Personenwagen—Heute und morgen.* Faktenblatt – Update Februar 2020, S. 1–4. <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/9460> (letzter Zugriff: 16.10.2022).

EnergieSchweiz; BFE (2021): *Stromverbrauch eines typischen Haushalts,* S. 1. <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/10559> (letzter Zugriff: 28.12.2022).

Fischedick, Manfred; Grunwald, Armin (2017): *Pfadabhängigkeiten in der Energiewende: Das Beispiel Mobilität,* S. 1–64. Deutsche Akademie der Technikwissenschaften. https://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/2017_ESYS_Analyse_Pfadabhaengigkeiten.pdf (letzter Zugriff: 02.01.2023).

Frisknecht, Rolf (2022): *Energieetikette für Personenwagen: Umweltkennwerte 2022 der Strom- und Treibstoffbereitstellung,* S. 1–28. treeze Ltd.. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/news-und-medien/publikationen.exturl.html/aHR0cHM6Ly9wdWJkYi5iZmUuYWRTaW4uY2gvZG9vc3VjaGU=.html?keywords=&q=Energieetikette+Personenwagen+2022&from=&to=&nr=> (letzter Zugriff: 14.10.2022).

Gregor, Erbach (2022): *CO2 emission standards for new cars and vans,* S. 1–2. EPRS: European Parliamentary Research Service. <https://policycommons.net/artifacts/2460866/co2-emission-standards-for-new-cars-and-vans/3482709/> (letzter Zugriff: 08.11.2022).

Hartmann, Peter (2018): *Mobilität in Graubünden—Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015,* S. 2–5, 10, 28–29. Amt für Raumentwicklung ARE. https://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/dvs/are/publikationen/Bericht_Mikrozensus_GR_2015.pdf (letzter Zugriff: 13.09.2022).

HotellerieSuisse; Swiss eMobility (2022): *Ratgeber E-Mobilität,* S. 1–2. <https://www.hotelleriesuisse.ch/de/leistungen-und-support/operations-und-infrastruktur/e-mobilitaet/download-81350B46-93EE-48DD-9CF6-85F3909E8343.secure> (letzter Zugriff: 28.12.2022).

IEA (2021): *Global EV Outlook 2021. Private sector commitment and other electrification trends,* S. 23, 33–34. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021> (letzter Zugriff: 18.08.2022).

IEA (2022a): *Global EV Outlook 2022. Trends and developments in EV markets,* S. 12–54. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022> (letzter Zugriff: 20.10.2022).

Thoma, Karl; Krauspe, Tao; Schönwandt, Ingo; Kohler, Matthias (2017): *Masterplan Ladeinfrastruktur*

E-Mobilität Kanton Graubünden, S. 1–10, 23, 30, 35. Herausgeber: Amt für Energie und Verkehr Graubünden (AEV).

https://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/diem/aev/dokumentation/EnergieeffizienzDokumente/Masterplan_Ladeinfrastruktur_E-Mobilitaet_Graubunden.pdf (letzter Zugriff: 14.07.2022).

KBOB; ecobau; IPB (2021): *Regeln für die Ökobilanzierung von Baustoffen und Bauprodukten in der Schweiz, Version 5.0. Plattform „Ökobilanzdaten im Baubereich“*, S. 19. KBOB, eco-bau, IPB. https://www.ecobau.ch/resources/uploads/Oekobilanzdaten/Berechnungsregeln/210607_Regeln_Bilanzierung_Baustoffe_v5_0.pdf (letzter Zugriff: 26.10.2022).

Kostopoulos, Emmanouil D.; Spyropoulos, George C.; Kaldellis, John K. (2020): *Real-world study for the optimal charging of electric vehicles*. *Energy Reports*, 6, S. 418–426. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.12.008> (letzter Zugriff: 28.10.2022).

Krebs, Luana; Frischknecht, Rolf (2021): *Umweltbilanz Strommixe Schweiz 2018*, S. 6, 24–28, 32. treeze Ltd.. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/suche.html#Umweltbilanz%20Strommixe%20Schweiz%202018> (letzter Zugriff: 14.09.2022).

Romang, Krispin (2021): *Szenario 2035: Marktdurchdringung für Steckerfahrzeuge (PEV) in der Schweiz*, S. 1–16. Swiss eMobility, Protoscar. <https://www.swiss-emobility.ch/de/Publikationen/Szenario.php> (letzter Zugriff: 19.10.2022).

Lu, Languang; Han, Xuebing; Li, Jianqiu; Hua, Jianfeng; Ouyang, Minggao (2013): *A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles*. *Journal of Power Sources*, 226, S. 272–288. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.10.060> (letzter Zugriff: 28.10.2022).

Neger, Christoph; Prettenhaler, Franz; Gössling, Stefan; Damm, Andrea (2021): *Carbon intensity of tourism in Austria: Estimates and policy implications*. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 33, S. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2020.100331> (letzter Zugriff: 21.10.2022).

De Haan, Peter; Rosser, Silvan; Lanz, Lukas; Ribi, Felix; Chamberlin, Michele; Mina, Alessio (2022): *Electric and Hydrogen Mobility Scenarios Switzerland 2022*, S. 4–15, 20–24. EBP Schweiz AG. <https://www.ebp.ch/de/publikationen/electric-and-hydrogen-mobility-scenarios-switzerland-2022> (letzter Zugriff: 20.10.2022).

Plaz, Peder; Schmid, Sarah (2015): *Langfristige Entwicklung des Bündner Tourismus*, S. 12–20, 23–26, 32–39. Wirtschaftsforum Graubünden. https://www.wirtschaftsforum-gr.ch/uploads/files/a1_analyse.pdf (letzter Zugriff: 06.10.2022).

Plötz, P.; Link, S.; Ringelschwendner, H.; Keller, M.; Moll, C.; Bieker, G.; Dornoff, J.; & Mock, P. (2022): *Real-world usage of plug-in hybrid vehicles in Europe: A 2022 update on fuel consumption, electric driving, and CO2 emissions*, S. 14. International Council on Clean Transportation ICCT. <https://theicct.org/publication/real-world-phev-use-jun22/> (letzter Zugriff: 15.10.2022).

Schweiz Tourismus (2018): *Tourismus Monitor Schweiz 2017*, S. 1–16. <https://www.stnet.ch/de/marktforschung/tourismus-monitor-schweiz/> (letzter Zugriff: 19.08.2022).

Thórhallsdóttir, Gyða; Ólafsson, Rögnvaldur; Jóhannesson, Gunnar Thór (2021): *A methodology of estimating visitor numbers at an Icelandic destination using a vehicle counter and a radar.* Journal of Outdoor Recreation and Tourism, 35, S. 4–5. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2021.100378> (letzter Zugriff: 21.10.2022).

VSE (2012): *Wege in die neue Stromzukunft. Gesamtbericht,* Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen, S. 52–59, 103–104. VSE. <https://www.strom.ch/de/media/7496/download> (letzter Zugriff: 27.10.2022).

Internetquellen

ADAC (2022): *Elektroauto und Ladeverluste: So können Sie Kosten vermeiden.* adac.de. Abrufbar unter <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/laden/ladeverluste-elektroauto-studie/> (letzter Zugriff: 28.10.2022).

BAFU (2022b): *Klima: Das Wichtigste in Kürze.* Bundesamt für Umwelt BAFU. Abrufbar unter <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/inkuerze.html> (letzter Zugriff: 14.12.2022).

BFE (2022b): *Anpassung der Energieetikette für Neuwagen ab 1. Januar 2023.* Bundesamt für Energie BFE. Abrufbar unter <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/news-und-medien/medienmitteilungen/mm-test.msg-id-89602.html> (letzter Zugriff: 14.10.2022).

BFE (2022d): *Kennzahlen Neuwagen und Ladeinfrastruktur.* BFE, Mobilität, Geoinformation. Kennzahlen Neuwagen und Ladeinfrastruktur. Bundesamt für Energie BFE. Abrufbar unter https://www.uvegis.admin.ch/BFE/storymaps/MO_Kennzahlen_Fahrzeuge/Ladeinfrastruktur_Elektromobilitaet/?lang=de (letzter Zugriff: 21.11.2022).

BFS (2022a): *Bestand der Personenwagen nach Kanton, Treibstoff und Jahr.* Bundesamt für Statistik BFS. Abrufbar unter https://www.pxweb.bfs.admin.ch/pxweb/de/px-x-1103020100_106/-/px-x-1103020100_106.px/ (letzter Zugriff: 08.09.2022).

BFS (2022g): *Neue Inverkehrsetzungen von Strassenfahrzeugen nach Kanton, Fahrzeuggruppe / -art, Treibstoff, Monat und Jahr.* Bundesamt für Statistik BFS. Abrufbar unter https://www.bfs.admin.ch/asset/de/px-x-1103020200_120 (letzter Zugriff: 19.11.2022).

BFS (2022h): *Zeitliche Entwicklung der Reisen mit Übernachtungen, Wohnbevölkerung ab 6 oder 15 Jahren.* Bundesamt für Statistik BFS. Abrufbar unter <https://www.bfs.admin.ch/asset/de/23445569> (letzter Zugriff: 21.10.2022).

BFS (2022j): *Anzahl Reisen mit Übernachtungen, Wohnbevölkerung ab 6 Jahren—2016-2021 | Tabelle T 10.04.01.03.01.* Bundesamt für Statistik BFS. Abrufbar unter <https://www.bfs.admin.ch/asset/de/23445562> (letzter Zugriff: 19.10.2022).

Danalet, Antonin (2022): *Mikrozensus Mobilität und Verkehr.* Bundesamt für Raumentwicklung ARE.

Abrufbar unter <https://www.are.admin.ch/are/de/home/verkehr-und-infrastruktur/grundlagen-und-daten/verkehrsverhalten.html> (letzter Zugriff: 13.09.2022).

Der Bundesrat (2022): *Energie: Bundesrat stärkt für den Winter 2022/23 die Versorgungssicherheit weiter.* Abrufbar unter <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-89970.html> (letzter Zugriff: 27.10.2022).

Deutscher Alpenverein (2015): *Wie wir Bergsportler in die Berge kommen.* alpenverein.de. Abrufbar unter https://www.alpenverein.de/natur-klima/mobilitaet/ergebnisse-der-dav-mobilitaetsumfrage_aid_16102.html (letzter Zugriff: 25.10.2022).

EAFO (2022): *Switzerland—Vehicles and fleet | European Alternative Fuels Observatory.* European Commission Website. Abrufbar unter <https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/transport-mode/road/switzerland/vehicles-and-fleet> (letzter Zugriff: 05.11.2022).

Eaton (2022): *Green Motion DC 22.* Eaton. Abrufbar unter <https://www.eaton.com/at/de-de/catalog/emobility/green-motion-dc-22.html> (letzter Zugriff: 28.10.2022).

EEA (2022): *Greenhouse gas emission intensity of electricity generation in Europe.* European Environment Agency. Abrufbar unter <https://www.eea.europa.eu/ims/greenhouse-gas-emission-intensity-of-1> (letzter Zugriff: 15.09.2022).

Electrosuisse (2022): *Öffentliche Ladestation in der Schweiz finden.* Electrosuisse e-mobile. Abrufbar unter <https://www.e-mobile.ch/de/oeffentliche-ladestation-finden/> (letzter Zugriff: 01.09.2022).

EnergieSchweiz (2020): *Energieeffiziente Personenwagen—Welche Antriebstechnologie für Autos ist am ökologischsten?* Energieeffiziente Personenwagen. Abrufbar unter <https://www.energieschweiz.ch/mobilitaet/personenwagen/> (letzter Zugriff: 27.11.2022).

EnergieSchweiz; TCS (2022): *Informationen Energieeffizient fahren – Geld sparen.* TCS. Abrufbar unter <https://www.verbrauchskatalog.ch/de/informationen/verbrauch> (letzter Zugriff: 16.10.2022).

EV Database (2022): *EV Database—Nutzbare Batteriekapazität von Elektroautos.* EV Database v4.3. Abrufbar unter <https://ev-database.de/cheatsheet/useable-battery-capacity-electric-car> (letzter Zugriff: 11.11.2022).

IEA (2022b): *Global energy-related CO2 emissions by sector.* IEA. Abrufbar unter <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-energy-related-co2-emissions-by-sector> (letzter Zugriff: 26.10.2022).

IEA (2022c): *Comparative life-cycle greenhouse gas emissions of a mid-size BEV and ICE vehicle.* IEA. Abrufbar unter <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/comparative-life-cycle-greenhouse-gas-emissions-of-a-mid-size-bev-and-ice-vehicle> (letzter Zugriff: 28.10.2022).

KBOB (2022): *Koordinationskonferenz der Bau-und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren KBOB.* Abrufbar unter <https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home.html> (letzter Zugriff: 26.10.2022).

Fasse, Markus (2022): *Autovermietung: Sixt stellt auf Elektroautos um*, in: *Handelsblatt*, 19.09.2022. Abrufbar unter <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/autovermietung-sixt-stellt-auf-elektroautos-um-guenstiger-als-vergleichbare-autos-mit-verbrennungsmotor/28689794.html> (letzter Zugriff: 20.10.2022).

Frei, Riccarda (2016): *Diese Hotels sind jetzt E-Tankstellen*, in: *Hotellerie Gastronomie Zeitung*, 31.08.2016. Abrufbar unter <https://www.hotellerie-gastronomie.ch/de/artikel/diese-hotels-sind-jetzt-e-tankstellen> (letzter Zugriff: 07.12.2022).

Roadmap Elektromobilität (2022): *Roadmap Elektromobilität 2025 | Gemeinsam viel in Bewegung gesetzt / Roadmap Elektromobilität 2025*. Abrufbar unter <https://roadmap-elektromobilitaet.ch/de/> (letzter Zugriff: 07.11.2022).

Schweiz Tourismus (2022a): *Hotels mit Ladestation | Schweiz Tourismus*. Abrufbar unter <https://www.myswitzerland.com/de-ch/erlebnisse/erlebnisfahrten/auto-motorrad-grand-tour/e-grand-tour/hotels-mit-ladestation-suche/> (letzter Zugriff: 01.09.2022).

Schweiz Tourismus (2022b): *Tourismus Monitor Schweiz*. STnet. Abrufbar unter <https://www.stnet.ch/de/marktforschung/tourismus-monitor-schweiz/> (letzter Zugriff: 19.10.2022).

Smorodin, Amy; Mock, Peter (2022): *Raising the bar: French and Italian manufacturers are leading on electric vehicle target announcements*. International Council on Clean Transportation ICCT. Abrufbar unter <https://theicct.org/fr-ita-manufacturer-ev-targets-jan22/> (letzter Zugriff: 02.01.2023).

Standeskanzlei Graubünden (2015): *Gebietsreform wird auf 2016 hin umgesetzt*. Medienmitteilungen Standeskanzlei. Kanton Graubünden. Abrufbar unter <https://www.gr.ch/DE/Medien/Mitteilungen/MMStaka/2015/Seiten/2015011502.aspx> (letzter Zugriff: 07.01.2023).

Swiss eMobility (2022): *Über uns—Swiss eMobility*. Wir machen Elektromobilität in der Schweiz möglich. Abrufbar unter <https://www.swiss-emobility.ch/de/ueber-uns/> (letzter Zugriff: 04.11.2022).

Tesla (2022): *Tesla Destination Charging in Switzerland | Tesla*. Tesla Destination Charging in Switzerland | Tesla. Abrufbar unter <https://www.tesla.com/findus/list/chargers/Switzerland> (letzter Zugriff: 01.09.2022).

UVEK (2017): *Energiestrategie 2050: Abstimmung zum Energiegesetz*. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK. Abrufbar unter <https://www.uvek.admin.ch/uvek/de/home/uvek/abstimmungen/abstimmung-zum-energiegesetz.html> (letzter Zugriff: 07.11.2022).

UVEK (2021): *Energiestrategie 2050*. Energiestrategie 2050. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK. Abrufbar unter <https://www.uvek.admin.ch/uvek/de/home/energie/energiestrategie-2050.html> (letzter Zugriff: 07.11.2022).

Melian, Veronica; Zebib, Adrian (2022): *How Covid-19 contributes to a long-term boost in remote working*. Deloitte Switzerland. Abrufbar unter <https://www2.deloitte.com/ch/en/pages/human-capital/articles/how-covid-19-contributes-to-a-long-term-boost-in-remote-working.html> (letzter Zugriff: 19.10.2022).

Anhang

Im Anhang A sind zusätzliche Tabellen aufgeführt. Anhang B ist in einem separaten Ordner und beinhaltet die zugehörigen Excel-Dokumente zu dieser Arbeit, inklusive der beiden Rechenmodelle.

Anhang A: Tabellen mit zusätzlichen Daten

Tab. A-1 Anzahl Ladestationen pro Region BAU (90 % Langsam- und 10 % Beschleunigt-Ladestationen).

Anzahl Ladestationen pro Region (Business as Usual BAU)					
	Jahr	2021	2025	2030	2035
GRAUBÜNDEN		263	904	2417	4366
Albula		23	79	210	380
Bernina		4	14	37	67
Engiadina Bassa/Val Müstair		27	92	245	443
Imboden		12	42	112	203
Landquart		3	9	25	45
Maloja		69	239	638	1153
Moesa		2	7	19	35
Plessur		26	91	242	438
Prättigau/Davos		54	187	499	901
Surselva		36	124	332	600
Viamala		6	21	57	102

Tab. A-2 Anzahl Ladestationen pro Region SF (90 % Langsam- und 10 % Beschleunigt-Ladestationen).

Anzahl Ladestationen pro Region (Stärkere Förderung der Elektromobilität SF)					
	Jahr	2021	2025	2030	2035
GRAUBÜNDEN		263	1130	3324	5430
Albula		23	98	289	472
Bernina		4	17	51	84
Engiadina Bassa/Val Müstair		27	115	337	551
Imboden		12	52	154	252
Landquart		3	12	34	56
Maloja		69	298	878	1433
Moesa		2	9	27	43
Plessur		26	113	333	544
Prättigau/Davos		54	233	686	1121
Surselva		36	155	457	746
Viamala		6	26	78	127

Tab. A-3 Anzahl Ladestationen pro Region ADV (60 % Langsam- und 40 % Beschleunigt-Ladestationen).

Anzahl Ladestationen pro Region (Advanced Charging ADV)					
	Jahr	2021	2025	2030	2035
GRAUBÜNDEN		222	951	2799	4572
Albula		19	83	243	398
Bernina		3	15	43	71
Engiadina Bassa/Val Müstair		22	96	284	464
Imboden		10	44	130	212
Landquart		2	10	29	47
Maloja		59	251	739	1207
Moesa		2	8	22	37
Plessur		22	95	281	459
Prättigau/Davos		46	196	578	944
Surselva		30	131	384	628
Viamala		5	22	65	107

Tab. A-4 CO₂-Einsparung [t CO₂] pro Region BAU (90 % Langsam- und 10 % Beschleunigt-Ladestationen).

CO₂-Einsparung [t CO₂] durch E-Ladestationen in Hotels - Szenario BAU					
	2021	2025	2030	2035	Total (2021-2035)
GRAUBÜNDEN	714	2441	6628	11038	80049
Albula	62	207	577	986	6997
Bernina	11	37	115	217	1420
Engiadina Bassa/Val Müstair	81	244	618	960	7402
Imboden	36	121	365	669	4474
Landquart	6	23	68	120	825
Maloja	214	746	2021	3356	24389
Moesa	4	14	47	89	573
Plessur	72	255	650	1016	7779
Prättigau/Davos	125	473	1232	1969	14786
Surselva	90	283	842	1518	10291
Viamala	13	38	93	138	1112

Tab. A-5 CO2-Einsparung [t CO2] pro Region SF (90 % Langsam- und 10 % Beschleunigt-Ladestationen).

CO2-Einsparung [t CO2] durch E-Ladestationen in Hotels - Szenario SF					
	2021	2025	2030	2035	Total (2021-2035)
GRAUBÜNDEN	714	3178	9199	13772	104680
Albula	62	269	801	1231	9148
Bernina	11	48	160	271	1855
Engiadina Bassa/Val Müstair	81	317	858	1197	9681
Imboden	36	157	507	835	5847
Landquart	6	30	94	149	1078
Maloja	214	971	2804	4188	31896
Moesa	4	19	65	111	749
Plessur	72	331	902	1268	10178
Prättigau/Davos	125	616	1710	2457	19346
Surselva	90	369	1168	1894	13447
Viamala	13	50	130	172	1455

Tab. A-6 CO2-Einsparung [t CO2] pro Region ADV (60 % Langsam- und 40 % Beschleunigt-Ladestationen).

CO2-Einsparung [t CO2] durch E-Ladestationen in Hotels - Szenario ADV					
	2021	2025	2030	2035	Total (2021-2035)
GRAUBÜNDEN	715	3184	9219	13805	104914
Albula	62	270	803	1233	9168
Bernina	11	48	161	272	1859
Engiadina Bassa/Val Müstair	81	318	859	1200	9703
Imboden	36	157	508	837	5860
Landquart	6	31	94	150	1081
Maloja	214	973	2810	4198	31967
Moesa	4	19	65	111	751
Plessur	72	332	904	1271	10200
Prättigau/Davos	125	617	1714	2463	19389
Surselva	91	369	1171	1899	13477
Viamala	13	50	130	173	1458

Tab. A-7 Anteile Elektrofahrzeuge (BEV, EV, PHEV) am Gesamtbestand der Schweizer Autoflotte, Werte für 2021 von (EAFO, 2022), Daten für 2025, 2030 und 2035 von (Romang, 2021), weitere Werte sind interpoliert.

Anteile am Gesamtbestand der Schweizer Autoflotte	Anteil BEV, Szenario BAU	Anteil BEV, Szenario SF und ADV	Anteil EV, Szenario BAU	Anteil PHEV, Szenario BAU	Anteil EV, Szenario SF und ADV	Anteil PHEV, Szenario SF und ADV
Jahr	TOTAL	TOTAL	EV	PHEV	EV	PHEV
2021	2.91%	2.91%	1.76%	1.15%	1.76%	1.15%
2022	4.68%	5.31%	3.07%	1.61%	3.68%	1.62%
2023	6.46%	7.71%	4.38%	2.08%	5.61%	2.10%
2024	8.23%	10.10%	5.69%	2.54%	7.53%	2.57%
2025	10.00%	12.50%	7.00%	3.00%	9.46%	3.04%
2026	13.33%	17.33%	10.27%	3.06%	14.10%	3.23%
2027	16.66%	22.16%	13.55%	3.12%	18.74%	3.42%
2028	20.00%	27.00%	16.82%	3.17%	23.38%	3.62%
2029	23.33%	31.83%	20.09%	3.23%	28.02%	3.81%
2030	26.66%	36.66%	23.37%	3.29%	32.66%	4.00%
2031	30.93%	41.27%	27.76%	3.17%	37.47%	3.80%
2032	35.20%	45.88%	32.15%	3.04%	42.27%	3.60%
2033	39.46%	50.48%	36.55%	2.92%	47.08%	3.41%
2034	43.73%	55.09%	40.94%	2.79%	51.88%	3.21%
2035	48.00%	59.70%	45.33%	2.67%	56.69%	3.01%

Tab. A-8 Jährlicher Stromverbrauch [MWh] durch E-Ladestationen in Hotels - Szenario BAU

Jährlicher Stromverbrauch [MWh] durch E-Ladestationen in Hotels - Szenario BAU					
	Jahr	2021	2025	2030	2035
GRAUBÜNDEN		763	2735	7971	14451
Albula		66	232	694	1291
Bernina		12	41	139	284
Engiadina Bassa/Val Müstair		86	273	743	1256
Imboden		39	135	439	876
Landquart		7	26	82	157
Maloja		229	836	2430	4394
Moesa		4	16	56	117
Plessur		77	285	781	1330
Prättigau/Davos		134	530	1482	2578
Surselva		97	317	1012	1987
Viamala		13	43	112	181

Tab. A-9 Jährlicher Stromverbrauch [MWh] durch E-Ladestationen in Hotels - Szenario SF

Jährlicher Stromverbrauch [MWh] durch E-Ladestationen in Hotels - Szenario SF					
	Jahr	2021	2025	2030	2035
GRAUBÜNDEN		763	3561	11062	18031
Albula		66	302	963	1611
Bernina		12	54	193	355
Engiadina Bassa/Val Müstair		86	355	1031	1568
Imboden		39	176	610	1093
Landquart		7	34	113	195
Maloja		229	1089	3372	5483
Moesa		4	21	78	146
Plessur		77	371	1085	1660
Prättigau/Davos		134	690	2057	3217
Surselva		97	413	1405	2480
Viamala		13	56	156	225

Tab. A-10 Jährlicher Stromverbrauch [MWh] durch E-Ladestationen in Hotels - Szenario ADV

Jährlicher Stromverbrauch [MWh] durch E-Ladestationen in Hotels - Szenario ADV					
	Jahr	2021	2025	2030	2035
GRAUBÜNDEN		749	3492	10848	17682
Albula		65	296	945	1580
Bernina		11	53	189	348
Engiadina Bassa/Val Müstair		85	348	1011	1537
Imboden		38	173	598	1071
Landquart		6	33	111	192
Maloja		224	1067	3307	5376
Moesa		4	21	76	143
Plessur		76	364	1064	1627
Prättigau/Davos		131	677	2017	3154
Surselva		95	405	1378	2432
Viamala		13	55	153	221

Tab. A-11 Hotel- und Kurbetriebe: Angebot und Nachfrage der geöffneten Betriebe in Graubünden (Jahresergebnisse 2005 - 2021) (BFS, 2022b).

Hotel- und Kurbetriebe: Angebot und Nachfrage der geöffneten Betriebe in Graubünden (Jahresergebnisse 2005 - 2021)								
Jahr	geöffnete Betriebe	verfügbare Zimmer	verfügbare Betten	Ankünfte	Logiernächte	Zimmer- nächte	netto Zimmer- auslastung	netto Betten- auslastung
2005	692	19'534	39'231	1'696'711	5'569'534	3'168'571	48.4%	42.4%
2006	685	19'189	38'446	1'748'106	5'706'535	3'266'376	51.0%	44.5%
2007	688	19'103	38'310	1'824'122	5'867'775	3'449'535	54.5%	46.3%
2008	677	19'003	38'124	1'971'903	6'239'848	3'650'829	57.6%	49.0%
2009	669	18'687	37'881	1'870'043	5'885'436	3'426'314	55.9%	47.3%
2010	668	19'111	39'081	1'884'448	5'807'455	3'357'252	54.8%	46.3%
2011	654	18'887	38'767	1'787'067	5'365'622	3'143'444	51.4%	42.7%
2012	648	18'957	39'190	1'736'268	5'064'195	2'987'106	49.0%	40.3%
2013	643	18'819	39'083	1'765'956	5'160'975	3'019'662	49.8%	41.0%
2014	638	18'646	38'649	1'744'679	5'052'225	2'960'459	48.9%	40.2%
2015	633	18'508	38'461	1'658'854	4'717'301	2'777'229	46.7%	38.1%
2016	609	18'236	37'915	1'684'581	4'627'447	2'722'250	46.2%	37.7%
2017	611	18'591	38'827	1'797'235	4'853'359	2'838'828	47.2%	38.6%
2018	607	18'683	39'264	1'926'828	5'132'212	2'993'110	49.7%	40.5%
2019	601	18'478	38'857	1'992'554	5'256'016	3'079'710	50.2%	40.8%
2020	550	17'254	36'229	1'664'555	4'769'970	2'679'621	47.2%	40.1%
2021	580	18'392	39'031	1'866'300	5'153'155	2'880'624	47.4%	39.8%

Tab. A-12 Hotel- und Kurbetriebe: Geöffnete Betriebe in Graubünden - Stand 2021 und erwartete Werte für 2035. Einzelne Einträge wurden vom BFS gerundet. Für 2035 eigene Werte berechnet, Daten für 2021 von (BFS, 2022b), (BFS, 2022c), (BFS, 2022d) und (BFS, 2022e).

Abk.	Region Name	Betriebe	Zimmer	Betten		Logiernächte	
		2021	2021	2021	2035	2021	2035
Al	Albula	47	1'545	3'395	3'414	447'461	484'732
Be	Bernina	22	288	603	606	78'547	106'761
EB	Engiadina Bassa/ Val Müstair	90	1'878	3'958	3'980	583'271	471'635
Im	Imboden	23	869	1'812	1'822	261'391	328'739
La	Landquart	10	210	404	407	44'228	58'817
Ma	Maloja	115	5'177	10'305	10'363	1'543'145	1'649'655
Mo	Moesa	11	140	313	314	27'950	43'785
Pl	Plessur	55	1'980	3'914	3'936	520'960	499'343
Pr	Prättigau/Davos	90	3'926	8'056	8'101	902'418	967'851
S	Surselva	81	1'941	5'362	5'392	653'180	746'137
V	Viamala	35	441	913	918	90'604	67'825
GR	Graubünden	580	18'395	39'035	39'253	5'153'155	5'425'280

Anhang B: Excel-Dokumente

Anhang B ist in einem separaten Ordner und enthält die zugehörigen Excel-Dokumente zu dieser Arbeit, inklusive der beiden Rechenmodelle.

Verzeichnisstruktur Anhang B: Excel-Dokumente

Verzeichnis	Inhalt
Inhaltsverzeichnis.pdf	Dieses Inhaltsverzeichnis ist auch im beiliegenden Ordner aufgeführt.
\Dokumente	Modell_Bedarf_E-Ladestationen_GR (*.xlsx) Modell_CO2_Einsparung_GR (*.xlsx) Karten_GR (*.xlsx)

In den Dokumenten „Modell_Bedarf_E-Ladestationen_GR“ und „Modell_CO2_Einsparung_GR“ sind die Rechenmodelle sowie die dazugehörigen Daten ersichtlich. Verweise auf die verschiedenen Excel-Arbeitsblätter sind an den entsprechenden Stellen in diesem Bericht zu finden.

Im Dokument „Karten_GR“ sind die erstellten Karten des Kantons Graubünden aufgeführt. Die Karten basieren auf den von Excel für den Kanton definierten Ortschaften. Karten nach Gemeinden und Regionen können nur manuell gruppiert werden. Dazu wurden je nach Karte unterschiedliche Gruppierungen erstellt, unterteilt in verschiedene Arbeitsblätter.

Eidesstattliche Erklärung

Erklärung zur Abschlussarbeit gemäß § 22 Abs. 7 APB der TU Darmstadt

Hiermit versichere ich, Gabriel Ackermann, die vorliegende Abschlussarbeit ohne Hilfe Dritter und nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln angefertigt zu haben. Alle Stellen, die Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht worden. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Mir ist bekannt, dass im Falle eines Plagiats (§ 38 Abs. 2 APB) ein Täuschungsversuch vorliegt, der dazu führt, dass die Arbeit mit 5,0 bewertet und damit ein Prüfungsversuch verbraucht wird. Abschlussarbeiten dürfen nur einmal wiederholt werden.

Bei der abgegebenen Thesis stimmen die schriftliche und die zur Archivierung eingereichte elektronische Fassung überein.

Darmstadt, den 12.01.2023

