

Gesamtkonzept erneuerbare Antriebe in der Mobilität Stadt Luzern

Schlussbericht
26. Februar 2024



Projektteam

Alessio Mina
Silvan Rosser
Peter de Haan
Julia Maschler

Kerngruppe Stadt Luzern

Martin Bachmann, Rechtsdienst Umwelt- und Mobilitätsdirektion
Peter Schmidli, Umweltschutz
David Walter, Tiefbauamt
Heinz Zurkirchen, Tiefbauamt

Projektsteuerung

Katja Dürst, Umweltschutz
Milena Scherer, Tiefbauamt

Begleitgruppe

Lukas Arni, Stadtplanung
Fabian Bucher, ewl energie wasser luzern
Fabian Grüter, ewl energie wasser luzern
Roland Häfliger, Feuerwehr
Damian Hunkeler, Hauseigentümerverband HEV Luzern
Cyrill Meyer, CKW AG
Nicole Münch, Immobilien
Hans Petermann, Immobilien
Pascal Stolz, Stadtplanung
Jörg Weingartner, ewl energie wasser luzern
Alex Widmer, Hauseigentümerverband HEV Luzern
Andreas Zemp, Verkehrsbetriebe Luzern AG
Thomas Zenger, Städtebau

EBP Schweiz AG
Mühlebachstrasse 11
8032 Zürich
Schweiz
Telefon +41 44 395 16 16
info@ebp.ch
www.ebp.ch

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	5
2.	Grundlagen nachhaltiger Mobilität	9
3.	Alternative Antriebstechnologien	15
3.1	Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV)	15
3.2	Plug-in-Hybridfahrzeuge (PHEV)	16
3.3	Brennstoffzellen Fahrzeuge (FCEV)	18
3.4	Gasfahrzeuge	19
3.5	Fahrzeuge mit synthetisch hergestelltem Treibstoff (E-Fuels)	20
3.6	Umweltbelastung	22
3.7	Zwischenfazit	22
4.	Bidirektionales Laden	23
4.1	Technologie	23
4.2	Vehicle to Home (V2H)	24
4.3	Vehicle to Grid (V2G)	25
4.4	Schlussfolgerung	28
5.	Ausgangslage der Elektromobilität in der Stadt Luzern	30
6.	Entwicklung der Elektromobilität in der Stadt Luzern	33
6.1	Das Modell zur Abschätzung der zukünftigen Entwicklung	33
6.2	Entwicklung soziodemografischer Rahmendaten nach Technologie und je Verkehrszone	35
6.3	Entwicklung der Fahrzeugbestände nach Technologie	37
6.4	Ladebedürfnisse und Mix von Ladeoptionen	41
6.5	Entwicklung des Ladeinfrastrukturbedarfs	43
6.6	Räumliche Verteilung des Bedarfs an allgemein zugänglicher Ladeinfrastruktur	47
7.	Massnahmen für die Dekarbonisierung des Verkehrs	54
7.1	Massnahmen anderer Städte	54
7.2	Auswahl der Massnahmen	55
7.3	Massnahmenplan	58
7.4	Übersicht und Beurteilung der Massnahmen	61
8.	Allgemein zugängliche Ladeinfrastruktur	64
8.1	Umsetzungsplan und Standortauswahl (E1)	64

8.2	Definition Betreibermodell (E2)	73
8.3	Ausschreibung und Konzessionierung Ladestandorte (E3)	83
8.4	Realisierung Basisinfrastruktur (E4)	85
<hr/>		
9.	Förderungen	86
9.1	Förderprogramm Ladeinfrastruktur (E5)	86
9.2	Beratungsangebot Elektromobilität (E6*)	90
<hr/>		
10.	Regulierungen	91
10.1	Vorgaben Basisinfrastruktur für Ladepunkte bei Neubau und Sanierungen (E7)	91
10.2	Erhöhung Preise bzw. Nichtausstellung von Dauerparkkarten auf öffentlichem Grund für Verbrennungsfahrzeuge (E8, E9)	92
10.3	Taxibewilligungen nur für emissionsfreie Fahrzeuge (E10)	93
10.4	Fahrverbot für Verbrennungsfahrzeuge	94
10.5	Zugangsbeschränkungen für Verbrennerfahrzeuge in Parkhäusern, von welchen die Stadt Beteiligungsquoten besitzt (E11)	95
<hr/>		
11.	Vorbildrolle	96
11.1	Ladeinfrastruktur städtischer Liegenschaften für MitarbeiterInnen, BesucherInnen und AnwohnerInnen (E12)	96
11.2	Städtischen Fuhrpark auf erneuerbare Antriebe umstellen (M07*) & Ladeinfrastruktur für Dienstfahrzeuge schaffen (E13*)	102
11.3	Nachhaltige Beschaffungspraxis der Stadt (M08*)	102
<hr/>		
12.	Quellen	103

Anhang

A1	Szenarien ohne Zielerreichung 2040	107
----	------------------------------------	-----

1. Einleitung

Die Schweiz ist als alpines Land überdurchschnittlich stark vom globalen Klimawandel betroffen. Der Bundesrat hat im Jahr 2019 das Klimaübereinkommen von Paris unterzeichnet. Zudem hat das Schweizer Volk am 18. Juni 2023 das Klima- und Innovationsgesetz per Abstimmung angenommen. Somit ist die Schweiz nun verpflichtet, bis 2050 klimaneutral zu sein und ihre Treibhausgasemissionen bis 2030 um 50 % gegenüber 1990 zu senken. Der Schweizer Strassenverkehr ist heute mehrheitlich von fossilen Energieträgern abhängig und verantwortlich für rund einen Viertel des Energieverbrauchs sowie einen Drittel der Treibhausgasemissionen (siehe Abbildung 1).

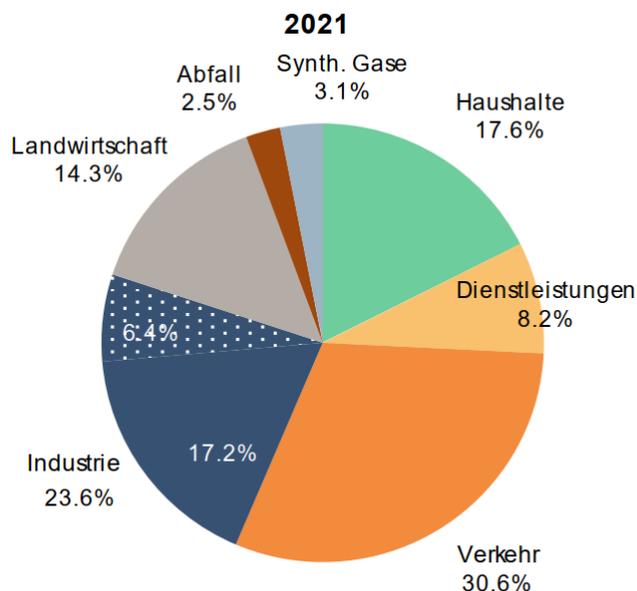


Abbildung 1: Treibhausgasemissionen der Schweiz nach Sektoren (Quelle: Treibhausgasinventar, BAFU 2023). Beim Sektor Industrie zeigt der mit Punkten ausgefüllte Teil die Emissionen aus der Abfallverbrennung.

Die Abbildung 2 zeigt die Aufteilung der Emissionen im Bereich Verkehr (Total 13.75 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente). Es ist ersichtlich, dass die meisten Emissionen bei den Personenwagen anfallen (71.8 %). Die vier Kategorien Personenwagen, Lieferwagen, Lastwagen und Busse stellen 96.4 % der gesamten Emissionen dar. Das grösste Potential für die Reduktion der Emissionen befindet sich somit in diesen Kategorien.

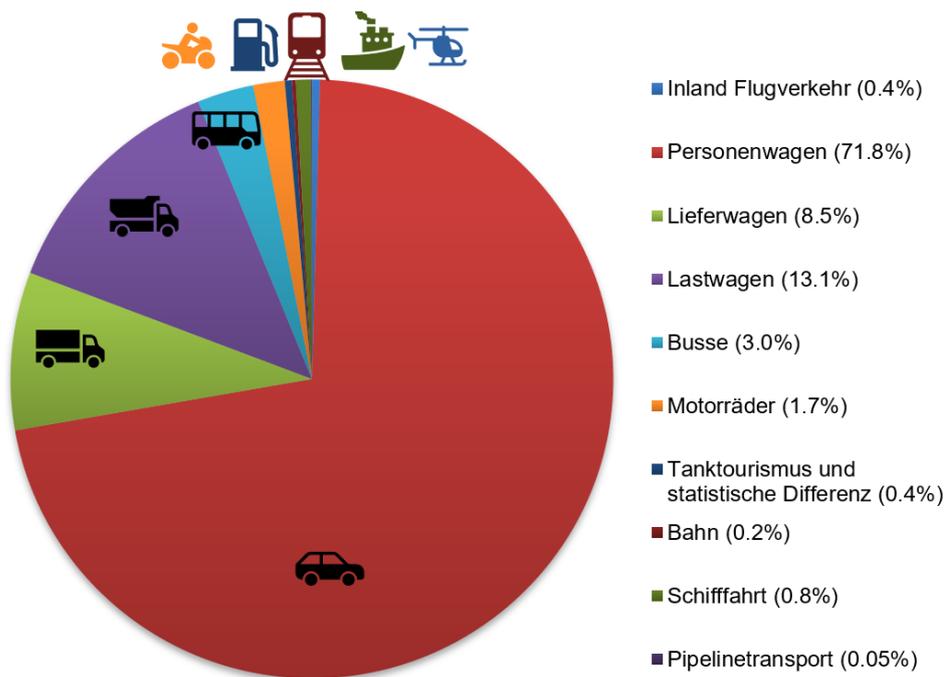


Abbildung 2: Treibhausgasemissionen im Bereich Verkehr nach Fahrzeugkategorie (Quelle: Treibhausgasinventar 2023, BAFU).

Gemäss der Klima- und Energiestrategie der Stadt Luzern (Stadt Luzern, 2021) betragen die gesamten primärenergiebedingten Treibhausgasmissionen in der Stadt Luzern 357'000 Tonnen CO₂-Äquivalente (Stand 2022). Der Sektor Verkehr ist für 49.6 % davon verantwortlich (siehe Abbildung 3). Innerhalb des Verkehrsbereich ist vor allem der motorisierte Individualverkehr (in blau) der grösste Treiber.

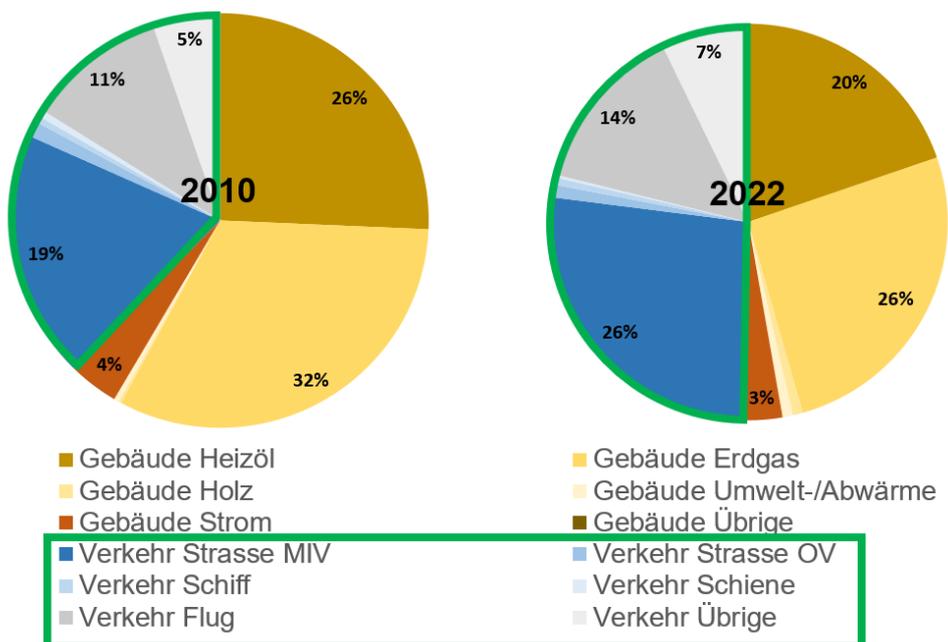


Abbildung 3: Anteile an den gesamten primärenergiebedingten Treibhausgasemissionen in der Stadt Luzern für die Jahre 2010 und 2022 (Stadt Luzern, 2021 mit Update 2023).

Neben verkehrsvermeidenden und verkehrsverlagernden Massnahmen gilt die Elektromobilität als Hoffnungsträgerin in Sachen Klimaschutz im Strassenverkehr: Sie kann den Energieverbrauch dank höherem Wirkungsgrad senken und durch den Einsatz von Strom aus erneuerbaren Quellen die Treibhausgasemissionen stark reduzieren.

Das ehrgeizige Ziel der Stadt Luzern

Nicht nur Bund und Kantone, sondern auch Gemeinden und Städte stehen in der Verantwortung, den gesellschaftlichen Wandel hin zu Energieeffizienz und Ressourcenschonung mitzugestalten. Die Stadt Luzern hat sich mit ihrer Klima- und Energiestrategie das ehrgeizige Ziel gesetzt, die energiebedingten Treibhausgasemissionen zehn Jahre früher als Bund oder Kanton, nämlich bis 2040, auf null zu reduzieren (Stadt Luzern, 2021). Während in anderen Sektoren bereits beträchtliche Einsparungen zu verzeichnen sind, tritt die Stadt mit der Emissionsreduktion im Bereich Mobilität noch weitgehend auf der Stelle.

Konkret für den Strassenverkehr heisst es: *Bis 2040 müssen alle in der Stadt Luzern immatrikulierten Fahrzeuge elektrisch und/oder erneuerbar angetrieben sein* (Art. 5, Abs. 3 Energiereglement).

In der Klima- und Energiestrategie (Stadt Luzern, 2021) steht: *Die Strategie will wesentliche Beiträge zur Zielerreichung leisten und wird im neuen Legislaturprogramm 2022–2025 einen entsprechenden Schwerpunkt setzen. Dabei geht der Stadtrat bewusst an die Grenzen des rechtlichen und finanziellen Handlungsspielraums der Stadt.*

Weiter noch: *Zwar werden die geplanten Massnahmen eine grosse Wirkung erzielen, dies reicht jedoch nicht. Auch der Bund und der Kanton Luzern sind gefordert, ihre Klima- und Energiepolitik laufend weiterzuentwickeln, entsprechende Rahmenbedingungen festzulegen und zusätzliche wirkungsvolle Massnahmen umzusetzen.*

Die Stadt erkennt schliesslich im Kapitel 9.4: *Mit den Massnahmen in diesem Bericht schöpft die Stadt Luzern einen erheblichen Teil ihrer Handlungsmöglichkeiten aus. Bezüglich der Treibhausgase reichen die Massnahmen aber bei Weitem nicht aus, um die Zielsetzungen gemäss Kapitel 8.1.1.2 zu erreichen.*

Die Stadt Luzern will deshalb die Herausforderung angehen und auf das Ziel von null energiebedingten Treibhausgasemissionen bis 2040 hinarbeiten, unter anderem mit der Massnahme M05 *Gesamtkonzept erneuerbare Antriebe in der Mobilität* aus der Klima- und Energiestrategie.

Wie in der Klima- und Energiestrategie ausgeführt, ist sich die Stadt Luzern auch im Rahmen dieses Gesamtkonzeptes erneuerbare Antriebe in der Mobilität bewusst, dass sie ihre ehrgeizigen Ziele nicht allein erreichen kann. Jedoch will sie ihren Handlungsspielraum ausschöpfen und Massnahmen umsetzen, damit sie einen möglichst grossen Beitrag zur Zielerreichung leisten kann.

Die im vorliegenden Dokument priorisierten Massnahmen sowie die konkreten Ladestandorte können eine wichtige Ausgangsbasis für weiterführende und koordinierte Aktivitäten in Richtung der Dekarbonisierung der Mobilität,

insbesondere des Strassenverkehrs, sein. Konkret soll dieses Konzept aufzeigen, mit welchen Massnahmen erneuerbare Antriebe in der Stadt Luzern gefördert werden können, ohne dabei die primären Ziele der Verkehrsvermeidung sowie der Förderung der flächen- und energieeffizienten Verkehrsmittel zu unterlaufen. Folgende Fragen werden in diesem Konzept beantwortet:

1. **Grundlagen und Analysen.** Was gilt es über erneuerbare Antriebe und den zukünftigen Bedarf an allgemein zugänglicher Ladeinfrastruktur in der Stadt Luzern zu wissen, um das Ladeinfrastrukturangebot von morgen zu planen? Wo entstehen welche Ladebedürfnisse? Welche Auswirkung hat die Mobilitätswende? Was machen andere Städte?
2. **Bearbeitung Massnahmen.** Mit welchen Massnahmen kann die Stadt Luzern erneuerbare Antriebe unterstützen und fördern? Wie unterscheiden sich die möglichen Massnahmen hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit, Kosten und Wirkung? Welche Massnahmen wurden bereits andernorts erprobt?
3. **Umsetzungsplan.** Welche Massnahmenpakete sollen wann eingeführt und umgesetzt werden, damit die Substitution von sämtlichen fossil angetriebenen Fahrzeugen bis zum Jahr 2040 etappenweise forciert werden kann? Welche Umsetzungsschritte sind dafür nötig?

Das vorliegende Konzept ist nach der obigen Fragestellung in zwei Teilen strukturiert. Im ersten Teil wird der aktuelle Kontext und die Szenarien über die zukünftige Entwicklung analysiert. Im zweiten Teil erläutert das Konzept die vertieften Massnahmen: Auswahl, Inhalt, Umsetzungsschritte, Kosten und Zeithorizont.

2. Grundlagen nachhaltiger Mobilität

Die Elektromobilität ist ein wesentlicher Grundpfeiler bei der Dekarbonisierung des Strassenverkehrs. Sie leistet einen fundamentalen Beitrag zur Erhöhung der Energieeffizienz des Gesamtverkehrs sowie zur Reduktion der Treibhausgasemissionen und der Belastung des Verkehrs für Bevölkerung und Umwelt. Sie ist aber nur eine Teillösung eines nachhaltigen Verkehrssystems. Wie auch der Verkehrspolitik der Stadt Luzern zugrunde gelegt, basiert eine nachhaltige Mobilitätsstrategie auf vier Säulen: Vermeidung, Verlagerung, Vernetzung und verträglich gestalten. Dabei gilt es, die Potenziale neuer Technologien und gesellschaftlicher Entwicklungen zu nutzen. Der Fokus der städtischen Verkehrspolitik liegt auf der Vermeidung und Verlagerung von Fahrten (Stadt Luzern, 2021).

Vermeidung

Basis eines umweltfreundlichen Verkehrssystems sind Siedlungs- und Verkehrsstrukturen, die durch kurze Wege die Nahmobilität fördern und damit die Verkehrsleistung reduzieren. Eine effiziente Raum- und Strassenplanung ist für diese Säule zentral, zudem kann durch die Förderung flexibler Arbeitsformen, wie mit den Massnahmen M09 (*Mobilitätsmanagement*) und die Massnahme M10 (*Verbrauchs- und emissionsabhängige Bepreisung und Zufahrtsbeschränkung*) der Klima- und Energiestrategie beschlossen, Verkehr vermieden werden.

Verlagerung

Der nicht-vermeidbare Verkehr sollte auf möglichst umweltfreundliche und effiziente Verkehrsmittel verlagert werden. Hier steht primär die Verlagerung des motorisierten Individualverkehrs auf den öffentlichen Verkehr und auf den Fuss- und Veloverkehr im Vordergrund. Diese Säule liegt im Fokus der städtischen Verkehrspolitik. Beispielweise müssen der öV sowie der Fuss- und Veloverkehr attraktiver gestaltet werden. Dafür wird zusätzlich Raum für Bussspuren und Veloinfrastruktur dank der Aufhebung öffentlicher Parkplätze generiert (Massnahmen M02 und M03 *Reduktion öffentliches/privates Parkplatzangebot* in der Klima- und Energiestrategie).

Vernetzung

Die Verkehrsmittel müssen gut verbunden sein. Ausserdem muss die digitale Vernetzung der Verkehrsmittel und Infrastrukturen sichergestellt werden. Die involvierten Elemente des Verkehrsnetzes müssen miteinander kommunizieren und Daten teilen. Eine gute Vernetzung ermöglicht funktionierende Sharing- und Pooling-Konzepte und damit eine geringere Zahl an Fahrzeugen auf der Strasse durch höhere Belegung sowie die Bündelung von Warentransporten.

Verträglich gestalten

Der verbleibende motorisierte Verkehr, der sich nicht vermeiden und verlagern lässt, wird verträglicher gemacht, damit die Emissionen reduziert werden können:

- Kleinere, leichtere, sauberere und leisere Fahrzeuge
- Energieeffizientere und erneuerbare Antriebstechnologien

Die Elektromobilität spielt darum für die verträgliche Gestaltung des Verkehrs eine zentrale Rolle und es gibt diverse Beispiele für Aktivitäten der Stadt Luzern in diesem Bereich. In der Stadt Luzern verfügen bereits etliche städtische Fahrzeuge über einen Elektroantrieb. Für die Zukunft sieht die Massnahme M07 der Klima- und Energiestrategie zudem vor, dass alle Fahrzeuge im Fuhrpark, wo technisch möglich und wirtschaftlich vertretbar, bis 2030, spätestens jedoch bis 2040 erneuerbar angetrieben werden sollen (*Städtischen Fuhrpark auf erneuerbare Antriebe umstellen*).

Das vorliegende Konzept hat einen Fokus auf der Säule Verkehr verträglich gestalten, ohne dabei den Zielen und Massnahmen der anderen drei Säulen zu schaden.

Ein rasches Wachstum

Die Elektromobilität kommt und wird sich in den nächsten Jahren rasant entwickeln (EBP, 2022). Bei Personenwagen, leichten Nutzfahrzeugen und Bussen werden batterieelektrische Fahrzeuge klar dominieren. 2019 waren 5.6 % der Neuzulassungen von Personenwagen Elektrofahrzeuge oder Plug-in-Hybride (BFE, 2023). 2023 ist dieser Anteil schon über 30 % gestiegen (36.8% im Dezember 2023) und die Roadmap Elektromobilität 2025 setzt das Ziel, bis ins Jahr 2025 50 % zu erreichen (BFE und ASTRA, 2022).

Im Bereich Schwerverkehr waren 8.5 % der neuzugelassenen Lastwagen im Jahr 2023 batterieelektrisch angetrieben. Schliesslich werden ab Q1-2023 europaweit mehr Elektrobusse als Dieselbusse immatrikuliert (ICCT, 2023a). 2023 war der Anteil von batterieelektrischen Gelenk-Linienbussen in der Schweiz sogar bei 61 %.

Das Verhalten und Bewusstsein der Kundschaft, neue Regulierungen und technische Fortschritte (vor allem bezüglich der Batterien und ihrer Erstellung) sind die Hauptfaktoren für die sich weiter beschleunigende Marktdurchdringung (McKinsey, 2021).

Politische Entwicklungen

Die zukünftigen Marktanteile der batterieelektrischen Fahrzeuge hängt stark von den CO₂-Emissionsvorschriften für neu in Verkehr gesetzte Fahrzeuge ab. Die Schweiz orientiert sich dabei an den Vorgaben der EU. Bisher wurden die entsprechenden Verschärfungen ins CO₂-Gesetz überführt. Selbst wenn die Schweiz die Richtlinien der EU nicht oder nur verzögert übernehmen würde, ist sie davon stark betroffen, da die Schweiz keine eigene Autoindustrie hat und ein Grossteil der Fahrzeuge aus der EU importiert werden.

Im Juni 2023 hat der Bundesrat seinen Bericht zu drei Postulaten über die Elektromobilität verabschiedet (BR, 2023). Der Bericht empfiehlt die *Umstellung auf einen fossilfreien Verkehr bis 2050 grundsätzlich im Gleichschritt und analog zu den Massnahmen der EU umzusetzen*.

Aktuell gilt in der EU und in der Schweiz ein Zielwert von 95 g CO₂/km für Personenwagen. Die EU-Kommission hat im Rahmen des Klimapakets «Fit for 55» im Juli 2021 allerdings eine deutliche Verschärfung der aktuell geltenden Zielwerte für 2025 und 2030 vorgeschlagen.

Im Oktober 2022 haben sich die EU-Staaten und das EU-Parlament auf neue Grenzwerte geeinigt und im März 2023 wurde dafür grünes Licht gegeben. Die Autohersteller in Europa müssen ihre durchschnittlichen Flottenemissionen bis 2030 um 55 % und bis 2035 um 100 % senken. Ab 2035 dürfen in der EU nur noch Autos und leichte Nutzfahrzeuge zugelassen werden, die im Betrieb kein CO₂ ausstossen. Es wurde eine Technologieklausel eingeführt: 2026 müssen die technischen Fortschritte überprüft und erneut bewertet werden, ob diese Grenzwerte erreichbar sind. Nach langen Diskussionen zwischen Deutschland und weiteren EU-Staaten wurde entschieden, dass Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren, die ausschliesslich CO₂-neutrale Kraftstoffe tanken (E-Fuels), auch nach 2035 neu zugelassen werden können. Die technische und rechtliche Umsetzbarkeit ist derzeit jedoch noch ungeklärt.

Für andere Fahrzeuge fehlt noch die finale Entscheidung des EU-Rats. Das EU-Parlament hat im November 2023 einem Vorschlag der Kommission zugestimmt: Bei neuen LKW (einschliesslich Berufsfahrzeugen wie Müllwagen, Betonmischer, usw.) und Reisebussen sollen die Emissionen bis 2040 um 90 % reduziert werden, während bei Stadtbussen die Emissionen der neuzugelassenen Fahrzeuge schon ab 2030 bei 0 g CO₂ liegen sollen.

Herausforderungen durch die Elektromobilität

Jedoch bringt die Elektromobilität auch Herausforderungen mit sich. Die jüngsten Szenarien (EBP, 2023) zeigen, dass die schweizweite Elektrifizierung des Strassenverkehrs 9 TWh Strom bis 2035 und 17 TWh bis 2050 benötigt. Ausserdem benötigt die zunehmende Verbreitung von Wärmepumpen zusätzliche elektrische Energie. Der Elektrizitätsbedarf wird von heute 62 TWh auf 80 bis 90 TWh im Jahr 2050 wachsen (VSE, 2022). Dieser zusätzliche Strombedarf muss abgedeckt werden, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten.

Die Schweizer Energieperspektiven 2050+ haben durch verschiedene Netto-Null-Szenarien nachgewiesen, dass die Energiewende technisch möglich und wirtschaftlich tragbar ist (BFE, 2022b). Auch die VSE-Studie Energiezukunft 2050 und neue ETH-Studien zeigen die Machbarkeit der Stromversorgung: Die Schweizer Stromnachfrage kann mit der inländischen Erzeugung und den verfügbaren Importen gedeckt werden. (VSE, 2022, Nexus-e, 2023).

Ebenfalls sind Investitionen für die Verstärkung der Stromverteilnetze und für den Aufbau der notwendigen Ladeinfrastruktur notwendig. Auch ohne weitergehende energiepolitische Ziele sind Investitionen von rund 45 Milliarden CHF (real zu Preisen von 2020) für den Erhalt und den Ausbau der Stromnetzinfrastruktur bis 2050 notwendig (BFE, 2022b). Mit dem raschen und konsequenten Ausbau der Photovoltaik und der raschen Marktdurchdringung der Elektromobilität gemäss Mantelerlass (Aeesuisse, 2023) erhöhen sich die erforderlichen Investitionen ins Stromverteilnetz weiter. Mit einem optimal netzorientierten Ladeverhalten (alle Ladevorgänge an privaten Ladepunkten können aufgrund von Signalen aus dem Verteilnetz bezüglich Ladeleistung und Zeitpunkt gesteuert werden) bei der Elektromobilität bei einer gleichzeitigen Kappung der Einspeisespitzen der PV-Anlagen auf 70 % der installierten Anlageleistung oder auch mit einem smarteren Stromnetz

lässt sich der zusätzliche Investitionsbedarf auf rund 17 Milliarden CHF bis 2050 begrenzen (BFE, 2022b). Dabei ist insbesondere die gegenseitige Abstimmung von Photovoltaik und Elektromobilität (Verschiebung und Steuerung von Ladevorgängen) entscheidend. Ohne solche Massnahmen wären gegenüber den ohnehin notwendigen Investitionen in der Höhe von 45 Milliarden weitere Investitionen in die Verteilnetze von 37 Milliarden Franken bis 2050 notwendig (BFE, 2022b).

Der Rebound Effekt stellt auch einen Nachteil der Elektromobilität dar. Obwohl die oben erwähnten Investitionskosten schlussendlich vom Endkunden bezahlt werden, sind die Betriebskosten tiefer bei Elektrofahrzeugen als bei Verbrennungsfahrzeugen (EBP, 2023). Da die Kosten pro Kilometer sinken und Elektrofahrzeuge keine direkten Emissionen verursachen, kann es vorkommen, dass die Fahrzeugkilometer pro Kopf steigen, weil die private Mobilität attraktiver wird. Deshalb ist es unbedingt nötig, nicht nur isoliert die Elektromobilität zu unterstützen, sondern solche Massnahmen in eine breit aufgestellte Mobilitätsstrategie mit Massnahmen zur Vermeidung, Verlagerung und Vernetzung einzubetten.

Wasserverkehr

Dieser Bericht fokussiert sich auf den Strassenverkehr. Jedoch können die Besonderheiten der Stadt Luzern nicht ignoriert werden, sodass einige Überlegungen zum Wasserverkehr sinnvoll sind. Die EU hat im September Richtlinien zur Dekarbonisierung des Seeverkehrs verabschiedet. Die Vorlage ist Bestandteil des Pakets «Fit for 55» und will die Nachfrage nach erneuerbaren Kraftstoffen und deren konsequente Nutzung steigern.

Betreffend der Dekarbonisierung des Schiffsverkehrs auf den schweizerischen Seebecken sind noch keine Regulierungen vorgesehen. Der Bundesrat hat im November 2023 den Bericht in Erfüllung eines Postulats «Klimaschutzpotenzial in der Schifffahrt» verabschiedet (BR, 2023b). Der Bundesrat schreibt, dass *momentan keine Verschärfung der Vorschriften vorgenommen werden sollte, welche in naher Zukunft zu einem Verbot von fossilen Treibstoffen in Schiffsmotoren führt*. Andererseits erkennt er, dass es zurzeit eine finanzielle Förderung braucht, um eine Reduktion der Emissionen im Schiffsverkehr zu erreichen. Die Umrüstung und die Neubeschaffung von Schiffen mit umweltfreundlichen Antriebstechnologien verursacht das 1.5- bis 2.5-fache der Beschaffungskosten heute üblicher Schiffe (BR, 2023b). Ausserdem müssen noch andere Voraussetzungen erfüllt werden, wie die Marktreife der entsprechenden Technologien und die Tank- und Ladeinfrastruktur.

Der Bericht zeigt ebenfalls den Vergleich zwischen verschiedenen Antriebstechnologien für den Schiffsverkehr.

In der Schweiz sind bereits batterieelektrische Schiffe in Betrieb. Beispiele hierfür sind zwei Schiffe auf dem Luganersee, die Mouettes in Genf und die Limmatboote in Zürich. Die Elektrifizierung dieser Schiffe stellt auch für die NetzbetreiberInnen eine grosse Herausforderung dar: Für die elektrischen Schiffe auf dem Luganersee wurde eine Ladeinfrastruktur von 1.5 MW realisiert, damit das Schiff tagsüber laden kann.

Die Schifffahrtsgesellschaft des Vierwaldstättersees (SGV) hat zwei hybride Schiffe im Betrieb.

Für kleine private Boote bietet der Markt bereits Produkte. Die Marktdurchdringung bleibt aber tief. Damit in Zukunft das Netto-Null-Ziel erreicht werden kann, muss auch dieser Verkehrszweig dekarbonisiert werden. Dafür soll der Aufbau von Ladeinfrastruktur an Bootsplätzen vorgesehen werden.

Elektrische Mikromobilität und E-Motorräder

Mikromobilität umfasst den Einsatz von kleinen, meist umweltfreundlichen Verkehrsmitteln für kurze Strecken. Dazu zählen beispielsweise Fahrräder, E-Scooter und eBikes. Diese Art der Mobilität bringt folgende Vorteile mit sich:

- Platzsparend und lärmarm im Vergleich zu Fahrzeugen,
- Verkehrsentlastung in überlasteten Stadtgebieten, da sie oft für kurze Pendelstrecken eine attraktive Alternative zu Fahrzeugen darstellt,
- Mikromobilitätsmittel sind in der Regel emissionsarm oder emissionsfrei, was zur Reduzierung der Luftverschmutzung und des CO₂-Ausstoßes beiträgt,
- Mikromobilitätsmittel können eine kostengünstige Alternative mit hoher Flexibilität sein, besonders in Kombination mit dem öffentlichen Verkehr.

Für Mikromobilität eignen sich besonders Sharing-Angebote, wobei es jedoch wichtig ist, eine sorgfältige Planung und Regulierung sicherzustellen, um die sichere, nachhaltige und geordnete Integration im Verkehrssystem zu gewährleisten (EBP, 2023d).

Die Elektromobilität ist auch bei den Zweirädern bereits im Einsatz. Von den E-Bikes und E-Trotinetts bis zu E-Motorrädern. Die Batterien und Energieverbräuche sind je nach Fahrzeugtyp unterschiedlich.

E-Trotinetts und E-Bikes haben typischerweise Batterien kleiner als 1 kWh. Der Verbrauch ist je nach Einsatzsituation unterschiedlich, aber befindet sich in der Größenordnung von 1.3 kWh/100 km. Die durchschnittliche Fahrleistung sowie die Reichweite ist deutlich tiefer als bei Personenwagen.

E-Motorroller und E-Motorräder haben hingegen Batterien von einigen kWh Kapazität bis über 15 kWh. Der Energieverbrauch liegt typischerweise zwischen 5 und 12 kWh/100 km.

Gemäss Energieperspektiven 2050, macht der gesamte Energieverbrauch von Zweirädern weniger als 2 % des gesamten Energieverbrauch im Sektor Verkehr aus. Dieser Anteil wird auch in Zukunft so bleiben. Das ist auch in Abbildung 1 ersichtlich: Der Anteil der durch Zweiräder verursachten Treibhausgasemissionen liegt bei 1.7 %.

Die Ladebedürfnisse unterscheiden sich nicht nur wegen der bezogenen Energiemenge stark von denjenigen der Personenwagen, sondern auch wegen des Ladetyps. Diese Fahrzeuge sind nämlich mit Haushaltssteckdosen kompatibel (E-Motorräder können auch an normalen Ladestationen geladen werden). Die Realisierung und der Betrieb von Ladeinfrastruktur für E-Bikes, E-Trotinetts, usw. ist einfacher als bei Personenwagen. Es ist kaum eine separate Planung zu den normalen Veloabstellplätzen notwendig.

Eine ausführliche Betrachtung des Themas «Elektrische Mikromobilität», und insbesondere geteilte Mikromobilität kann in (EBP, 2023d) gefunden werden.

3. Alternative Antriebstechnologien

Die batterieelektrischen Fahrzeuge stellen nicht die einzige alternative Antriebstechnologie dar. Nachfolgend werden die alternativen Antriebstechnologien kurz beschrieben und eingeordnet. In diesem Kapitel werden allgemeine Aussagen zu den Antriebstechnologien gemacht; die Technologien werden in diesem Kapitel nicht hinsichtlich der Fahrzeuge und Anforderungen der Stadt Luzern geprüft. Jede Antriebstechnologie wird kurz hinsichtlich Funktionsweise, Flexibilität, Kosten, Risiken, Chancen, Potenzial und Verfügbarkeit beschrieben.

Die Erkenntnisse aus diesem Kapitel sind auch für die Umstellung der städtischen Flotte auf erneuerbare Antriebe (Massnahme M07, Klima- und Energiestrategie) relevant.

3.1 Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV)

Als batterieelektrische Fahrzeuge (Battery Electric Vehicle; BEV) werden Fahrzeuge bezeichnet, die rein elektrisch fahren und deren Batterie extern aufladbar ist. BEV sind mit keinem internen Energieumwandler ausgestattet. Abbildung 4 zeigt ein BEV mit seinen wichtigsten Komponenten.

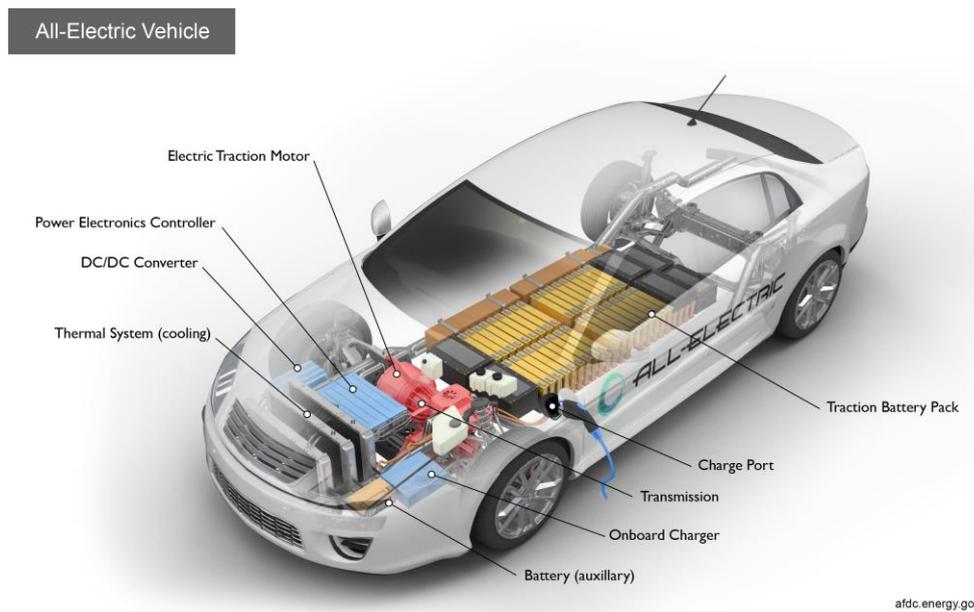


Abbildung 4 Batterieelektrisches Fahrzeug (afdc.energy.gov)

Die Energiedichte der Batterien nimmt zwar stetig zu, ist aber noch nicht für alle Einsätze ausreichend. Ausserdem muss die Abnahme der Batteriekapazität mit dem Alter berücksichtigt werden – die Kapazität nimmt bis zum Ende der Lebensdauer je nach Ladeverhalten um etwa 20 % ab (EBP, 2023).

Batterieelektrische Personenwagen sind bezogen auf die Gesamtkosten bereits heute günstiger als konventionelle Verbrenner-Fahrzeuge (EBP, 2023). Der Kaufpreis von Elektroautos ist bis zu 20 % höher. Tiefe Energie- und Servicekosten gleichen aber die höheren Anschaffungskosten über die gesamte Besitzdauer aus. Unter Berücksichtigung des Restwertes sind die Gesamtkosten über die gesamte Besitzdauer niedriger. Die Elektrofahrzeuge

weisen nämlich einen höheren und stabileren Restwert als Verbrennungsfahrzeuge auf (Fraunhofer, 2023b). Ausserdem ist damit zu rechnen, dass die Batteriepreise deutlich sinken (EBP, 2022). Auch im Bereich Schwerverkehr ist voraussichtlich der batterieelektrische Antrieb ab dem Jahr 2030 die günstigste Technologie (ICCT, 2023b). Der Kostenvergleich für andere Fahrzeugkategorien zeigt hingegen nicht immer einen Vorteil für BEV, vor allem bei speziellen Fahrzeugen (z.B. Nutz- oder Löschfahrzeuge).

Die Technologie befindet sich in einer Aufschwungsphase der Lernkurve, was gewisse Unsicherheiten mit sich bringt. Die Abschreibungsdauer für die Infrastruktur ist verhältnismässig kurz und gegebenenfalls muss die Netzanschlusskapazität erhöht werden. Wie im Kapitel 2 erklärt, bringt Elektromobilität auch Herausforderungen mit sich, wie der Rebound-Effekt und der zusätzliche Strombedarf.

Wie in Kapitel 2 erwähnt, erlebt die batterieelektrische Antriebstechnologie in allen Fahrzeugkategorien ein rasches Wachstum. In den nächsten Jahren ist mit einer markanten Zunahme im Fahrzeugbestand zu rechnen. Die heute noch in gewissen Fahrzeugkategorien eingeschränkte Angebotspalette wird sich in den kommenden Jahren stark ausdehnen.

Die Importabhängigkeit von batterieelektrischen Fahrzeugen ist im Vergleich mit Verbrennungsfahrzeugen in Hinsicht auf die Energie kleiner. Der für den Betrieb benötigte Strom kann, im Gegensatz zu fossilen Treibstoffen, grossmehrheitlich im Inland produziert werden.

Andererseits steigt die Importabhängigkeit bei batterieelektrischen Fahrzeugen wegen der Herstellung der Batterien. Um Batterien herzustellen, braucht es unter anderem Lithium und Kobalt. Diese Rohstoffe kommen in nur wenigen Ländern in ausreichenden Mengen vor und gehören zu den nicht-erneuerbaren Rohstoffen. Damit gewinnt das Recycling der Rohstoffe an Bedeutung. Die Batterien werden schon heute recycelt und die Rückgewinnung der Rohstoffe wird sich in den nächsten Jahren weiter verbessern. Nur 8 % der Herstellerunternehmen stammen nicht aus China, Korea oder Japan (Venditti, 2022). Das Europäische Parlament hat im Juni 2023 neue Regeln für die Batterien verabschiedet. Ab 2024 müssen Batteriehersteller die CO₂-Bilanz der Batterie angeben. Ausserdem hat es ein Ziel zum Recycling der Batterien gesetzt: Bis 2031 muss 80 % des Lithiums und 95 % von Kobalt, Kupfer, Blei und Nickel recycelt werden (EU, 2023). Ein Teil dieser rückgewonnenen Stoffe soll verpflichtend zur Verwendung in neuen Batterien herangezogen werden.

Parallel entwickeln sich andere Technologien, die andere Rohstoffe benötigen, wie zum Beispiel Natrium-Ionen Batterien oder Polymer-Feststoffbatterien. In absehbarer Zeit werden aber Lithium-Ionen-Batterien mit flüssigen Elektrolyten den Markt dominieren (Empa, 2023).

3.2 Plug-in-Hybridfahrzeuge (PHEV)

Plug-in-Hybrid-Elektrofahrzeuge verwenden Batterien zum Antrieb eines Elektromotors und einen anderen Kraftstoff, z. B. Benzin, zum Antrieb eines Verbrennungsmotors. Plug-in-Hybrid-Batterien können über eine Ladesta-

tion, durch den Verbrennungsmotor oder durch regeneratives Bremsen aufgeladen werden. Das Fahrzeug fährt in der Regel mit elektrischer Energie, bis die Batterie fast leer ist, und schaltet dann automatisch auf den Verbrennungsmotor um. Abbildung 5 zeigt ein PHEV mit seinen wichtigsten Komponenten.

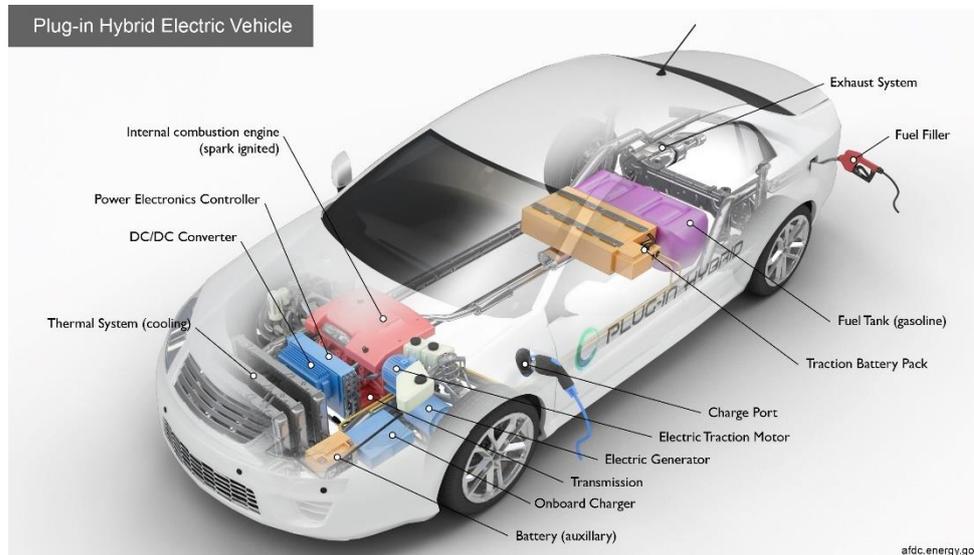


Abbildung 5 Plug-in-Hybridfahrzeug (afdc.energy.gov)

Durch den Verbrennungsmotor ist die Flexibilität von PHEV als hoch einzustufen. Die Abhängigkeit von der Ladeinfrastruktur ist geringer als bei BEV. PHEV vereinen die Vorteile einer hohen Energiedichte beim flüssigen Treibstoff mit der Effizienz von Elektromotoren, was zu einer hohen Reichweite führt.

Die Anschaffungskosten von PHEV sind in der Regel höher als bei BEV und Verbrennungsfahrzeuge; die Betriebskosten liegen etwa in der Mitte der beiden anderen Technologien. Betrachtet man die Kosten über den gesamten Lebenszyklus sind PHEV teurer als Verbrennungsfahrzeuge und BEV (EBP, 2023).

Die flüssigen Treibstoffe sind heutzutage primär importierte fossile Treibstoffe mit entsprechend hoher Importabhängigkeit und Klimawirkung. Der Bedarf ist aber deutlich geringer als bei Verbrennungsfahrzeugen, da ein erheblicher Teil der Fahrleistung elektrisch zurückgelegt wird. In allen anderen Fahrzeugkategorien als Personenwagen und leichten Nutzfahrzeugen befindet sich die Technologie noch in der Pilot- oder Demonstrationsphase, was relativ hohe Investitionsrisiken mit sich bringt. Die soziale Akzeptanz kann teilweise kritisch sein, da unklar ist, wie viel der verwendeten Energie elektrisch und wie viel fossil ist. Soll das Netto-Null-Ziel erreicht werden, müssen die Fahrzeuge mit erneuerbar hergestellten synthetischen Flüssigtreibstoffen, sogenannten «E-Fuels», betrieben werden.

Plug-in-Hybride (PHEV) geniessen aktuell eine hohe Nachfrage im Marktsegment Personenwagen (9.2 % Neuzulassungen im Jahr 2023). In der Schweiz und Europa wird ein flächendeckendes Schnellladenetz aufgebaut. Die Energiedichte der Batterien steigt dank technologischem Fortschritt,

gleichzeitig nehmen die Batteriepreise pro kWh ab. Damit engt sich das *Window of Opportunity*, wo es Sinn machen kann, anstelle eines schweren Batteriepakets eine kleinere Batterie zusammen mit einem seriellen Hybridantrieb und einem Benzintank einzubauen.

PHEV dürften, getrieben durch die verschärften CO₂-Emissionsvorschriften für Automobilimporteure, in den nächsten Jahren eine hohe Relevanz behalten. Langfristig werden sie allerdings an Bedeutung verlieren. Einen geringen CO₂-Ausstoss im Alltag haben PHEV dann, wenn sie im Alltagseinsatz fast nur elektrisch verkehren. Wird jedoch mehr mit Verbrennungsmotor gefahren als im WLTP-Zulassungsprüfzyklus implizit unterlegt, fallen die CO₂-Emissionen im Alltag zwei bis vier Mal höher aus. Eine Analyse (Plötz, 2020) zeigt für 100'000 PHEV einen elektrischen Fahranteil von lediglich 37 % auf (mit dem Höchstwert von 53 % in Norwegen, wo die Ladeinfrastruktur am stärksten ausgebaut ist).

Die Verfügbarkeit wird analog zu den BEV eingeschätzt.

3.3 Brennstoffzellen Fahrzeuge (FCEV)

Wie batterieelektrische Fahrzeuge nutzen auch Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge Strom zum Antrieb eines Elektromotors. Im Gegensatz zu anderen Elektrofahrzeugen wird der Strom bei FCEV (Fuel Cell Electric Vehicles) mit einer wasserstoffbetriebenen Brennstoffzelle direkt im Fahrzeug erzeugt und nicht aus einer Batterie bezogen (siehe Abbildung 6). Die Batterie wird zur Rückgewinnung von Bremsenergie, zur Bereitstellung zusätzlicher Leistung bei kurzen Beschleunigungsvorgängen und zur Glättung der von der Brennstoffzelle gelieferten Leistung genutzt. Der Wasserstoff muss zuerst mittels Elektrolyse hergestellt werden. Dieser Vorgang ist äusserst stromintensiv und mit grossen Effizienzverlusten verbunden. Wird der Wasserstoff mit 100 % erneuerbarem Strom erzeugt, wird von «grünem» Wasserstoff gesprochen.

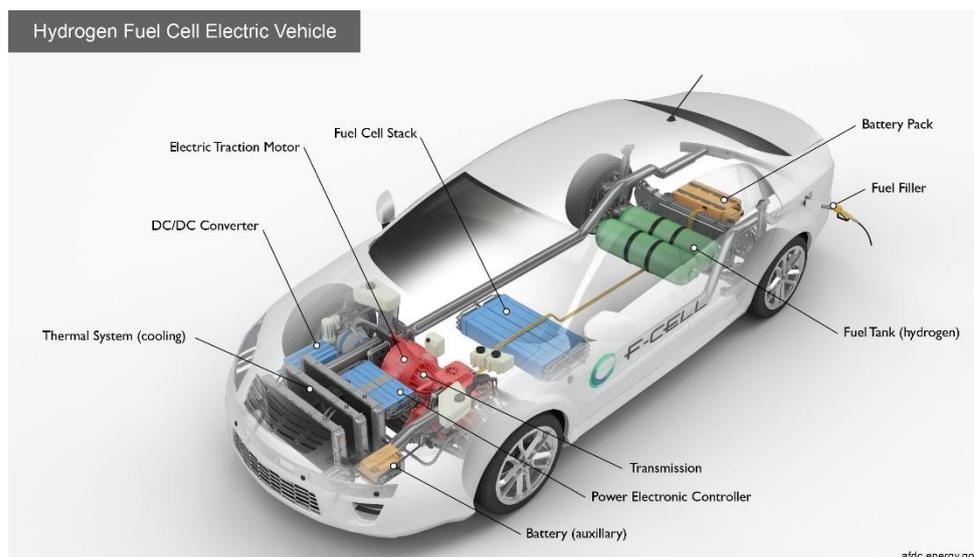


Abbildung 6 Wasserstoff Brennstoffzellen Fahrzeug (afdc.energy.gov)

Wasserstoff weist eine grössere Energiedichte pro Masse auf als Batterien, was zu einer grösseren Reichweite als bei BEV führt. Die Betankung dauert je nach Fahrzeug zwischen 5 und 15 Minuten. Die Abhängigkeit vom Treibstoffimport wird durch diese Technologie gesenkt.

Die Anschaffungskosten für FCEV sind höher als bei den anderen Technologien. Durch den hohen Energieverbrauch sind die Betriebskosten höher als bei BEV und auch die Gesamtkosten sind in Zukunft höher als bei Verbrennungsfahrzeugen (v.a. bei schweren Fahrzeugen).

Die Modellpalette ist noch sehr schmal und die Entwicklung der Fahrzeuge oft noch in der Pilotphase, was zu einem hohen Investitionsrisiko führt. Ausserdem sind die Verteilung und Lagerung von Wasserstoff sehr aufwändig. Bezüglich der Infrastruktur sind einerseits grosse Kosten zu erwarten, andererseits bestehen grosse Unsicherheiten bezüglich technischer Machbarkeit.

FCEV erreichten 2023 0.01 % der Neuzulassungen bei Personenwagen (27 von 252'214 immatrikulierten Fahrzeugen in der Schweiz). Auch im Fahrzeugsegment Lastwagen ist der aktuelle Erfolg gering: 2023 wurden nur 4 FCEV-, hingegen aber 385 BEV-Lastwagen immatrikuliert. Bei Lieferwagen und Bussen bestehen erst einzelne Pilotversuche. Die steigenden Reichweiten und Ladeleistungen der batterieelektrischen Fahrzeuge engen das *Window of Opportunity* für Brennstoffzellen-Anwendungen ein. Das *Window of Opportunity* ist für Personenwagen bereits geschlossen und auch bei schweren Fahrzeugen wird es immer enger. Die jüngsten Studien (Fraunhofer, 2023b) zeigen, dass der Einsatz von Wasserstoff im Strassenverkehr auch langfristig unwirtschaftlich sein wird.

FCEV haben grosse Effizienzverluste und benötigen dreimal so viel Strom wie batterieelektrische Fahrzeuge. Wasserstoff wird auch in anderen Sektoren benötigt. 2050 wird Wasserstoff je nach Szenario 4 bis 11 % der weltweiten Energienachfrage abdecken (Fraunhofer, 2023c). Das würde einen enormen Ausbau der heutigen Kapazität der Elektrolyse, sowie die Produktion aus erneuerbaren Quellen benötigen. Wasserstoff wird deshalb auch langfristig teuer und knapp sein. Er sollte auf Anwendungsbereiche konzentriert werden, wo es keine sinnvolle Alternative gibt.

3.4 Gasfahrzeuge

Gasfahrzeuge funktionieren ähnlich wie benzinbetriebene Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor (siehe Abbildung 7). Damit sie kompatibel mit dem Netto-Null-Ziel sind, müssen biogene oder synthetisch hergestellte Gase eingesetzt werden. Zu den Biotreibstoffen gehören alle Kraftstoffe, welche aus Biomasse hergestellt werden. Sie werden in drei Generationen eingeteilt. Zur Generation (1) gehören Kraftstoffe aus der Fermentation von Pflanzen, (2) aus Abfällen von Haushalten, Industrie und Landwirtschaft oder (3) aus Ölen von Algen. Die Verwendung von Biogas für Mobilität aus Generation (1) ist in der Schweiz verboten, denn die Pflanzen könnten als Nahrungs- und Futtermittel verwendet werden.

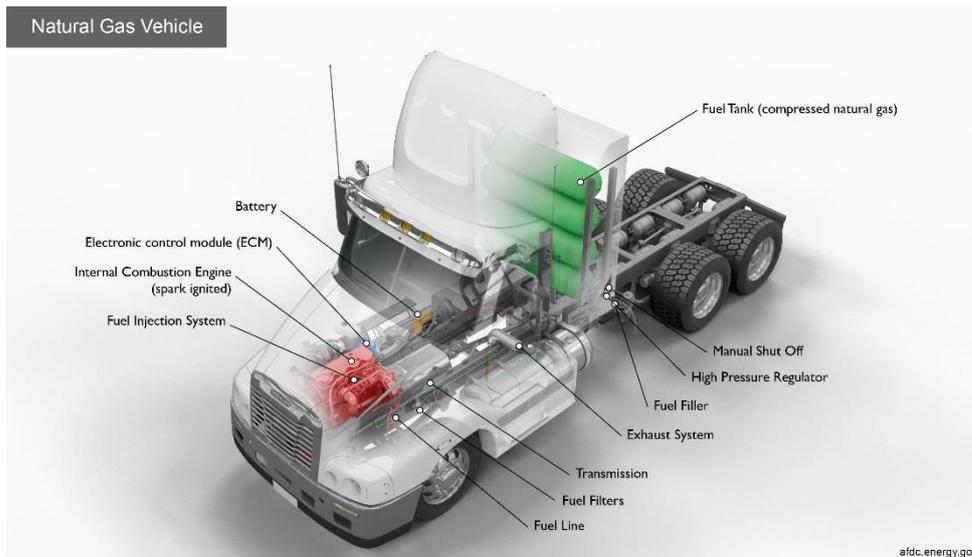


Abbildung 7 Gasfahrzeug (afdc.energy.gov)

Gasfahrzeuge haben die gleiche Reichweite wie mit fossilen Treibstoffen betriebene Fahrzeuge.

Die Kosten variieren je nach Produktionsprozess und Input-Biomasse. Bei Personenwagen sind die Kosten über die gesamte Lebensdauer etwa 5 % höher als bei fossil betriebenen Verbrennungsfahrzeugen, bei Lastwagen sind es etwa 10 %.

Weder in der Schweiz noch global ist genügend Potential für die verbreitete Nutzung von Biogastreibstoffen vorhanden. Die Verwendung von Generation (1) ist in der Schweiz nicht erlaubt und Generation (3) befindet sich erst in der Pilotphase.

Biotreibstoffe können überall dort eingesetzt werden, wo heute Verbrennungsmotoren eingesetzt werden. Der Marktanteil ist aktuell noch gering und viele Fahrzeughersteller haben sich von der Produktion zurückgezogen. Die Technologie kann in Nischen, die eine hohe Energiedichte verlangen, als Ergänzung zu anderen alternativen Antrieben dienen.

Die Anwendung von Biotreibstoffen aus Generation (2) ist nicht skalierbar, weil der Treibstoff abhängig von der Abfallproduktion ist. Daher ist das Biogas nur sehr beschränkt verfügbar.

3.5 Fahrzeuge mit synthetisch hergestelltem Treibstoff (E-Fuels)

Fahrzeuge mit Benzin- oder Dieselmotor können mit synthetisch hergestelltem Benzin oder Diesel, sogenannten E-Fuels, betrieben werden. E-Fuels werden künstlich aus CO₂ aus der Atmosphäre und aus Wasserstoff (H₂), der mittels Elektrolyse hergestellt wurde, synthetisiert. Abbildung 8 zeigt das Prinzip schematisch.

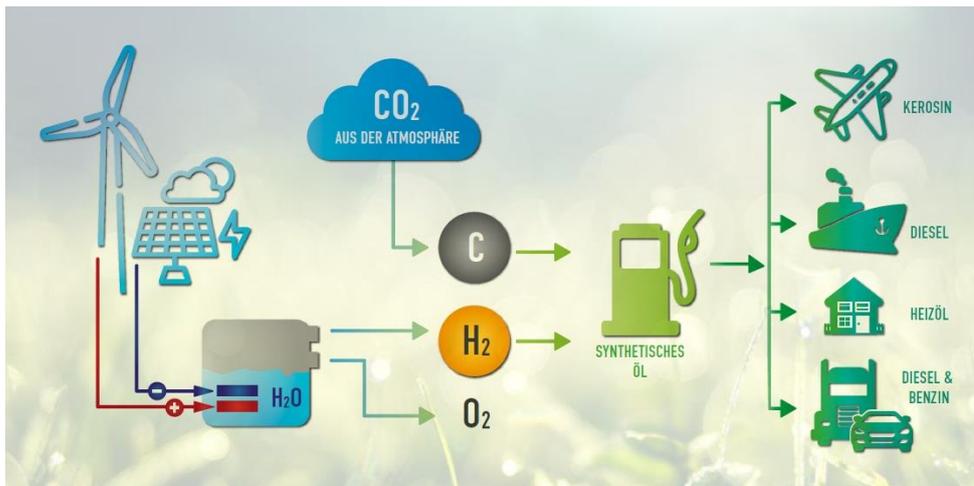


Abbildung 8 Prinzip Herstellung von E-Fuels (mobil.org)

E-Fuels haben eine ähnliche Energiedichte wie fossile Treibstoffe und können schnell betankt werden. Die Flexibilität ist also hoch.

Synthetische Treibstoffe können grundsätzlich in herkömmlichen Verbrennungsmotoren genutzt werden; vielfach sind aber Modifikationen an den Motoren und Treibstoffsystemen nötig. Zurzeit sind die Entstehungskosten von synthetischen Treibstoffen noch ungefähr sieben Mal höher als jene von herkömmlichen Kraftstoffen (Avenir Suisse, 2020), weil es noch keine kommerzielle Produktion von E-Fuels in grösserem Umfang gibt. Die Produktionskosten betragen heute zwischen 2.20 und 4.80 CHF pro Liter, während konventionelle Treibstoffe etwa 0.60-0.70 CHF pro Liter kosten (Fraunhofer, 2023c). Aufgrund von Prozessoptimierung und Skaleneffekten sinken die Kosten zukünftig wahrscheinlich stark. Im Jahr 2050 könnten sie zwischen 1.20 und 3.60 CHF pro Liter sein (Fraunhofer, 2023c). Solange die Herstellungskosten der synthetischen Treibstoffe höher sind als für Benzin und Diesel, können auch keine Kostenvorteile erzielt werden. Gegenüber den BEV gibt es folglich in gewissen Fahrzeugkategorien auch erst dann Kostenvorteile, sobald synthetische Treibstoffe kosteneffizient hergestellt werden können. Der Kostenvorteil gegenüber BEV oder FCEV wird zuerst bei Spezialfahrzeugen und Kommunalfahrzeugen erreicht, wo die Kosten viel höher liegen als bei Benzin-/ Dieselfahrzeugen. Im Bereich der Personenwagen, Lieferwagen und Busse werden auch langfristig keine Kostenvorteile gegenüber BEV und FCEV erwartet.

Für die Herstellung von E-Fuels ist sehr viel Strom notwendig: Nur 13-15 % des erneuerbaren Stroms kommt am Antriebsrad an. Mit E-Fuels angetriebene Fahrzeuge benötigen fünf bis sechs Mal mehr Strom als batterieelektrische Fahrzeuge (Fraunhofer, 2023c). Ausserdem befindet sich die Technologie noch in der Pilot- und Entwicklungsphase, was zu einem hohen Investitionsrisiko führt.

Die Technologie ist potenziell überall dort einsetzbar, wo heute Verbrennungsmotoren eingesetzt werden. Die Verbreitung hängt stark davon ab, wie schnell sich kostengünstige E-Fuels entwickeln, denn das *Window of Opportunity* schliesst sich aufgrund der raschen Marktdurchdringung des batterie-

elektrischen Antriebs. Das Potential ist deshalb nur für gewisse Nischenanwendungen vorhanden (z. B. Landwirtschaft oder Feuerwehr). Jedoch bestehen auch für diese Anwendungen Unsicherheiten bezüglich Verfügbarkeit, Erhaltung und Finanzierung der Betankungsinfrastruktur.

Es bestehen noch grosse Unsicherheiten bezüglich der zukünftigen Verfügbarkeit von E-Fuels und vor allem bezüglich der Skalierung der Produktion. Die hohen Herstellungskosten und der hohe Strombedarf machen E-Fuels zu kostbar für die breite Verwendung in den normalen Strassenfahrzeugen. Die Nachfrage wird vor allem im Flug- und Schiffsverkehr hoch sein und sie bestimmt die Skalierung der Produktion und die Verfügbarkeit.

3.6 Umweltbelastung

Eine weitere Dimension für den Vergleich zwischen Antriebstechnologien ist die Nachhaltigkeit – im Sinne der Umweltauswirkung. Eine im Jahr 2020 erschienene Ökobilanz-Studie des Paul-Scherrer-Instituts hat den gesamten Lebenszyklus von Personenwagen mit unterschiedlichen Antriebsformen untersucht. Die Resultate haben gezeigt, dass batterieelektrische Personenwagen heutzutage bezogen auf CO₂-Emissionen und Gesamtauswirkung mit grossem Abstand die umweltfreundlichste Alternative sind. Je sauberer der eingesetzte Strom zum Nachladen der Steckerfahrzeuge (batterieelektrisch und Plug-in-Hybrid), desto grösser ist die CO₂-Einsparung gegenüber den anderen Antriebstechnologien. Steckerfahrzeuge weisen einen Gesamtwirkungsgrad von über 75 % auf, das heisst, sie sind etwa dreimal effizienter als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Ab 30'000 gefahrenen Kilometern werden die höheren Aufwände aus der Batterieproduktion durch die während der Fahrt eingesparten CO₂-Emissionen wettgemacht (PSI, 2020) (Empa, 2023).

Andere Technologien wie FCEV und E-Fuels verursachen ebenfalls keine direkten CO₂-Emissionen. Jedoch sind deren Emissionen in der Energieherstellung (Scope 2) deutlich höher. Ausserdem verursacht die Verbrennung von E-Fuels trotzdem andere Emissionen, wie NO_x (Stickoxide) und Feinstaub.

3.7 Zwischenfazit

Batterieelektrische Fahrzeuge zeigen sich als die am besten geeignete Antriebstechnologie für die Dekarbonisierung des Strassenverkehrs.

Dieses Gesamtkonzept fokussiert deshalb auf die batterieelektrischen Fahrzeuge. Jedoch bleibt die Stadt Luzern technologieoffen und nutzt die technologischen Entwicklungen anderer alternativer emissionsfreier Antriebsformen.

Für Fahrzeuge, die hohe Anschaffungskosten haben, aber wenige Kilometer fahren, könnten langfristig E-Fuels auch eine mögliche Alternative darstellen.

4. Bidirektionales Laden

Als Grundlage für die Erarbeitung der Massnahmen des Gesamtkonzepts erneuerbare Antriebe in der Mobilität, wurde auch das Thema bidirektionales Laden vertieft.

Bidirektionales Laden ist eine Technologie, die es ermöglicht, die Batterien von elektrischen Fahrzeugen (Electric Vehicles, EV) nicht nur zum Fahren, sondern auch als Stromspeicher für das Haus (Vehicle to Home, V2H) oder das Stromnetz (Vehicle to Grid, V2G) zu verwenden. Dieser kurze Bericht beleuchtet den technischen und ökonomischen Entwicklungsstand dieser Technologie sowie Vorteile, Nachteile und Hürden bei einer grossskaligen Umsetzung.

4.1 Technologie

Bei der Ladung von Elektrofahrzeugen wird der Wechselstrom (AC) des Stromnetzes mittels Gleichrichter in für die Batterie geeigneten Gleichstrom (DC) umgewandelt. Um diesen Prozess umzukehren, braucht es daher einen Wechselrichter, der den Strom von der Batterie zurück in netztauglichen Wechselstrom umwandelt. Dieser ist beim bidirektionalen Laden entweder im Fahrzeug oder in der Ladestation integriert (EWZ, 2023). Unabhängig davon, ob sich der Gleichrichter im Fahrzeug oder in der Station befindet, muss sowohl das Fahrzeug als auch die Ladestation diesen Vorgang unterstützen können. Heutzutage funktionieren die bidirektionalen Ladestationen mit Gleichstrom. Es gibt auch Prototypen von AC bidirektionalen Ladestationen.

Zwischen Auflade- und Entladeenergie rechnet man derzeit mit rund 30 % Verlust (Drzimalla, 2021).

Zudem können die zusätzlichen Ladezyklen zu einer reduzierten Batterielebensdauer führen (Dubarry et al., 2017). Die Alterung der Batterie ist nämlich sowohl vom kalendarischen Alter als auch von der Anzahl Ladezyklen abhängig. Der genaue Einfluss von bidirektionalem Laden auf die Batterielebensdauer ist jedoch noch wenig erforscht und abhängig von diversen Faktoren. Da die Technologie noch an ihrem Anfang steht, fehlen zurzeit empirische Daten, um die langfristigen Auswirkungen auf die Batterielebensdauer abzuschätzen. Konkrete Aussagen dazu sind deshalb bisher mit grossen Unsicherheiten behaftet (Empa, 2023).

Seit 2014 sind erste seriell produzierte Autos mit bidirektionaler Ladetechnologie (V2X) auf dem Schweizer Markt. Derzeit sind jedoch noch immer wenige Fahrzeugmodelle fähig, bidirektional zu laden. Vor allem die japanischen Steckerfahrzeuge können bidirektionales Laden (Swiss e-Mobility, 2023). Beispiele sind die Modelle Honda e (Vertrieb eingestellt) und Nissan Leaf, aber auch Fiat 500e, Skoda Enyaq, VW ID.3 und Hyundai Ioniq 6. Weitere Autohersteller haben angekündigt, die Technologie einzuführen (Mobility, 2023). Oft ist im Internet zu lesen, dass in Japan bidirektionales Laden vom Staat vorgeschrieben sei. Das stimmt aber nicht. Der in Japan populäre DC-Standard CHAdeMO kann bidirektionales Laden. Wie oben beschrieben, muss dies aber auch von der Ladestation unterstützt werden. Im Rest der Welt hat sich grundsätzlich CCS als DC-Standard durchgesetzt.

Die bidirektionale Ladeinfrastruktur beschränkt sich heute noch stark auf V2H und ist auch dort erst selten im Einsatz. Es gibt jedoch erste Versuche, welche die Rückspeisung auf Netzebene, also Vehicle to Grid, hochskalieren wollen. Die Car-Sharing-Firma Mobility startete 2022 das bisher grösste Pilotprojekt in der Schweiz mit fünfzig bidirektional ladenden Elektroautos (Mobility, 2023). Nachdem die technische Machbarkeit nachgewiesen wurde, geht es nun um die Wirtschaftlichkeit. Einem Zwischenbericht ist zu entnehmen, dass die grössten Herausforderungen bei den Herkunftsnachweisen des rückgespierten Stroms, beim Datenverkehr zwischen Ladestationen und Mobility und den Anforderungen von Swissgrid an Systemdienstleistungen liegen (Ballinari, 2023). Das Interesse an neuen Erkenntnissen ist sowohl von wirtschaftlicher als auch öffentlicher Seite gross.

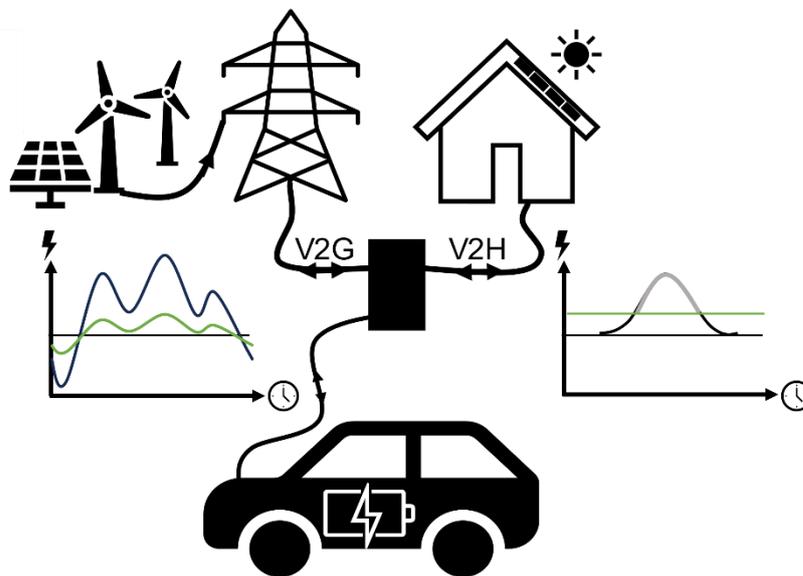


Abbildung 9 Das bidirektional ladende batterieelektrische Fahrzeug kann den Strom bei Bedarf sowohl ins Stromnetz als auch ins Haus zurückspeisen. (Eigene Darstellung)

4.2 Vehicle to Home (V2H)

Vehicle to Home beschreibt die Nutzung von Elektroautobatterien als Hausbatterie, wobei der Lade- und Rückspeisevorgang hinter dem Hauszähler stattfindet. Die Hauptmotivation dafür ist meist die Möglichkeit, den überschüssigen Strom der eigenen Photovoltaikanlage zu speichern und bei Bedarf wieder beziehen zu können. So kann der Eigenverbrauch erhöht werden, was für Hausbesitzende finanziell attraktiv ist (Abbildung 9 rechts). Das bidirektionale Laden kann deshalb zu einer Optimierung des Einsatzes von Strom aus erneuerbaren Quellen beitragen.

Die Anschaffungskosten der benötigten Infrastruktur sind jedoch noch sehr hoch: Eine bidirektionale Wallbox kostet in der Schweiz weit über 10'000 CHF und ist damit ein Vielfaches teurer als reguläre Wallboxen (Sun2Wheel, 2023), während man für unidirektionale Wallboxen zwischen 400 und 2'500 CHF bezahlt.

Die V2H-Technologie ist in der Schweiz erst vereinzelt im Einsatz (Mobility, 2023), doch mit dem Ausbau der Photovoltaik im Rahmen der Energiewende könnte V2H zunehmend an Nachfrage gewinnen.

4.3 Vehicle to Grid (V2G)

Die Batteriekapazität von elektrischen Fahrzeugen kann nicht nur für den Haushaltsgebrauch, sondern auch für mehr Flexibilität im Stromnetz genutzt werden. Bei Vehicle to Grid wird eine grosse Anzahl Elektrofahrzeuge ins Stromnetz eingebunden. Dies hat den Zweck das Stromnetz zu stabilisieren und erneuerbare Energiequellen besser auszuschöpfen (EWZ, 2023). Mit einer hohen installierten Leistung aber einer vergleichsweise geringen aggregierten Speicherkapazität eignen sich EV-Flotten für die kurzfristige Speicherung (Signer et al., 2023). Die langfristige und saisonale Speicherung wird weiterhin mit anderen Lösungen erfolgen, in der Schweiz vor allem mit Wasserspeicherkraftwerken.

Im Tagesverlauf können bidirektionale Fahrzeuge also zu einer Lastspitzenglättung beitragen (Abbildung 9 links). Dies kann wiederum die Belastung der Stromnetzinfrasturktur reduzieren und so zu geringeren Stromsystemkosten führen (Van Liedekerke et al., 2023).

Eine Studie des TCS und dem Karlsruhe Institute of Technology hat den Beitrag von bidirektionalem Laden für die Reduktion von Lastspitzen im Stromnetz untersucht. Die Studie löst ein Optimierungsproblem und die Ergebnisse sind deshalb als ein theoretisches Potenzial zu verstehen. Ausserdem differenziert sie zwischen bidirektionalem Laden und unidirektionalen, kontrolliertem Laden. Das unidirektionale, kontrollierte Laden oder Lastmanagement bedeutet, den Ladeprozess hin zu Off-Peak-Zeiten zu verschieben, ohne die Energierückspeisung vom Fahrzeug ins Netz. Die Studie behauptet, dass 92 % der geladenen Energie verschiebbar ist hin zu Off-Peak-Zeiten.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine künftige EV-Flotte mit 20 % kontrollierten bidirektionalen Fahrzeugen im Jahr 2030 die Residuallast¹ um 11 % reduzieren könnte (Abbildung 10). Die Reduktion von 7 % kann aber rein durch unidirektionales, kontrolliertes Laden erreicht werden. Anders gesagt, aus diesen 11 % Potenzial entstehen 7 % dank der Kontrolle/Verschiebung des Ladevorgangs und die Bidirektionalität bringt die restlichen 4 %. Mit der Zunahme der EV-Flotte kann so auch ohne bidirektionales Laden bereits ein Grossteil der Lastreduktion erreicht werden (Signer et al., 2023).

¹ Restbedarf an Strom, der nicht durch fluktuierende erneuerbare Energien (Wind und Sonne) abgedeckt werden kann

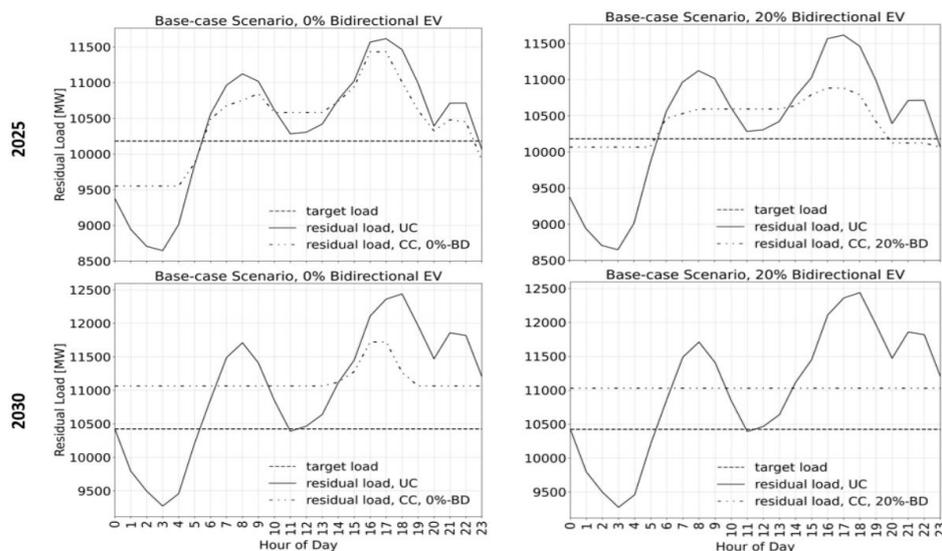


Abbildung 10 Einfluss von unkontrolliertem Laden (UC), kontrolliertem Laden (CC) und bidirektionalem Laden (BD) auf die Residuallast im Tagesverlauf 2025 und 2030. (Signer et al., 2023)

Eine Studie aus Kalifornien kommt zum selben Schluss und vergleicht zusätzlich die Investitionskosten von kontrolliertem und bidirektionalem Laden mit stationären Speichern. Die Ergebnisse zeigen, dass mit dem Einsatz von EV anstelle von stationären Speichern mehrere Milliarden Dollar Kapitalinvestitionen vermieden werden können. Dabei deckt das kontrollierte Laden bereits drei Viertel des Speicherbedarfs ab (Coignard et al., 2018).

Eine BFE-Studie untersucht das Potenzial der Stromverbrauchsverschiebung nicht nur im Sektor Verkehr, sondern im Allgemeinen. Der Begriff hier heisst Demand-Side-Management (DSM) und darunter werden Massnahmen zur Beeinflussung des Stromverbrauchs von Endkunden verstanden, um ein energiewirtschaftliches System zu optimieren. Gemäss der Studie liegt dort das soziotechnische Potenzial bei etwa 0.6 bis 1 GW. Das höchste soziotechnische Potential ist im Bereich Haushalte sowie bei den Dienstleistungen zu erwarten (Vossebein et al., 2019).

Da aus ökonomischer und technischer Sicht eine direkte Nutzung von Strom dem Speichern immer vorzuziehen ist, bieten intelligentes Laden und intelligente Laststeuerung bevorzugte Lösungen für einen Lastausgleich im Vergleich zu V2G.

Voraussetzungen

Wie oben erklärt, kann V2G einen Beitrag zur Stabilisierung des Stromnetzes und effizienter Ausschöpfung erneuerbarer Energien leisten. Für eine grosskalige, netzdienliche Umsetzung von V2G müssen jedoch bestimmte Rahmenbedingungen erfüllt sein:

1. **Smart Grid:** Um die Rückspeisung der EV gezielt zu steuern und auf die Bedürfnisse des Stromnetzes anzupassen, muss das Stromnetz zuerst mit Kommunikations- und Steuerungstechnologien ausgestattet werden. Nur so kann der Energiefluss überwacht, gesteuert und letztendlich optimiert werden. Das heutige Stromnetz hat noch massiven Ausbaubedarf

für höhere Netzintelligenz (EWZ, 2023). Aktuell haben Verteilnetzbetreiber wenig Anreiz, in intelligente Netze zu investieren, denn sie dürfen die Netzausbaukosten auf die Endkunden überwälzen. Die Kosten für die Vermeidung von einem solchem Ausbau (über Smart Grid oder DSM) können aber nicht auf die Kunden überwälzt werden.

2. **Anreize:** Damit die Besitzenden von bidirektionalen EV ihre Batteriekapazität dem öffentlichen Stromnetz zur Verfügung stellen, sind Anreize benötigt. Diese müssten gleich gross oder grösser sein als der durch die Eigenverbrauchsoptimierung generierte finanzielle Anreiz bei V2H. Sie können finanziell (z.B. zeitvariable Ladetarife), aber auch strukturell (z.B. passende Infrastruktur) sein (Stephan et al., 2023). Zeitabhängige Stromtarife sollten als Anreiz auch Kunden angeboten werden, die nicht Energie aus dem freien Markt beschaffen.
3. **Gesetze:** Um die Integration von V2G ins Stromnetz zu ermöglichen, sind geeignete rechtliche und regulatorische Rahmenbedingungen benötigt. Die Anreize (siehe vorherigen Punkt) benötigen oft eine gesetzliche Grundlage.
4. Eine wichtige Grundlage wurde im Bundesgesetz über die sichere Stromversorgung mit erneuerbaren Energien (Mantelerlass) festgelegt. Pumpspeicher waren bereits vor dem Mantelerlass von Netzentgelt befreit. Die Energiespeicherung in den Fahrzeugbatterien und die Rückspeisung mit V2G war hingegen nicht davon befreit und deshalb gegenüber anderen Speicherformen benachteiligt. Nach der Differenzbereinigung zwischen den zwei Räten hat das Parlament in der finalen Fassung entschieden, dass bei Speichern mit Endverbrauch eine Rückerstattung der Netzentgelte auf Anfrage ausbezahlt wird. Die Rückerstattung betrifft die Energiemenge, die nach dem Bezug aus dem Netz und nach der Speicherung zurück gespiesen wird². Auf Ebene Ordonnanz müssen noch die operativen Aspekte geklärt werden. Die Rückspeisung von Energie von der Fahrzeugbatterie zum Stromnetz ist deshalb vom Netzentgelt befreit. Somit gibt es nun einen Anreiz für V2G.
5. Weitere gesetzliche Grundlagen sollten erlauben, zeitabhängige Stromtarife auch Monopolkunden anzubieten.
6. **Netzkapazität:** Die Kapazität des Stromnetzes muss ausreichend sein, um die zusätzliche lokale Belastung durch die bidirektionale Energieübertragung zu bewältigen (Ulmann, 2023).
7. **Standardisierung:** Um die Interoperabilität zwischen verschiedenen V2G-Systemen sicherzustellen, sind einheitliche technische Standards und Protokolle benötigt (Ulmann, 2023).
8. **Zusammenarbeit:** Energieversorger, Netzbetreiber, Autohersteller, Regulierungsbehörden, EV-Besitzende und Softwarehersteller müssen eng zusammenarbeiten (Ulmann, 2023). Jedoch haben im Strommarkt nicht alle Akteure identische Interessen. Das netzdienliche Laden kann eine Optimierung für den Energielieferanten (niedrigere Energiebeschaf-

2 [Art. 14 Abs. 4 BBl](#)

fungskosten), eine Optimierung für den Verteilnetzbetreiber (Vermeidung Netzausbau, insbesondere Trafostationen) oder eine Optimierung für das übergeordnete Übertragungsnetz von SwissGrid sein. Für die Kundschaft hingegen, könnte es zu Komforteinbussen führen. Ein bestimmtes Lade- und Entladeverhalten könnte deshalb optimal für einen Akteur sein aber nicht für die anderen. Der Kunde hat oft nur einen Vertragspartner und interagiert somit nur mit einem dieser Akteure.

Unsicherheiten

Ob und wie die oben genannten Voraussetzungen erfüllt werden können, hängt von diversen Faktoren ab. Deren Entwicklung ist jedoch oftmals noch unsicher.

- Politische Entscheidungen und gesetzliche Grundlagen (EWZ, 2023) für die Entwicklung der Netzintelligenz und Anreize (Künftige Markt/Tarifstrukturen (Stephan et al., 2023), Infrastruktur, Netzkosten, Subventionen...)
- Beteiligung der Nutzenden an bidirektionalem Laden (Stephan et al., 2023)
- Geschwindigkeit Ausbau der erneuerbaren Energien, Wärmepumpen, Elektromobilität (Stephan et al., 2023)
- Batterielebenszeit
- Angebot/Nachfrage der Flexibilität (Stephan et al., 2023)
- Anteil bidirektionaler Fahrzeuge an der künftigen EV-Flotte

Grundsätzlich gilt zu bemerken, dass Stromverteilnetzbetreiber stationäre Speicher, auf die sie jederzeit und garantiert Zugriff haben, bevorzugen. Solange Stromversorger nicht sicher wissen, wieviel im Ereignisfall zurückgespielen würde, werden sie auf den Netzausbau inkl. allfällige Batteriespeicher bei den Transformatoren setzen.

4.4 Schlussfolgerung

Das bidirektionale Laden steckt in der Schweiz noch in den Kinderschuhen.

Bidirektionales Laden als V2H ist auf Ebene Gebäude oder ggf. Areale schon heute marktreif und für Gebäudebesitzende, die den Eigenverbrauch ihrer PV-Anlage erhöhen möchten, interessant. Auf Netzebene existiert die Technologie jedoch erst in theoretischen Modellen oder kleinen Pilotprojekten. Hier herrschen noch grosse Unsicherheiten auf verschiedenen Ebenen.

Damit es auch auf Netzebene funktionieren kann, sind wichtige Voraussetzungen, wie Smart Grid und DSM noch nicht erfüllt. Das Potenzial der zusätzlichen, kurzfristigen Flexibilität, die so für das Stromnetz zur Verfügung gestellt wird, ist erheblich, jedoch geringer als andere Massnahmen wie kontrolliertes Laden. Diese sind aus technischen und ökonomischen Gründen dem bidirektionalen Laden vorzuziehen.

Die Erfüllung der benötigten Voraussetzungen für V2G wird allein bereits grosse positive Auswirkungen für das Stromsystem mit sich bringen, sodass der zusätzliche Einfluss von V2G vergleichsweise gering bleiben wird.

Für die Stadt Luzern ergibt sich in diesem Bereich also kein Handlungsbedarf.

5. Ausgangslage der Elektromobilität in der Stadt Luzern

Die Stadt Luzern zählte im Jahr 2022 83'840 Personen (Lustat, 2023) und gemäss Motorfahrzeugregister waren im Jahr 2022 32'982 Personenwagen in der Stadt immatrikuliert³. Das ergibt einen Motorisierungsgrad von 393 Fahrzeugen pro 1'000 Personen. Als Vergleich, der Motorisierungsgrad im Kanton Luzern lag 2022 bei 530 und in der gesamten Schweiz bei 540. Abbildung 11 zeigt die kantonalen Unterschiede im Motorisierungsgrad.

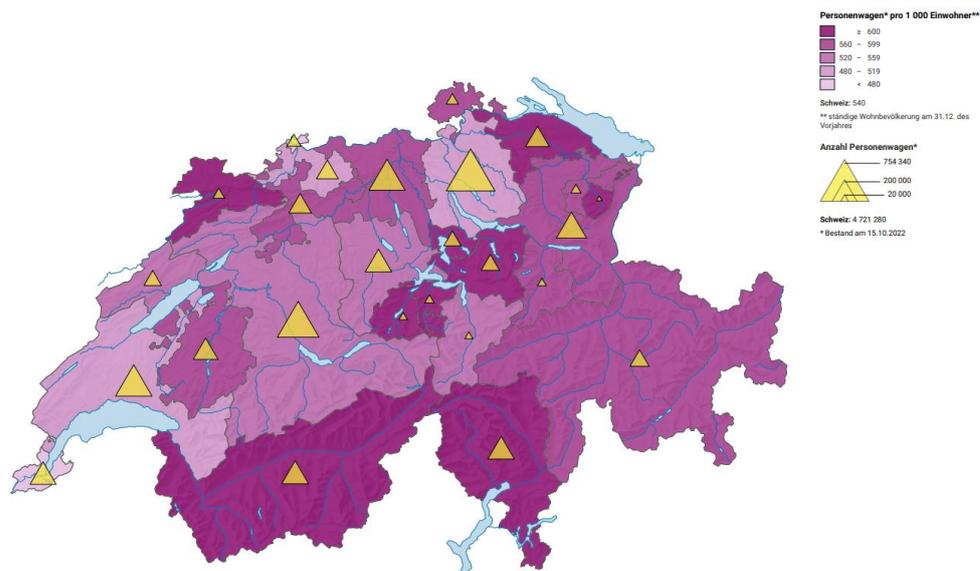


Abbildung 11: Motorisierungsgrad und Personenwagenanzahl in den Kantonen der Schweiz im Jahr 2022.

Von den in der Stadt Luzern im Jahr 2022 immatrikulierten 32'982 Personenwagen waren 832 (2.5 %) batterieelektrisch und 469 (1.4 %) Plug-in-Hybride. Die Anzahl Steckerfahrzeuge in der Stadt Luzern hat sich innerhalb von zwei Jahren mehr als verdoppelt. Im Jahr 2020 waren es noch 386 batterieelektrische Fahrzeuge (1.2 %) und 222 Plug-in-Hybride (0.7 %).

Insgesamt zählte die Stadt Luzern im Sommer 2023 34 allgemein zugängliche Ladestandorte, auf die insgesamt 104 Ladepunkte entfielen. Von diesen Ladepunkten waren die grosse Mehrheit AC-Ladepunkte (Langsamlander), während nur sechs DC-Ladepunkte über 50 kW waren (Schnelllader). Die Tabelle 1 zeigt eine Zählung der Ladepunkte je Leistungskategorie.

³ Zahlen können trotz gleicher Datenbasis von denen des Bundesamts für Strassen (ASTRA) bzw. des Bundesamts für Statistik (BFS) (siehe [Bestand der Strassenfahrzeuge nach Gemeinde, Fahrzeuggruppe, Treibstoff und Jahr](#)) abweichen. Dies hat mit der Prozessierung der Rohdaten des Motorfahrzeug-Information-Systems (MOFIS) von nicht-personengebundenen Firmenfahrzeugen zu tun.

Die Ladeleistung an allgemein zugänglichen Ladepunkten pro batterieelektrisches Fahrzeug in der Stadt Luzern liegt mit ca. 1.8 kW unter dem Schweizer Durchschnittswert von 2.5 kW für das Jahr 2022. In Zukunft kann 1.1 kW pro batterieelektrisches Fahrzeug als Richtgrösse dienen (EBP, 2023b).

Die durchschnittliche Leistung pro Ladepunkt liegt mit 14.8 kW unter dem Schweizer Durchschnittswert (42.5 kW). In Luzern sind überdurchschnittlich viele AC-Ladestationen mit niedriger Leistung installiert.

6. Entwicklung der Elektromobilität in der Stadt Luzern

6.1 Das Modell zur Abschätzung der zukünftigen Entwicklung

Die in diesem Bericht beschriebenen Ergebnisse stammen aus dem EBP-Modell der Energieszenarien Mobilität Schweiz. Das Modell berücksichtigt die soziodemographische Entwicklung, Technologie- und Marktentwicklungen, das Mobilitätsverhalten, Verkehrsflüsse sowie das individuelle Ladeverhalten. Eine detaillierte Beschreibung des Modells findet sich in der Studie «[Verständnis Ladeinfrastruktur 2050](#)» (EBP, 2023). Die wichtigsten Elemente sind im Folgenden beschrieben und in Abbildung 13 dargestellt.

Die schweizerischen Verkehrsperspektiven 2050 (ARE, 2022) dienen als Grundlage für die Berechnung der Bevölkerung und Verkehrsentwicklung. Für die Entwicklung der Szenarien im vorliegenden Konzept wurden die Bevölkerungsperspektiven von Lustat verwendet (Lustat, 2023), die auch für das Raumentwicklungskonzept verwendet werden. Ausserdem wurden die Annahmen über die Verkehrsentwicklung in Luzern so angepasst, dass die Verkehrsziele der Mobilitätsstrategie erfüllt werden (Stadt Luzern, 2018).

Die Steckerfahrzeuge (batterieelektrisch und Plug-in-Hybrid) werden anhand von 16 verschiedenen Fahrzeugtypen modelliert. Sie unterscheiden sich bezüglich Grösse, maximaler Aufnahmeleistung, Strombedarf und Batteriekapazität.

Das verwendete Szenario zum Mix der Antriebstechnologien im Neuwagenmarkt ist das Szenario «Zero-E» der EBP Electric and Hydrogen Mobility Scenarios (EBP, 2022). Auch diese Annahmen wurden für das vorliegende Konzept so angepasst, dass die Szenarien kompatibel mit dem Ziel der Stadt Luzern «Null energiebedingte Treibhausgas-Emissionen im Verkehr bis 2040» sind.

Die zukünftigen Fahrzeugbestände werden ausgehend von den tatsächlichen Beständen und den erwarteten Neuzulassungen auf Ebene der Gemeinden bis 2050 detailliert modelliert, segmentiert in vier Fahrzeuggrössenklassen und vier Antriebstechnologien.

Der Energiebedarf wird anhand der jahresspezifischen Zusammensetzung des Fahrzeugbestands und der spezifischen Energieverbräuche in Abhängigkeit der Erstinverkehrssetzung modelliert.

Soziodemografische Faktoren wie Haushaltstyp (Miete, Stockwerkeigentum, Hauseigentum) und das Einkommen haben einen grossen Einfluss auf den Erwerb und Besitz eines Steckerfahrzeugs. Unter Berücksichtigung dieser soziodemografischen Faktoren und zur robusten Schätzung des Anteils der Steckerfahrzeuge, die zukünftig zu Hause laden können, werden alle Steckerfahrzeuge in der Modellierung bis 2050 entsprechend auf Haushalte und Firmen verteilt. Dazu werden Daten aus dem Projekt «Synthetische Bevölkerung Schweiz» verwendet (EBP, 2017).

Es werden 52 verschiedene Ladetypen differenziert. Die Differenzierung erfolgt anhand des Nutzertyps, der Verfügbarkeit einer privaten Ladeinfrastruktur zu Hause, am Arbeitsplatz und im Quartier sowie der Reichweite und der Aufnahmeleistung der Steckerfahrzeuge. Die Ladetypen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Ladebedürfnisse (Wo laden die Nutzenden wieviel?).



Abbildung 13: Aufbau Modell für die Entwicklung Elektromobilität und Ladebedarf. Quelle: [Verständnis Ladeinfrastruktur 2050](#).

Die Ladevorgänge finden abgesehen vom Laden zu Hause nicht genau dort statt, wo das Fahrzeug registriert ist, sondern z. B. am Arbeitsplatz, am Zielort, im Quartier oder an Schnellladepunkten. Um den Ladebedarf je Ladebedürfnis räumlich differenziert zu modellieren, wird eine agentenbasierte Simulation mit den Verkehrsflüssen des nationalen Personenverkehrsmodells nach Verkehrszweck (Arbeit, Freizeit, Dienstwege, etc.) durchgeführt. Der aggregierte Ladebedarf je Ladebedürfnis wird für alle rund 8'000 Verkehrszonen der Schweiz modelliert (ARE, 2020). Wie viele Ladepunkte benötigt werden, um den Ladebedarf zu decken, hängt vom heutigen Ladenetz und von der angenommenen Auslastung der Ladepunkte (*Utilisation Rate*) in Zukunft ab.

6.2 Entwicklung soziodemografischer Rahmendaten nach Technologie und je Verkehrszone

In der vergangenen Dekade ist die Anzahl EinwohnerInnen der Stadt Luzern mit Ausnahme des Jahres 2017 konstant leicht angestiegen. Die Bevölkerungsperspektive (BFS, 2020) erwartet für die gesamte Schweiz einen Zuwachs von 21 % zwischen 2020 und 2050. Über denselben Zeitraum wird auf Basis des Referenzszenarios ein Zuwachs von ca. 18 % im Kanton Luzern erwartet.

Die für die Modellierung verwendete Bevölkerungsentwicklung in der Stadt Luzern ist in Abbildung 14 dargestellt und entspricht dem mittleren Szenario von Lustat (Lustat, 2023). Der positive Trend der letzten Jahre setzt sich über die nächsten Jahre fort, bis er sich ab 2035 in gleichem Masse ins Negative umkehrt.

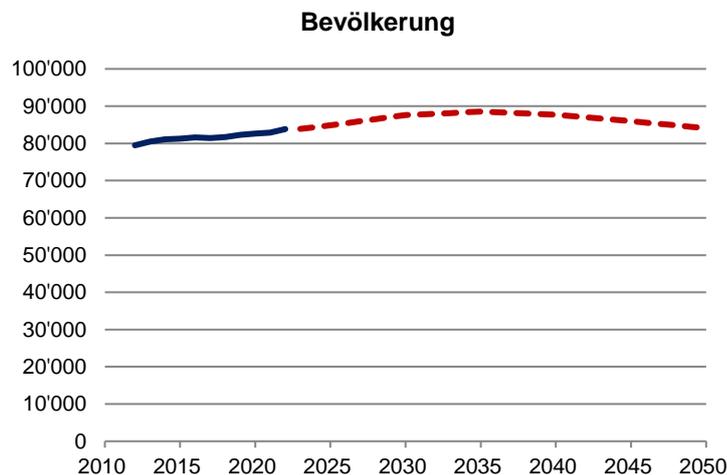


Abbildung 14: Prognose der Bevölkerungsentwicklung in der Stadt Luzern. Die Blaue, durchgezogene Linie weist auf historische Werte hin, während die rote, gestrichelte Linie erwartete Zukunftswerte sind.

Bezüglich der verkehrlichen Entwicklung verwendet EBP normalerweise – wie auch im Rahmen der Studie «[Verständnis Ladeinfrastruktur 2050](#)» – das Basis-Szenario der «Verkehrsperspektiven 2050». Dieses Szenario zeigt eine Entwicklung hin zu einer ressourceneffizienten Mobilität von Personen und Gütern. Es orientiert sich an den Zielen des Bundes von «Mobilität und

Raum 2050: Sachplan Verkehr, Teil Programm» (ARE, 2022). Die Verkehrsleistung wächst in diesem Szenario unterproportional zur Bevölkerung aufgrund der im Szenario hinterlegten Annahmen. Vor allem eine weitergehende Urbanisierung, die demographische Alterung (weniger sehr mobile Erwerbstätige), Homeoffice und kürzere Freizeitwege (die vermehrt zu Fuss und mit dem Velo zurückgelegt werden) dämpfen die Entwicklung der Verkehrsleistungen pro Kopf und damit den Motorisierungsgrad. Zur Abbildung des unterschiedlichen Mobilitätsverhaltens je Stadt oder Gemeinde bezüglich Fahrzeugbesitz, Modalsplit und Jahresfahrleistung wird der Mikrozensus Mobilität und Verkehr herangezogen.

In der Stadt Luzern werden derzeit viele Anstrengungen unternommen, den öffentlichen Personenverkehr sowie den Fuss- und Veloverkehr zu stärken. Die Stadt Luzern strebt an, dass der Motorisierungsgrad schon heute seinen Höhepunkt erreicht hat. Die Ziele gemäss der Mobilitätsstrategie (Stadt Luzern, 2018) sind eine Reduktion beim Modalsplit des motorisierten Individualverkehrs auf 36 % bis 2035 (47 % im Jahr 2018). Ausserdem soll die Verkehrsbelastung auf dem übergeordneten Strassennetz (Stadtkordon) bis 2040 gegenüber 2010 um 15 % reduziert werden.

Zudem sollen bis 2040 alle in der Stadt Luzern immatrikulierten Fahrzeuge elektrisch und/oder erneuerbar angetrieben sein (Stadt Luzern, 2021). Um eine Einheitlichkeit zwischen den unterschiedlichen Planungsgrundlagen der Stadt zu gewährleisten, wurde der auf Basis der Verkehrsperspektiven 2050 bestimmte Motorisierungsgrad und der Modalsplit in der Stadt Luzern für die weitere Analyse abgeändert (Abbildung 15) und die Zahlen zum Personenwagenbestand entsprechend angepasst (Abbildung 16). Dies geschah in einem zweistufigen Prozess. Die Bestandsdynamiken nach der Anpassung des Motorisierungsgrads und Modalsplits sind im Anhang A1 zu finden. Die Resultate der aufbauenden Anpassung zum Verschwinden der Verbrenner im Bestand bis 2040 sind im Folgenden präsentiert und die Basis aller in diesem Bericht beschriebener Ergebnisse.

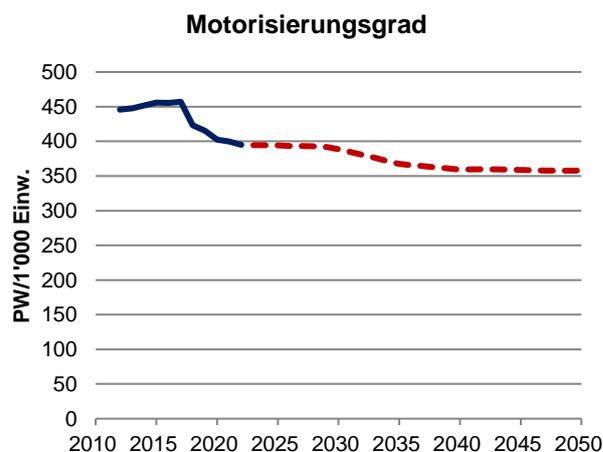


Abbildung 15: Prognose des Motorisierungsgrads in der Stadt Luzern.

Seit dem Jahr 2018 war der Motorisierungsgrad in der Stadt Luzern bereits stark rückläufig. Für die nächsten Jahre bis 2035 wird die Anzahl Personenwagen je 1'000 EinwohnerInnen voraussichtlich weiter abnehmen. Danach

nimmt sie nicht mehr zu. Aufgrund dieser erwarteten Abnahme des Motorisierungsgrads bereits in den nächsten Jahren wird angenommen, dass der Personenwagenbestand in der Stadt Luzern selbst bei steigenden Bevölkerungszahlen nach einem leichten Anstieg bis im Jahr 2020 abfallen wird (siehe Abbildung 16).

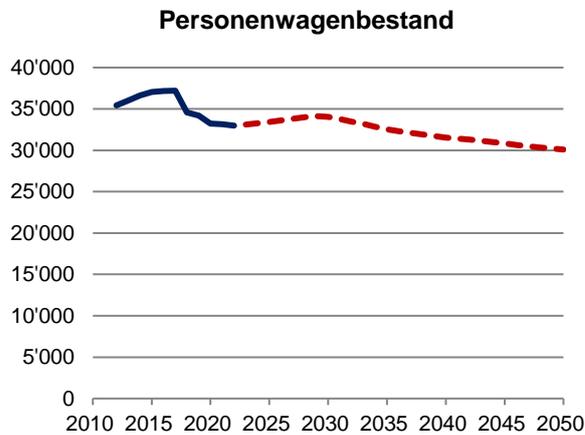


Abbildung 16: Prognose der Anzahl Personenwagen in der Stadt Luzern.

6.3 Entwicklung der Fahrzeugbestände nach Technologie

Die hier vorgestellten Szenarien beziehen sich auf drei Fahrzeugkategorien: Personenwagen, leicht Nutzfahrzeuge und schwere Nutzfahrzeuge.

Personenwagen	Leichte Nutzfahrzeuge	Schwere Nutzfahrzeuge
		

Tabelle 2: Beispielfahrzeuge aus der städtischen Flotte für die drei Fahrzeugkategorien: Personenwagen, leichte Nutzfahrzeuge und schwere Nutzfahrzeuge.

Personenwagen

Wie in Abbildung 16 gezeigt, wird der Personenwagenbestand in der Stadt Luzern bis 2050 voraussichtlich sinken. Auch die Zusammensetzung des Bestands nach Antriebstechnologie wird sich stark verändern (siehe Abbildung 17).

Die Modellierung gemäss den Grundlagen der Studie «[Verständnis Ladeinfrastruktur 2050](#)» zeigt, dass der batterieelektrische Antrieb in Zukunft den Fahrzeugbestand dominieren wird. Für das Jahr 2030 wird angenommen, dass ca. 49 % der Personenwagen in der Stadt Luzern rein elektrisch sein werden, damit die Ziele der Klima- und Energiestrategie erfüllt werden können. Hinzu kommen noch ca. 3 % Plug-in-Hybride. Bis zum Jahr 2050 wird der Anteil batterieelektrischer Fahrzeuge in der Stadt Luzern voraussichtlich auf ca. 97 % steigen. Die restlichen 3 % sind dann FCEV-Fahrzeuge, die ebenfalls emissionsfrei sind.

Plug-in-Hybride spielen nur kurzfristig eine Rolle. In einer Netto-Null-Welt nach 2040 wären sie nur mit synthetischen Treibstoffen kompatibel. Wasserstoff-Brennstoffzellen werden voraussichtlich nur einen tiefen Marktanteil bei Personenwagen erreichen (Fraunhofer, 2023a).

Im Jahr 2035 sind batterieelektrische Fahrzeuge bereits sehr stark im Personenwagenbestand etabliert (siehe Abbildung 17), weswegen fast der gesamte Ladeinfrastrukturaufbau bis dahin erfolgt sein muss. Deshalb eignet sich dieser Zeitpunkt als wichtiger Meilenstein auf dem Weg zum Ziel null energiebedingte Treibhausgas-Emissionen für das Jahr 2040, weswegen sich auch die Ladebedarfsanalyse und Standortauswahl am Jahr 2035 orientiert.

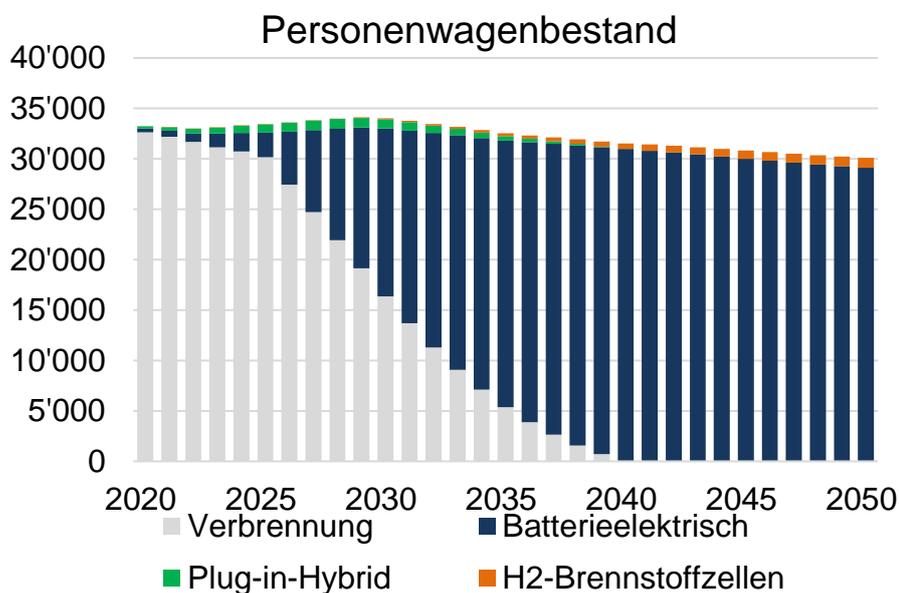


Abbildung 17: Entwicklung des Personenwagenbestandes in der Stadt Luzern nach Antriebstechnologie.

Im Jahr 2035 werden voraussichtlich über 80 % der Fahrzeuge in der Stadt Luzern batterieelektrisch sein, was ca. 26'442 Fahrzeuge ausmachen würde. Diese Fahrzeuge sind sehr heterogen über die verschiedenen Zonen des Nationalen Personenverkehrsmodells (NPVM) verteilt. Die höchsten Werte werden in den Wohngebieten nördlich und westlich des Stadtkerns erwartet, während die Werte im grossen Gewerbegebiet nordöstlich des Stadtkerns sowie um den von Geschäften und Dienstleistungsunternehmen geprägten Bereich um den Luzerner Bahnhof herum sehr niedrig sein werden. Die Abbildung 18 zeigt für jede NPVM-Zone, wie viele batterieelektrische Fahrzeuge im Jahr 2035 dort registriert sein werden.

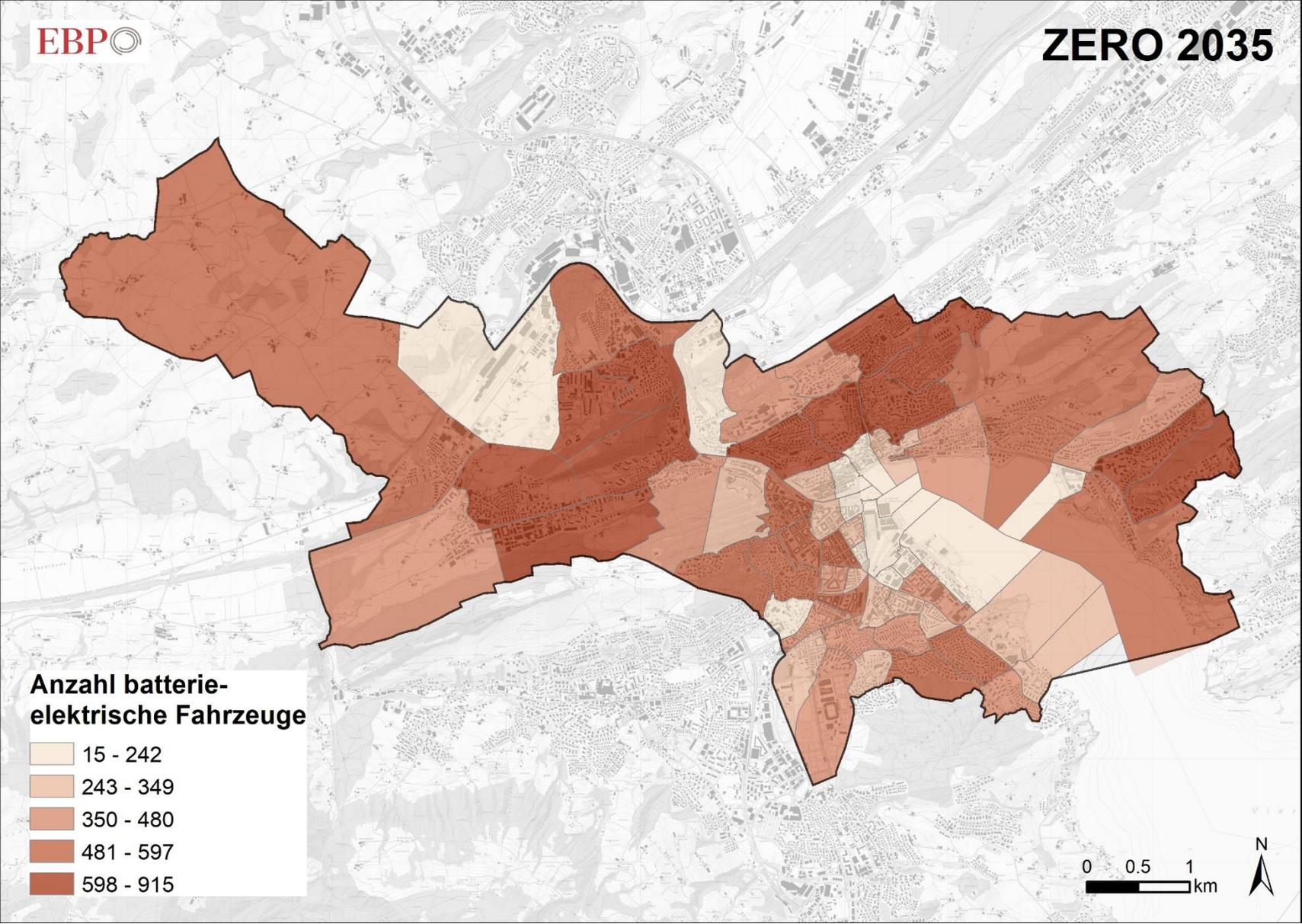


Abbildung 18: Anzahl immatrikulierter batterieelektrischer Fahrzeuge je NPVM-Zone im Jahr 2035.

Nutzfahrzeuge

Auch für die Prognose der Bestände leichter und schwerer Nutzfahrzeuge wurden statt dem Basis-Szenario der «Verkehrsperspektiven 2050» ein angepasster Modalsplit und die Annahme, dass es ab 2040 keine Verbrenner mehr im Bestand gibt, zugrunde gelegt. Im Gegensatz zum Trend bei den Personenwagen wird vor allem die Anzahl leichter, aber auch schwerer, Nutzfahrzeuge bis 2050 stetig zunehmen (Abbildung 19, Abbildung 20). Ein weiterer Unterschied ist, dass alternative Antriebe bei den Nutzfahrzeugen bislang noch kaum im Bestand etabliert sind. Das ist dadurch begründet, dass die Anforderungsprofile von Personenwagen schon eher durch batterieelektrische Antriebe erfüllbar waren. Dementsprechend hat die Umwälzung der Nutzfahrzeugbestände erst kürzlich begonnen (siehe Kapitel 3). Anders als bei den Personenwagen zeigt sich, dass (teure) Plug-in-Hybride keine Übergangslösung zu rein batterieelektrischen Fahrzeugen darstellen, sondern die FahrzeughalterInnen von Nutzfahrzeugen mehrheitlich einen direkten Wechsel vom Verbrenner zum batterieelektrischen Fahrzeug vollziehen werden. Auch hier wird der batterieelektrische Antrieb dominieren (EBP, 2023c).

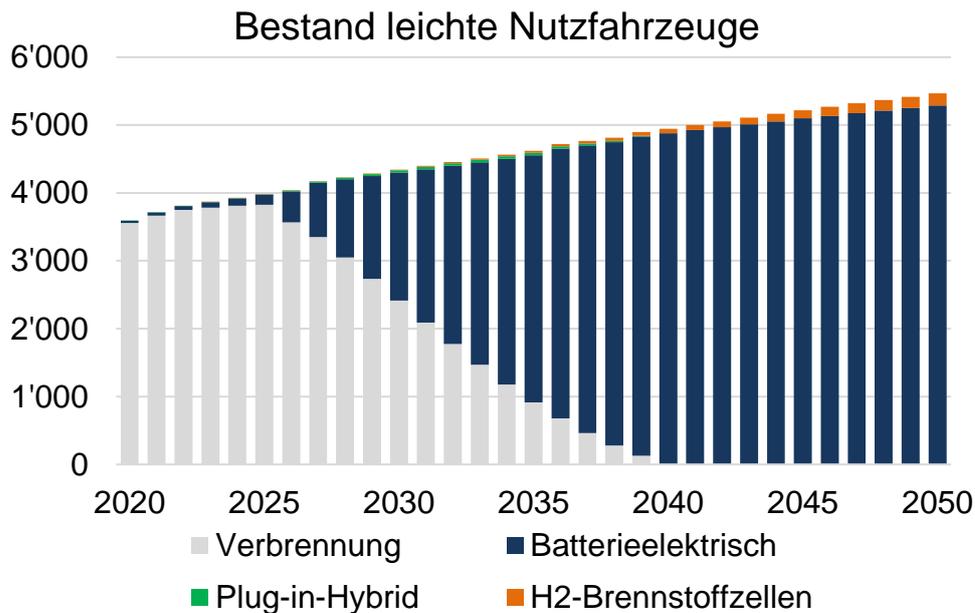


Abbildung 19: Entwicklung des Bestandes leichter Nutzfahrzeuge in der Stadt Luzern nach Antriebstechnologie

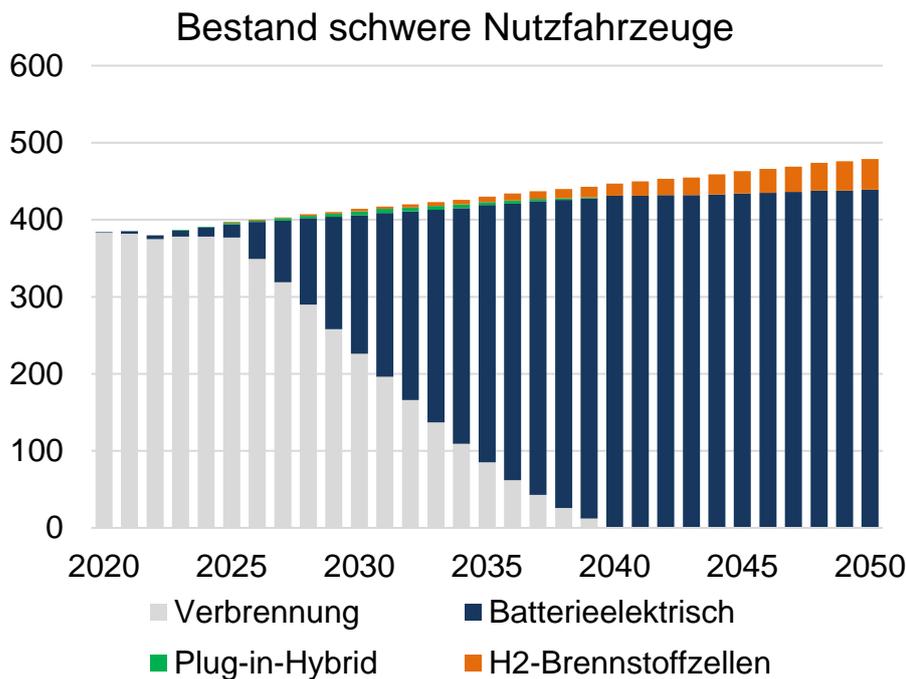


Abbildung 20: Entwicklung des Bestandes schwerer Nutzfahrzeuge in der Stadt Luzern nach Antriebstechnologie.

6.4 Ladebedürfnisse und Mix von Ladeoptionen

Der auf einem Gebiet bestehende Ladebedarf kann auf verschiedene Weisen – durch sogenannte Ladebedürfnisse – gedeckt werden. Im Rahmen der Studie «[Verständnis Ladeinfrastruktur 2050](#)» wurden fünf Ladebedürfnisse identifiziert (Abbildung 21).

- **Laden zu Hause:** Aufladen am Wohnort an privaten Ladestationen. Die Ladeleistung beträgt typischerweise 3.7 oder 11 kW.
- **Laden im Quartier:** Aufladen an allgemein zugänglichen Ladestationen in unmittelbarer Nähe zum Wohnort. Das sind beispielweise blaue Parkplätze für AnwohnerInnen. Es werden Ladestationen mit 1–2 Ladepunkten und einer Ladeleistung von 11 bzw. 22 kW verwendet. Bei hoher Nachfragedichte werden auch Schnellladepunkte mit Leistungen von 50 bis 150 kW DC mit entsprechend kürzeren Standzeiten verwendet.
- **Laden am Arbeitsplatz:** Aufladen an Ladestationen am Arbeitsplatz. Diese Kategorie berücksichtigt sowohl die privaten Fahrzeuge der Mitarbeitenden (PendlerInnen) wie auch die Betriebsfahrzeuge (Flotte). Es werden Ladestationen mit 1-2 Ladepunkten und einer Ladeleistung von 11 bzw. 22 kW verwendet.
- **Laden am Zielort:** Aufladen an allgemein zugänglichen Ladestationen auf bestehenden Abstellplätzen während dem Parkieren und während einer Aktivität (Supermarket, Kino, Sportzentrum, usw.). Je nach Standort handelt es sich um AC-Ladestationen mit zwei Ladepunkten oder um DC-Ladestationen mit deutlich höheren Ladeleistungen.
- **Schnellladen:** Schnellladen an allgemein zugänglichen Ladestationen mit hoher DC-Ladeleistung von meist über 100 kW bis 350 kW.

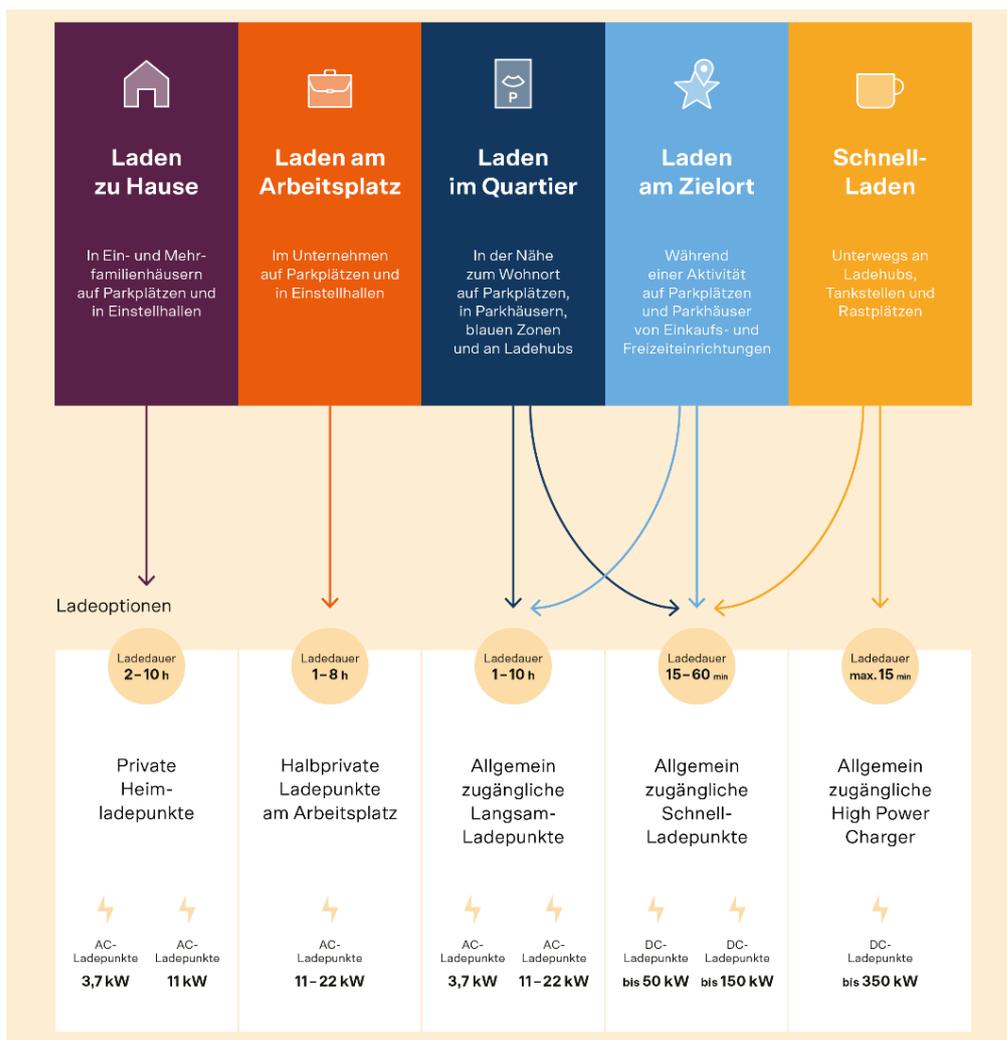


Abbildung 21: Eigenschaften der fünf Ladebedürfnisse (oben) und zugeordneten Ladestationstypen (unten).

Wie der Ladebedarf anteilmässig auf die verschiedenen Ladebedürfnisse entfällt, wird anhand von drei zukünftigen Ladewelten in der Studie [«Verständnis Ladeinfrastruktur 2050»](#) beschrieben. Die drei Ladewelten unterscheiden sich insbesondere in Hinsicht zweier Aspekte:

- der Verfügbarkeit an Heimpladepunkten und
- dem Angebot an allgemein zugänglicher Ladeinfrastruktur sowie Lademöglichkeiten am Arbeitsplatz.

Auf Basis dieser Fragen wurden in der Studie drei Ladewelten unterschieden: «Bequem», «Geplant» und «Flexibel». Aufbauend auf diesen drei Ladewelten hat EBP das aus Unternehmenserfahrung realistischste Verhältnis der Ladebedürfnisse, die Ladewelt «EBP-Referenz», entwickelt. Diese hat vor allem Überschneidungen mit den Ladewelten «Bequem» und «Geplant» und wurde in Absprache mit der Kern- und Begleitgruppe sowie der Projektsteuerung der Stadt Luzern für dieses Gesamtkonzept erneuerbare Antriebe in der Mobilität verwendet. Eine kurze Übersicht der drei offiziellen Ladewelten sowie der EBP-Ladewelt «Referenz» ist in Abbildung 22 aufgeführt. Die drei Ladewelten sind ausführlich in (EBP, 2023b) beschrieben.

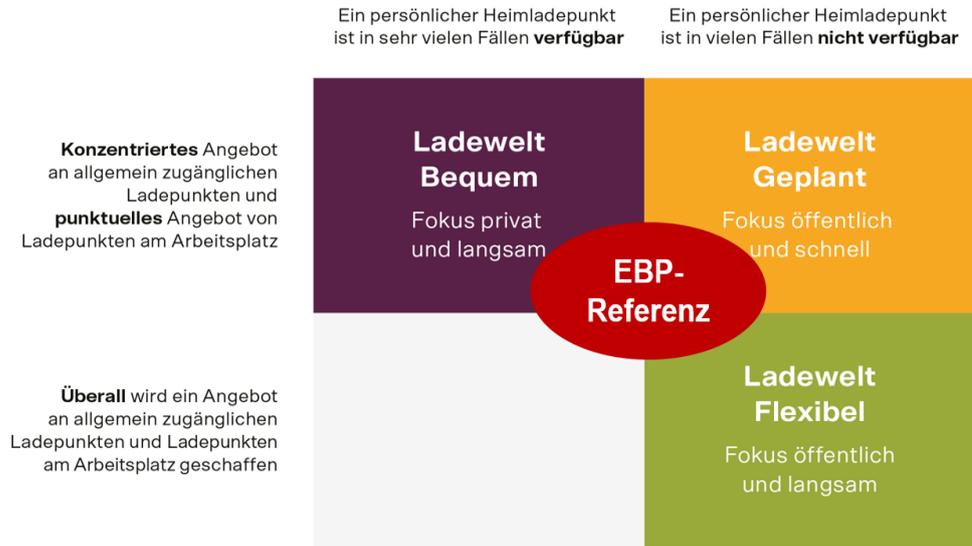


Abbildung 22: Eigenschaften der Ladewelten.

6.5 Entwicklung des Ladeinfrastrukturbedarfs

Wie in Kapitel 6.3 gezeigt, werden Steckerfahrzeuge in den nächsten Jahren stetig an Bedeutung gewinnen. Daraus kann man den Ladebedarf in Bezug auf die benötigte Energiemenge und die Anzahl benötigter Ladepunkte ableiten.

Es bestehen jedoch Unsicherheiten bezüglich des Ladeverhaltens (wer lädt wann und wo wieviel?). Das Ladeverhalten ist einerseits davon abhängig, wie viele SteckerfahrzeughalterInnen in Zukunft eine private Ladeinfrastruktur zu Hause haben werden und wie häufig unterwegs an Schnellladern geladen wird. Es wird in jedem Fall einen Mix verschiedener Ladeoptionen (Laden zu Hause, am Arbeitsplatz, im Quartier, am Zielort, an Schnellladestationen) in der Schweiz und auch in Luzern brauchen. Die Ausprägung und Bedeutung des allgemein zugänglichen Ladenetzes werden regional unterschiedlich sein. Zirka 60 % des Schweizer Ladebedarfs wird 2035 an privaten Heimpladestationen und beim Arbeitsplatz geladen werden. Die anderen rund 40 % entfallen auf allgemein zugängliche Ladepunkte.

Die benötigte Ladeenergie für die Elektromobilität wird bei allen Fahrzeugkategorien bis 2040 sehr stark steigen (Abbildung 23). Das steilste Wachstum wird zwischen 2028 und 2038 erwartet. Der höchste Wert wird im Jahr 2042 erreicht (86 GWh), und danach sinkt der Verbrauch wegen der sinkenden Gesamtfahrleistung bei Personenwagen. Im Jahr 2050 ist der Stromverbrauch für die Mobilität 80 GWh. Der gesamte Stromverbrauch in der Stadt Luzern betrug 453 GWh im Jahr 2021.

Parallel nimmt der Bedarf an fossilen Treibstoffen ab. Gemäss Energiestatistik (BFE, 2022c) verbraucht die Schweiz jährlich 2.7 Milliarden Liter Benzin und 3.1 Milliarden Liter Diesel. Das entspricht 54'600 GWh Energie. Da ein batterieelektrisches Fahrzeug etwa 60-70 % weniger Energie pro km als ein

Verbrennungsfahrzeug verbraucht, führt die Verbreitung von batterieelektrischen Fahrzeugen zu einem insgesamt tieferen Primärenergieverbrauch.

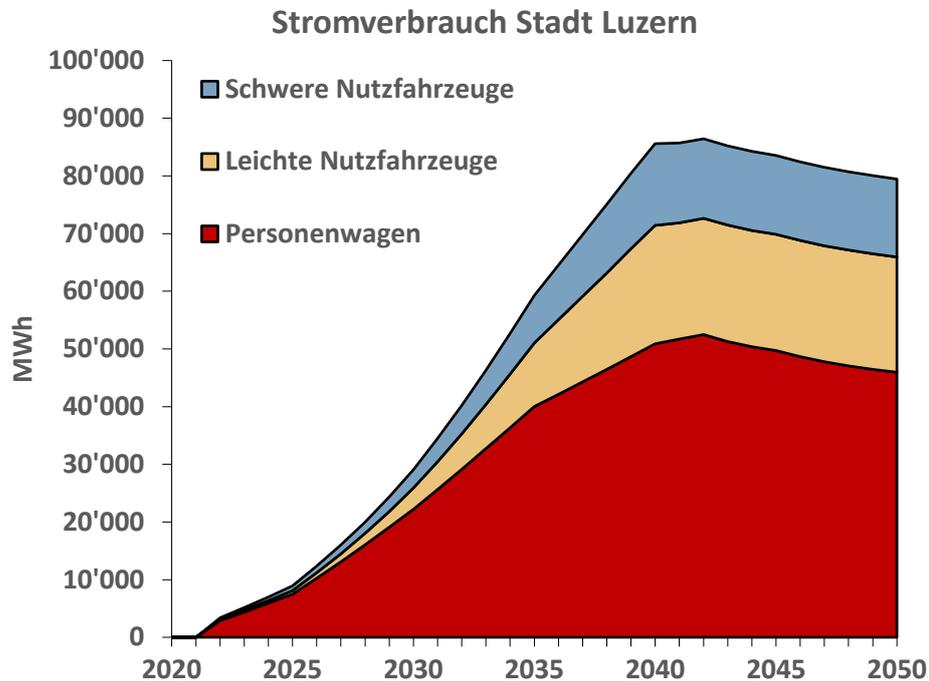


Abbildung 23: Entwicklung des Strombedarfs durch den Strassenverkehr in Luzern nach Fahrzeugtypen.

Wie im Kapitel 2 erläutert, ist die Relevanz beim Energiebedarf von elektrischen Mikromobilität und E-Motorrädern klein. Aus diesem Grund ist der Energiebedarf der Zweiräder hier nicht berücksichtigt.

Die Personenwagen in der Stadt Luzern allein verbrauchen 52 GWh im Jahr 2042. Auch die Anzahl der benötigten Ladepunkte steigt stark an. Eine Mehrheit der Ladepunkte werden Heimplader sein (Abbildung 25). Aber auch der Bedarf an allgemein zugänglichen Ladepunkten wird stark steigen (siehe Abbildung 26). Zuerst steigen die Ladebedürfnisse für privates Laden. Der Bedarf an Ladeinfrastruktur im Quartier steigt verzögert an. Dieser Bedarf ist durch Fahrzeuge ohne private Lademöglichkeit beeinflusst. Im Modell ist die Annahme hinterlegt, dass FahrzeughalterInnen ohne private Lademöglichkeit zu einem späteren Zeitpunkt zur Elektromobilität wechseln. Schliesslich ist der Ladebedarf der Kategorie «Laden am Arbeitsplatz» in Luzern überdurchschnittlich vorhanden. Luzern ist nämlich Zielort von vielen PendlerInnen und bietet eine grosse Dichte an Arbeitsplätzen.

Ab Ende des Jahres 2040 nimmt die Anzahl batterieelektrische Fahrzeuge in der Stadt Luzern leicht ab (siehe Abbildung 17), da ab dann der Personenwagenbestand, der ab diesem Zeitpunkt fast ausschliesslich von batterieelektrischen Fahrzeugen bestimmt wird, aufgrund der abfallenden Einwohnerzahl bei konstantem Motorisierungsgrad schrumpft. Der Strombedarf fällt aufgrund der geringen Anzahl an batterieelektrischen Personenwagen sowie der besseren Effizienz der Fahrzeuge ab dem Jahr 2042 ab (siehe Abbildung 24). Parallel dazu sinkt die Anzahl an benötigten allgemein zu-

gänglichen Ladepunkten nach seinem Maximum im Jahr 2042 ab (siehe Abbildung 26). Dies ist zum einen durch die bereits genannten Faktoren bedingt sowie zum anderen durch den Umstand, dass Ladepunkte an Zielorten laufend mit tendenziell etwas höherer Leistung nachgerüstet werden, wodurch mehr Fahrzeuge pro Tag an einem Ladepunkt geladen werden können.

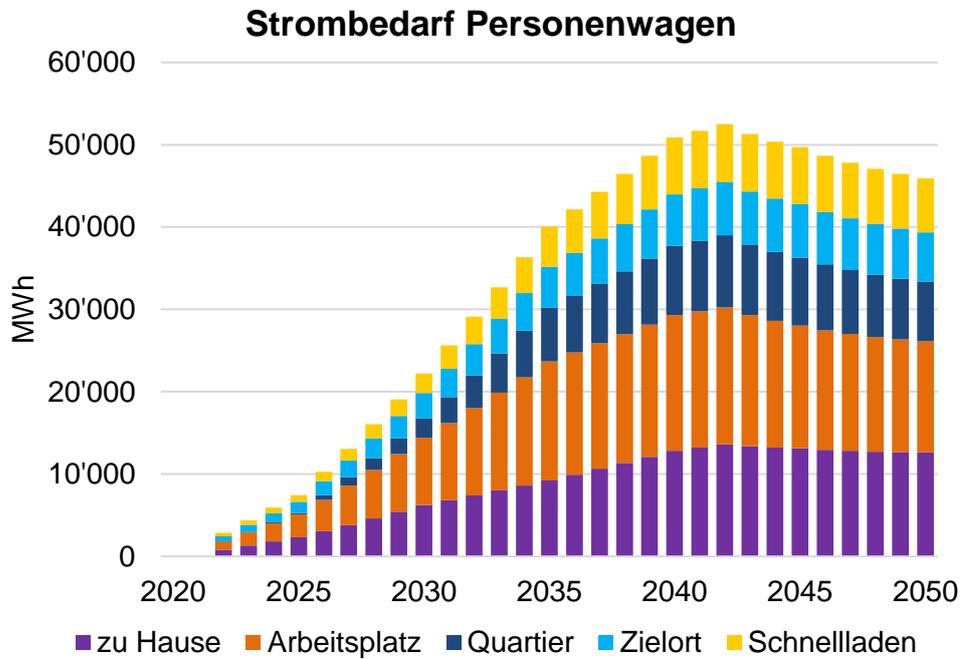


Abbildung 24: Jährlicher Ladebedarf [MWh] für Personenwagen in der Stadt Luzern je Ladebedürfnis.

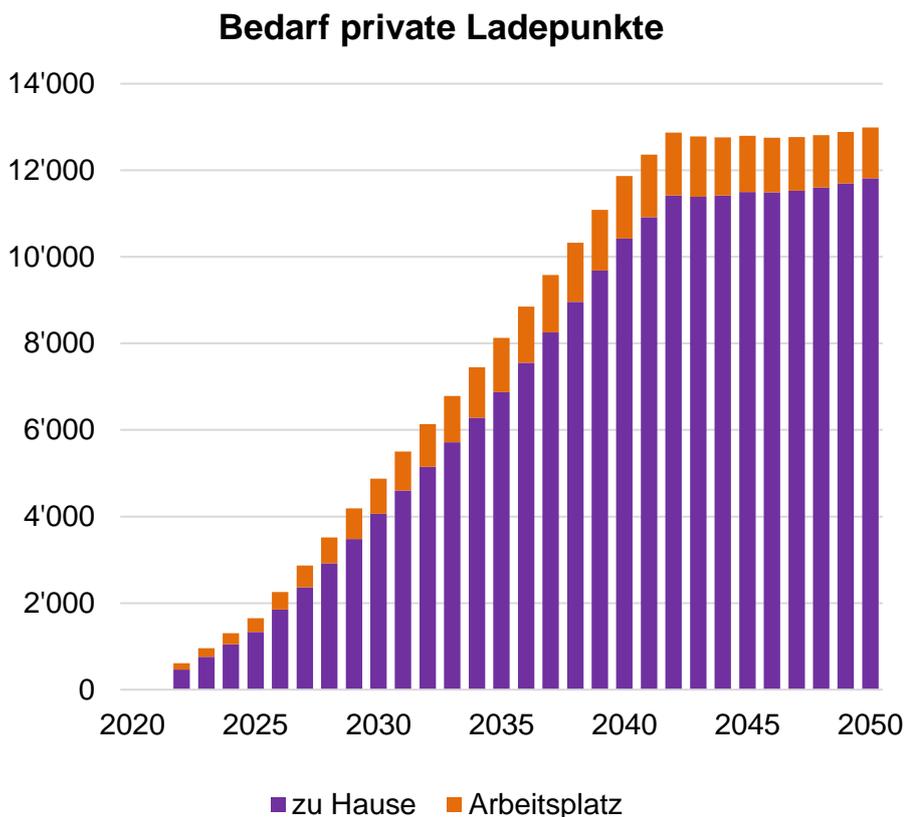


Abbildung 25: Erwartete Entwicklung der Anzahl Ladepunkte gemäss den Ladebedürfnissen Laden zu Hause und Laden am Arbeitsplatz von Personenwagen in der Stadt Luzern.

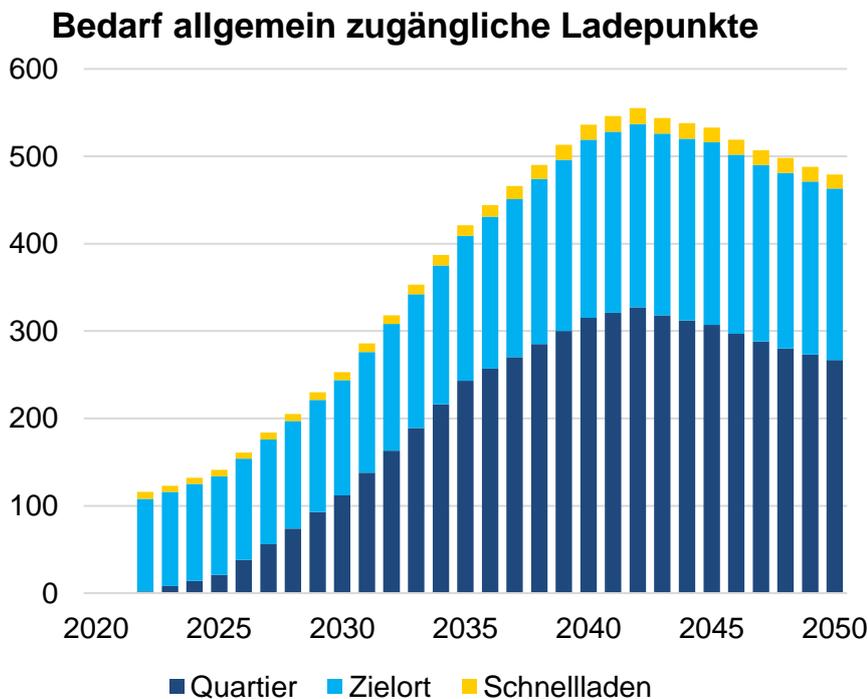


Abbildung 26: Erwartete Entwicklung des Bedarfs von Personenwagen an allgemein zugänglichen Ladepunkten in der Stadt je Ladebedürfnis: «Laden im Quartier», am Zielort und an Schnellladestationen.

Der Ausbaubedarf der Ladestationen nach Kategorie ist für die Jahre 2025, 2035 und 2050 in

Tabelle 3 aufgelistet.

	2025	2035	2050
Private Heimpladepunkte	1'335	6'874	11'819
Ladepunkte am Arbeitsort für PendlerInnen und Flottenfahrzeuge	313	1'256	1'172
Allgemein zugängliche Ladepunkte in Wohnquartieren	21	243	267
Allgemein zugängliche Ladepunkte an Zielorten	113	166	196
Allgemein zugängliche Schnellladepunkte	7	12	16

Tabelle 3: Erwarteter Bedarf an Ladepunkten in den Jahren 2025, 2035 und 2050 je Ladebedürfnis in der Stadt Luzern.

6.6 Räumliche Verteilung des Bedarfs an allgemein zugänglicher Ladeinfrastruktur

Aufgrund der Gebäudestruktur in der Stadt Luzern mit vielen Wohnungen in älteren Mietshäusern ist der Anteil der HalterInnen von Steckerfahrzeugen, die auch in Zukunft zu Hause laden können, relativ gering. Der Anteil des Ladevolumens, welcher zu Hause geladen wird, liegt im Jahr 2035 bei 23 % (siehe Abbildung 24). Zusätzlich können aber ca. 36 % des Ladebedarfs am Arbeitsplatz befriedigt werden. Für die verbleibenden ca. 41 % des Ladebedarfs bedarf es hingegen eines allgemein zugänglichen Ladenetzes. Dieses deckt vor allem den Ladebedarf von BesucherInnen der Stadt (importierter Ladebedarf) sowie von AnwohnerInnen, die über keine private Lademöglichkeit verfügen. Ein solcher Mangel an Heimpladepunkten kann verschiedene Gründe haben, z.B.:

- Die AnwohnerInnen besitzen das Gebäude nicht (Mieter-Eigentümer Dilemma), oder es handelt sich um ein Stockwerkeigentum und die Investitionsentscheidungen müssen im Kollektiv gefällt werden. In der Schweiz sind 70 % der AnwohnerInnen entweder MieterInnen oder in einem Stockwerkeigentum.
- Das Gebäude hat keinen Parkplatz. In Luzern wurden im Jahr 2022 2'146 jährliche Parkkarten und 7'400 monatliche Parkkarten bezogen. Gemäss Parkkartenreglement (Stadt Luzern, 2021b), können AnwohnerInnen Parkkarten mit Berechtigungsnachweis nur beziehen, wenn in der Liegenschaft in der sie wohnen, kein privater Parkplatz zur Verfügung steht (Art.9, abs. 2).
- Die Garage, respektive das Gebäude oder der Parkplatz eignen sich nicht für eine Ladestation (z.B. unzureichender Netzanschluss, teure Erschliessungsarbeiten).

Diese AnwohnerInnen ohne private Lademöglichkeit (weder zu Hause noch am Arbeitsplatz) sind auf ein allgemein zugängliches Ladenetz angewiesen. Anders gesagt, sie brauchen Ladepunkte der Kategorie «Laden im Quartier»

oder ein flächendeckendes Ladenetz im Bereich «Laden am Zielort» oder «Schnellladen».

Die heutigen allgemein zugänglichen Ladepunkte in der Stadt Luzern befinden sich vor allem im Stadtkern in Ufernähe. Damit kann im Stadtzentrum der Ladebedarf von BesucherInnen sowie AnwohnerInnen (teilweise) befriedigt werden. In etwas periphereren Quartieren der Stadt, wie beispielsweise in Reussbühl, Würzenbach oder Bodenhof gibt es hingegen bisher noch keine allgemein zugänglichen Ladestandorte. Dies bedeutet, dass viele EinwohnerInnen der Stadt Luzern, die nicht zu Hause laden können, zudem keine Möglichkeit haben, ihren Ladebedarf ohne weite Wege im Quartier zu befriedigen. Gemäss der Studie «EBP Market Perspectives» (EBP, 2021) ist jedoch die Möglichkeit zu Hause oder in unmittelbarer Nähe zu laden der wichtigste Faktor für die Entwicklung der Elektromobilität.

Über alle NPVM-Zonen gemittelt, liegt der Anteil an FahrzeugbesitzerInnen, die im Jahr 2035 nicht zu Hause oder am Arbeitsplatz laden können, mit 26 % relativ zu anderen Städten und Gemeinden gesehen, im durchschnittlichen Bereich (siehe Abbildung 27). Wie im städtischen Raum häufig der Fall gibt es grosse regionale Unterschiede. Während der Anteil der AnwohnerInnen, die nicht zu Hause oder am Arbeitsplatz laden können, in den peripheren Regionen mit unter 15 % bzw. 25 % tendenziell niedriger ist, steigt er in den zentralen Quartieren der Stadt auf bis zu 41 %. Gerade in letzteren Gebieten bedarf es eines grossen Angebots an allgemein zugänglicher Ladeinfrastruktur.

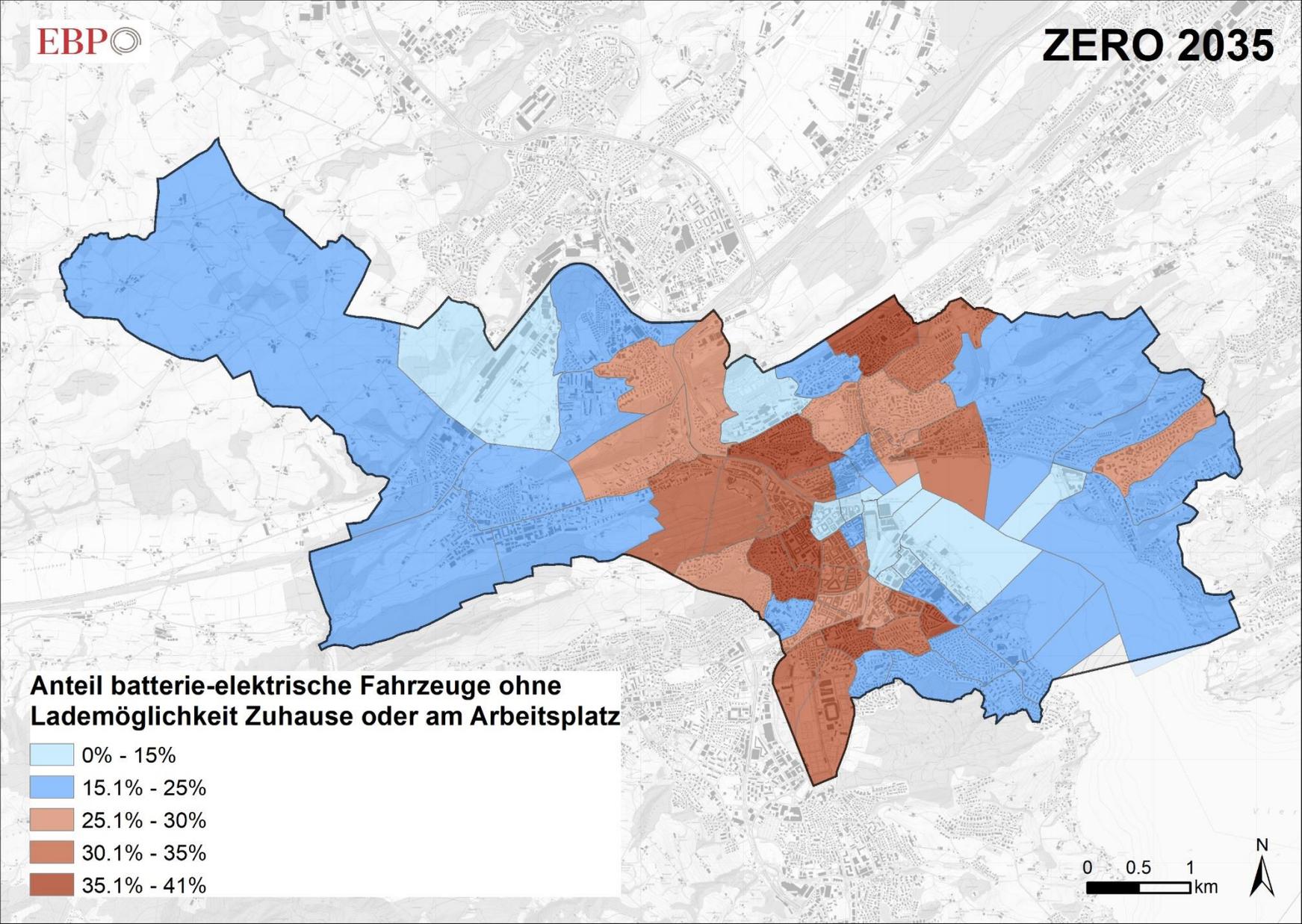


Abbildung 27: Anteil an batterieelektrischen Fahrzeugen pro NPVM-Zone im Jahr 2035, die nicht zu Hause oder am Arbeitsplatz laden können.

Die intuitivste und greifbarste Grösse, um den Ladebedarf darzustellen, ist wohl die Anzahl an Ladepunkten pro Fläche. Jedoch ist die Anzahl an Ladepunkten ein sehr ungenaues Mass, da sie stark davon abhängig ist, wie viel Leistung an den jeweiligen Ladepunkten angeschlossen ist. Beispielsweise kann der Ladebedarf der gleichen Menge batterieelektrischer Fahrzeuge an vielen Ladepunkten mit geringer Leistung, wo die Fahrzeuge über eine Nacht volladen, oder an wenigen Ladepunkten mit hoher Leistung, wo ein Ladevorgang in einer Viertelstunde vollzogen werden kann, gedeckt werden. Dementsprechend identifiziert die Studie «Verständnis Ladeinfrastruktur 2050» in Abhängigkeit der jeweiligen Ladewelt einen schweizweiten Bedarf zwischen 19'000 und 84'000 allgemein zugänglichen Ladepunkten im Jahr 2035.

Eine weitaus aussagekräftigere Grösse als die Anzahl an Ladepunkten ist hingegen der Bedarf an Ladeleistung. Dieser ist weitgehend unabhängig von der an Ladepunkten angebotenen Leistung und bewegt sich für die allgemein zugängliche Ladeinfrastruktur je nach Ladewelt im «Verständnis Ladeinfrastruktur 2050» zwischen 0.6 und 1.3 kW pro batterieelektrischem Fahrzeug im Jahr 2035. Als Ladewelten-übergreifenden Richtwert hat die Studie 1.1 kW an allgemein zugänglicher Ladeleistung je batterieelektrisches Fahrzeug identifiziert⁴. Es ist jedoch nicht sinnvoll, diesen Richtwert pauschal auf alle Gebiete anzuwenden. Der Grund hierfür ist, dass individuelle, lokale Gegebenheiten den tatsächlichen Bedarf an Ladeleistung je Zone beeinflussen. In diesem Kontext ist unter anderem das Vorhandensein von bzw. der Mangel an privaten Heimpladepunkten oder das Vorhandensein von Zielorten, die einen Import von Ladebedarf aus anderen Zonen bewirken können, zu nennen.

In Abbildung 28 ist die benötigte Ladeleistung [kW] pro batterieelektrischem Fahrzeug je NPVM-Zone im Jahr 2035 dargestellt⁵. Werte unter 1.1 kW deuten darauf hin, dass der Bedarf an installierter allgemein zugänglicher Ladeleistung pro Fahrzeug verhältnismässig tief ist. Diese Situation kann dadurch bedingt sein, dass entweder viele Personen zu Hause oder am Arbeitsplatz laden können und/oder es keine Zielorte respektive kein Potential fürs Schnellladen gibt. In Leumatt sind beispielsweise einige Fahrzeuge immatrikuliert. Sie können jedoch mehrheitlich bei den vielen Einfamilienhäusern des Quartiers laden. Entsprechend ist der Bedarf an Ladeleistung je batterieelektrisches Fahrzeug eher gering. Ein weiteres Beispiel ist das dicht mit älteren Mehrfamilienhäusern besiedelte Bruchquartier. Auch hier gibt es auf sehr engem Raum viele immatrikulierte Fahrzeuge, von denen auch ein hoher Prozentsatz aufgrund eines Mangels an privaten Lademöglichkeiten auf allgemein zugängliche Ladeinfrastruktur angewiesen sind. Entsprechend ist der Bedarf an installierter Ladeleistung pro Fahrzeug eher gering, weil die Ladestationen gut ausgelastet sind. Im Gegensatz dazu deuten höhere Werte über 1.1 kW darauf hin, dass sich in einer Zone wenige Fahrzeuge die Ladeinfrastruktur teilen. Ein

4 Zum Vergleich: Ein Schweizer Einfamilienhaus hat üblicherweise einen Hausanschluss von ca. 40 A = 27.6 kVA, was bei einem typischen Haushaltsgebrauch etwa 24.8 kW entspricht.

5 Diese Kenngrösse zeigt an, auf wie viele in der Zone immatrikulierte batterieelektrische Fahrzeuge die totale Ladeleistung entfällt.

zusätzlicher/alternativer Grund kann sein, dass sich diese Zone für das «Laden am Zielort» oder Schnellladen eignet. Dadurch wird der Ladebedarf von nicht in der jeweiligen NPVM-Zone immatrikulierten Fahrzeugen importiert. Die Zone um das Verkehrshaus in Würzenbach-Schädrüti oder die Zone um den Bahnhof sind gute Beispiele. Hier sind sehr wenige Fahrzeuge immatrikuliert. Die Zonen sind aber als Zielorte ein Anziehungspunkt für viele Fahrzeuge von extern, die dann vor Ort parken und laden möchten.

Insgesamt beläuft sich der Bedarf an totaler allgemein zugänglicher Ladeleistung in der Stadt Luzern im Jahr 2035 auf 12.5 MW. Der Bedarf je NPVM-Zone unterscheidet sich innerhalb des Stadtgebiets sehr stark (siehe Abbildung 29). Die Werte je Zone sind wichtige Grössen, um den absoluten Bedarf an Ladeleistung zu identifizieren. Es ist anzumerken, dass die Karte in Abbildung 28 keine Bedarfsdichte darstellt. Grosse Zonen weisen einen grösseren Bedarf aus.

Der dichteste Bedarf in der Stadt Luzern findet sich im bereits vorgestellten, dicht besiedelten Bruchquartier. Im Zentrum sind oft auch die Platzverhältnisse begrenzt. Es ist deshalb schwierig, den Bedarf mit vielen Langsamladepunkten zu befriedigen. Hier bietet sich an, den Bedarf fürs «Laden im Quartier» mit einigen leistungsstärkeren Ladepunkten zu decken. Die Ladepunkte in Parkhäusern tragen ebenfalls dazu bei, den Bedarf in der Kategorie «Laden im Quartier» zu decken. Eine tiefere Bedarfsdichte an allgemein zugänglicher Ladeinfrastruktur ist hingegen in Büttenen, Würzenbach oder Leumatt zu verzeichnen. Der dort benötigte Ladebedarf kann gut mit 11 kW Ladepunkten befriedigt werden.

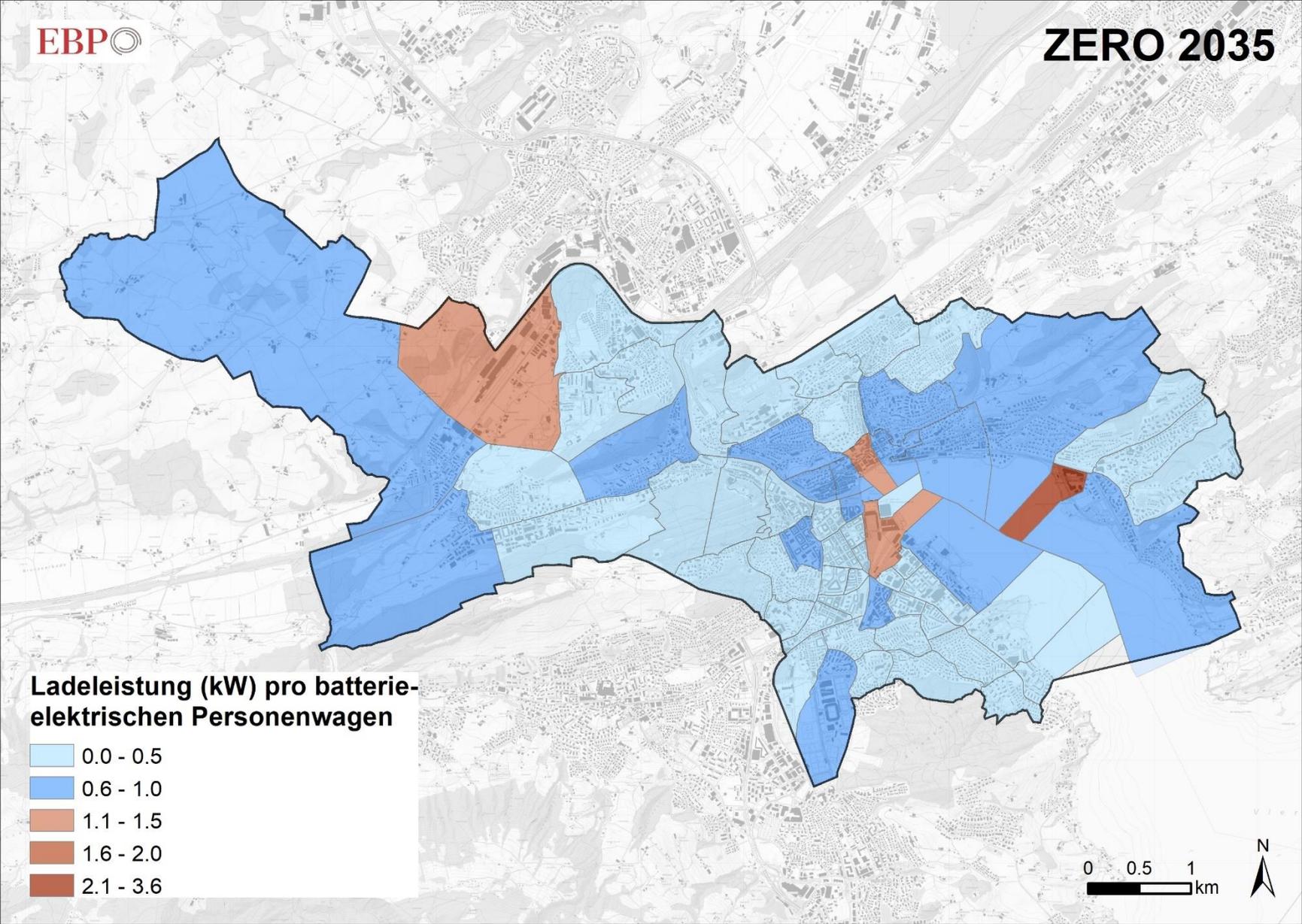


Abbildung 28: Benötigte installierte Ladeleistung [kW] an allgemein zugänglichen Ladepunkten pro registriertes batterieelektrisches Fahrzeug je NPVM-Zone im Jahr 2035.

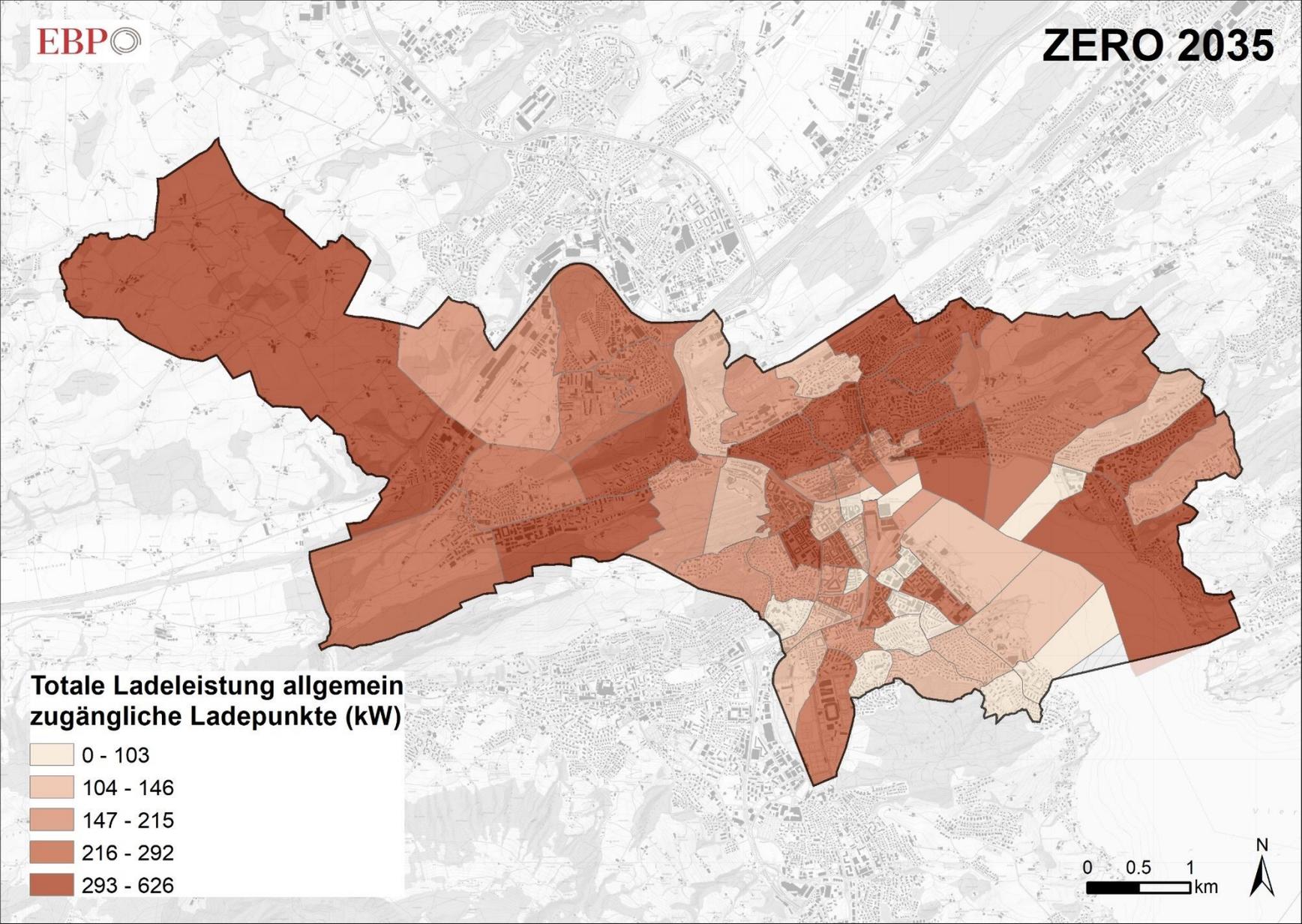


Abbildung 29: Totale an allgemein zugänglichen Ladepunkten benötigte Ladeleistung [kW] je NPVM-Zone im Jahr 2035.

7. Massnahmen für die Dekarbonisierung des Verkehrs

Aufbauend auf den Grundlagen wurde in den drei Gremien (Begleitgruppe, Kerngruppe und Projektsteuerung) Massnahmen für die Dekarbonisierung des Strassenverkehrs identifiziert. Dieses Kapitel gibt eine Übersicht der Massnahmen und des Auswahlprozesses. In den nächsten Kapiteln sind dann die einzelnen Massnahmen vertieft erläutert.

7.1 Massnahmen anderer Städte

Mit dem Vorhaben, Treibhausgasemissionen rasch reduzieren zu wollen/müssen, steht die Stadt Luzern nicht alleine da. Unzählige andere Städte und Gemeinden im In- und Ausland verfolgen ähnliche Ziele. Im Rahmen dieses Gesamtkonzepts wurde der Stand der grössten schweizerischen Städte und einiger ausländische Städte geklärt.

Die Stadt Luzern hat mit dem Ziel «Null energiebedingte Treibhausgasemission bis 2040» zweifelsohne ein ehrgeiziges Ziel formuliert, das weit über die Vorgaben des Bundes (Netto-Null bis 2050) hinausgeht. Innerhalb der Schweiz gibt es aber noch weitreichendere Vorhaben, vor allem von grossen Städten. Beispielsweise setzte sich die Stadt Lausanne das Ziel, bis 2030 null Emissionen in der Mobilität verzeichnen zu können. Der Kanton Basel-Stadt will seine Treibhausgasemissionen bereits bis 2037 auf null bringen und die Stadt Zürich will bereits drei Jahre später komplett klimaneutral sein (Stadtverwaltung bereits bis 2035). In Bern sollen die CO₂-Emissionen auf dem Stadtgebiet gegenüber 2008 bis 2025 um 30 % reduziert sein. Die Stadt Genf will seine Treibhausgasemissionen bis 2030 um 60 % reduzieren und bis 2050 die CO₂-Neutralität erreichen.

Um diese ehrgeizigen Emissionsreduktionsziele zu erreichen, haben die genannten Städte viele Massnahmen geplant bzw. bereits ins Leben gerufen. Eine vollständige Auflistung sprengt den Rahmen dieses Dokuments.

Die Stadt Zürich hat beispielsweise ein eigenes Förderprogramm für private und allgemein zugängliche Ladeinfrastruktur ins Leben gerufen. Zudem fördert sie die Beschaffung von Elektrobussen für den öffentlichen Personennahverkehr und beschafft, wenn immer technisch möglich emissionsfreie Fahrzeuge für die eigene Flotte. Die Stadt Lausanne will unter anderem durch die Verringerung der Strassenkapazität für den motorisierten Individualverkehr oder eine Änderung der Parkraumpolitik den Zugang des Autos zur Stadt begrenzen. Eine Massnahme der Stadt Bern ist, die Stärkung des Mobilitätsmanagements für Unternehmen und die Wohnbevölkerung sowie das Setzen von Anreizen für die private Beschaffung von emissionsarmen Fahrzeugen (siehe Bern, 2021 Seite 28-30). Ebenso wie die Stadt Zürich hat der Kanton Basel-Stadt ein Förderprogramm für die Installation und gemeinschaftliche Nutzung von Ladestationen auf privatem Grund eingerichtet. Ab

2025 sollen zudem alle Parkplätze von Verwaltungsmitarbeitenden mit Ladestationen ausgestattet sein. Schliesslich hat die Stadt Genf die Strategie für die Reduktion der Emissionen seiner Fahrzeugflotte definiert.

Wie hierzulande geht man auch ausserhalb der Schweiz teils sehr entschlossen in Richtung Netto-Null. Ein Musterbeispiel ist hier Norwegen, wo bereits ca. 90 % der neuzugelassenen Personenwagen batterieelektrisch sind und die Elektromobilität finanziell und durch ein allgemein zugängliches LadeNetz gefördert wird. In der Hauptstadt Oslo soll es ab 2028 keine Emissionen mehr im öffentlichen Verkehr geben und ab 2030 keine mehr im privaten Verkehr. Norwegen und die Stadt Oslo können dank einer Steuerpolitik stark zugunsten von emissionsfreien Fahrzeugen, finanzieller Förderung sowie dem grossen Angebot an allgemein zugänglicher Ladeinfrastruktur diese Ziele rascher erreichen.

Die dänische Hauptstadt Kopenhagen hat im Mai 2023 beschlossen, Verbrennungsfahrzeuge ab 2030 aus der Stadt auszusperrern. Die Umsetzung ist noch unklar, soll aber im Rahmen einer Studie geklärt werden. Ähnlich die Stadt Paris, die ab 2030 nur noch batterieelektrische und Wasserstofffahrzeuge erlauben will und das per Regulierungsanpassungen erreichen will. Zehn Jahre später soll es auch im Stadtstaat Singapur keine Verbrennungsfahrzeuge mehr geben dürfen. Steuervergünstigungen/-zuschläge werden bereits heute von den Emissionswerten der Fahrzeuge bestimmt und es werden für batterieelektrische Fahrzeuge auch bereits Rabatte auf die Zulassungssteuer in Höhe von umgerechnet ca. 17'700 CHF gewährt. Auch die Stadt Singapur erachtet den Ausbau der allgemein zugänglichen Ladeinfrastruktur als prioritär für die Dekarbonisierung des Verkehrs.

7.2 Auswahl der Massnahmen

In der Klima- und Energiestrategie (Stadt Luzern, 2021) hat die Stadt Luzern bereits diverse Massnahmen definiert, mit denen sie das Ziel von null Treibhausgasemissionen im Verkehr bis 2040 erreichen, bzw. sich ihm stark annähern möchte. Dazu zählen ein alternativ angetriebener städtischer Fuhrpark (M07) und Vorgaben zu Maschinen, Fahrzeugen und Transporten für städtische Aufträge (M08).

Um die Vorschlagsfindung zu unterstützen, bereitete EBP eine Liste mit 51 Massnahmen vor, die je einem von acht Handlungsfeldern zugeteilt werden konnten.

Im Bereich der Fahrzeuge sind dies die Handlungsfelder:

- Individualverkehr
- Wirtschaftsverkehr
- Öffentlicher Verkehr und andere Transportmittel
- Kommunale Fahrzeuge

Zusätzlich werden im Bereich der Ladeinfrastruktur folgende Handlungsfelder unterschieden:

- Private Ladeinfrastruktur

- Allgemein zugängliche Ladeinfrastruktur
- Ladeinfrastruktur bei städtischen Liegenschaften
- Netzdienliches Laden

Der Stadt Luzern stehen unterschiedliche Instrumente in allen Handlungsfeldern zur Verfügung:

- Information und Beratung
- Monetäre Förderung/Finanzierung
- Nicht-monetäre Förderung und Bevorzugung
- Regulierung
- Pilotprojekt
- Vorbildfunktion
- Koordination und Unterstützung

Um weitere zu vertiefende Massnahmen auszuwählen, bildete die Begleitgruppe Kleingruppen, die sich je auf bestimmte Handlungsfelder konzentrierten und dort jeweils Massnahmen priorisierten bzw. weitere Massnahmen ergänzten. Die Ergebnisse aus der Begleitgruppe wurden mit der Kerngruppe und der Projektsteuerung besprochen. Daraus wurden die Massnahmen in drei Gruppen aufgeteilt: Massnahmen zu vertiefen in diesem Konzept (Phase 2 des Projekts), Massnahmen zu verfolgen, weil sie bereits beschlossen sind und Massnahmen zu verwerfen. Das Verfahren ist in Abbildung 30 dargestellt.

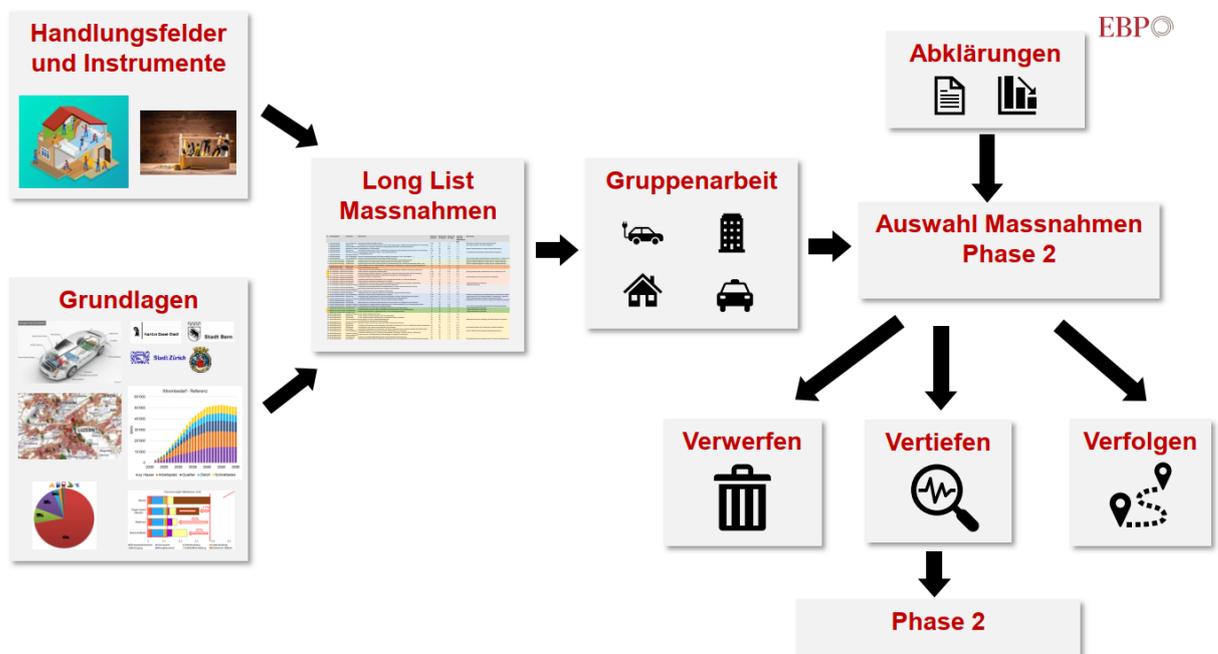


Abbildung 30: Auswahlprozess der Massnahmen für die Dekarbonisierung des Strassenverkehrs.

Die 15 im Rahmen dieser Studie ausgewählten Massnahmen zur Senkung der Treibhausgasemissionen des Verkehrs sind in Tabelle 4 beschrieben.

Die Massnahmen sind von E1 bis E13 nummeriert. Aus Vollständigkeitsgründen, kommen auch noch die Massnahmen M07 und M08 aus der Klima- und Energiestrategie hinzu (Stadt Luzern, 2021). Diese und zwei weitere Massnahmen (E6* und E13*), die bereits beschlossen und im Einsatz sind, sind mit einem * markiert.

Massnahme	Kurze Beschreibung
E1: Umsetzungsplan und Standortauswahl für ein ergänzendes, allgemein zugängliches Ladenetz	Die Stadt Luzern identifiziert geeignete Standorte auf bestehenden Parkplätzen für die Realisierung von allgemein zugänglichen Ladepunkten. Die Auswahl erfolgt auf Basis vom erwarteten Ladebedarf, Erschliessungskosten, Verfügbarkeit an Parkplätzen und geplanten Ausbauten. Für jeden Standort wird die Ladefrastruktur dimensioniert und die Kosten geschätzt.
E2: Definition von Trägerschafts- und Betreibermodellen bei allgemein zugänglicher Ladeinfrastruktur	Die Stadt Luzern trifft die politische Entscheidung über das Trägerschafts- und Betreibermodell. Die Stadt Luzern spielt eine ergänzende Rolle und realisiert Ladestandorte, wo es ungedeckte Bedürfnisse gibt. Sie investiert in die Basisinfrastruktur, während der Ausbau der Ladestation und der Betrieb durch Dritte von der Stadt Luzern konzessioniert werden.
E3: Ausschreibung und Konzessionierung Ladestandorte auf öffentlichem Grund	Die von der Stadt Luzern erkannten Ladestandorte werden konzessioniert. Zuerst definiert sie die Eckpunkte der Konzession (Ladekonzept, Konzessionsdauer, Zuschlagskriterien, Standorts-Pakete, usw.). Dann werden die Standorte öffentlich ausgeschrieben.
E4: Realisierung Basisinfrastruktur für konzessionierte allgemein zugängliche Ladepunkte	Die Stadt Luzern gibt die Realisierung der Basisinfrastruktur in Auftrag und finanziert diese, damit die Ladestandorte am Stromnetz angeschlossen sind. Der Ausbau erfolgt in Etappen und wird mit anderen Infrastrukturausbauten (z.B. Wasser- oder Elektrizitätsleitung) koordiniert.
E5: Förderprogramm Ladefrastruktur	Die Stadt Luzern erarbeitet ein Förderprogramm für die Ladefrastruktur. Das Förderprogramm betrifft alle bestehenden Gebäude. Die Stadt Luzern vergütet einen fixen Betrag (z.B. 800 CHF) pro Parkplatz, aber maximal 30 % der Investitionskosten in die Basisinfrastruktur (Ausbaustufe C2 gemäss SIA 2060).
E6*: Beratungsangebot Elektromobilität	<i>Bereits im Einsatz.</i> Die Stadt Luzern bietet eine Beratung für Fragen rund um das Thema Elektromobilität und Ladefrastruktur an. Die Beratung wird durch Fachspezialisten durchgeführt, darf maximal 3 Stunden dauern und die Kosten werden vollständig von der Stadt Luzern übernommen.
E7: Vorgaben Basisinfrastruktur für Ladepunkte bei Neubauten und Sanierungen	Zurzeit läuft die Revision des kantonalen Planungs- und Baugesetzes (PBG). Das Gesetz gibt vor, dass bei neuen Wohngebäuden mit mindestens 6 Wohnungen die Basisinfrastruktur für Ladepunkte realisiert werden muss. Im neuen Parkplatzreglement will die Stadt Luzern strengere Vorgaben formulieren, damit bei allen neuen Gebäuden die nötige Basisinfrastruktur realisiert wird.
E8: Erhöhung Preise Dauerparkkarten auf öffentlichem Grund für Verbrennungsfahrzeuge	Die Gebühren für die Dauerparkkarten auf öffentlichem Grund werden nach Antriebstechnologie differenziert. Die Gebühren im Parkkartenreglement werden angepasst. Emissionsfreie Fahrzeuge bezahlen die heutigen Gebühren, während die anderen Fahrzeuge höhere Gebühren bezahlen.
E9: Dauerparkkarten auf öffentlichem Grund nur für emissionsfreie Fahrzeuge	Das Parkkartenreglement wird angepasst. Nur emissionsfreie Fahrzeuge dürfen eine Parkkarte beziehen, um dauerhaft auf öffentlichem Grund zu parkieren.
E10: Taxibetriebsbewilligungen nur für emissionsfreie Fahrzeuge	Bei der Ausschreibung der Taxisbetriebsbewilligung wird das Eignungskriterium eingeführt, dass nur emissionsfreie Fahrzeuge eine Taxibetriebsbewilligung in der Stadt Luzern erhalten dürfen.
E11: Zugangsbeschränkung für Verbrennungsfahrzeuge bei Parkhäusern, von welchen die Stadt Beteiligungsquoten besitzt	Die Stadt Luzern setzt sich ein, damit bei Parkhäusern, wo sie Beteiligungsquoten hat, nur emissionsfreie Fahrzeuge parkieren dürfen.

E12: Ladeinfrastruktur städtischer Liegenschaften für MitarbeiterInnen, BesucherInnen und MieterInnen	Die Stadt Luzern nimmt ihre Vorbildrolle wahr und bietet eine bedarfsgerechte Ladeinfrastruktur bei ihren Liegenschaften. Die Ladeinfrastruktur ist für MitarbeiterInnen der Verwaltung, sowie für BesucherInnen und VermieterInnen der städtischen Liegenschaften.
M07*: Städtischen Fuhrpark auf erneuerbare Antriebe umstellen	<i>Bereits im Einsatz (M07 in der Klima- und Energiestrategie).</i> Soweit technisch möglich und wirtschaftlich vertretbar, wird der gesamte städtische Fuhrpark auf erneuerbare Antriebe ohne endenergiebedingte Treibhausgasemissionen umgestellt.
E13*: Ladeinfrastruktur für Dienstfahrzeuge der Stadt	<i>Bereits im Einsatz.</i> Die Stadt Luzern plant und realisiert die benötigte Ladeinfrastruktur für ihre Dienstfahrzeuge. Sie plant die Ausbautetappen, die allenfalls nötigen Anschlusserhöhungen und formuliert eine Kostenschätzung.
M08*: Nachhaltige Beschaffungspraxis der Stadt	<i>Bereits im Einsatz (M08 in der Klima- und Energiestrategie).</i> Die Stadtverwaltung passt ihre Submissionsunterlagen so an, dass die Klimafreundlichkeit und die Energieeffizienz von Maschinen und Fahrzeugen im Speziellen sowie von Transportdienstleistungen im Allgemeinen zunehmend stärker gewichtet werden.

Tabelle 4: Massnahmen für die Dekarbonisierung des Strassenverkehrs in der Stadt Luzern. Massnahmen mit * sind bereits beschlossen und im Einsatz.

Während sich die Stadt Luzern in diesen Diskussionen für viele dieser Massnahmen entschieden hat, wurden andere bewusst wieder verworfen.

Nach einer rechtlichen Vertiefung über die Einführung eines Fahrverbots für Verbrennungsfahrzeuge (siehe Kapitel 10.4), wurde entschieden auf diese Massnahme zu verzichten. Neben der politischen Akzeptanz fehlt aktuell eine gesetzliche Grundlage für dieses Verbot.

Aufgrund von der schlechten Energieeffizienz von FCEV und anderen Schwächen, die im Kapitel 3.3 erläutert sind, wurden Massnahmen für die Entwicklung der Wasserstoff-Mobilität verworfen.

Ausserdem nimmt die Stadt Luzern Abstand davon, den Erwerb von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben finanziell zu unterstützen. Das Stadtparlament ist gegenüber der finanziellen Förderung von motorisierten, individuellen Verkehrsmitteln sehr kritisch eingestellt. Die finanzielle Förderung hätte hier einen geringen Mitnahmeeffekt und wäre inkohärent mit der Verkehrsstrategie (Verkehr vermeiden und verlagern).

7.3 Massnahmenplan

Die ausgewählten Massnahmen können in vier Hauptkategorien aufgeteilt werden: Bedarfsgerechte allgemein zugängliche Ladeinfrastruktur, Förderung und Beratung, Regulierungen und Bevorzugung und Vorbildrolle. Sie sind in der Tabelle 5 zusammengefasst.

Bedarfsgerechte allgemein zugängliche Ladeinfrastruktur	Förderung und Beratung	Regulierungen und Bevorzugung	Vorbildrolle
E1: Umsetzungsplan und Standortauswahl für ein ergänzendes allgemein zugängliches Ladenetz	E5: Förderprogramm Ladeinfrastruktur	E7: Vorgaben Basisinfrastruktur für Ladepunkte bei Neubauten und Sanierungen	E12: Ladeinfrastruktur städtische Liegenschaften für MitarbeiterInnen, BesucherInnen und MieterInnen
E2: Definition von Trägerschafts- und Betreibermodel bei allgemein zugänglicher Ladeinfrastruktur	E6*: Beratungsangebot Elektromobilität	E8: Erhöhung Preise Parkkarten für Dauerparkieren auf öffentlichem Grund für Verbrennungsfahrzeuge	M07*: Städtische Fuhrpark auf erneuerbare Antriebe umstellen
E3: Ausschreibung und Konzessionierung Ladestandorte auf öffentlichem Grund		E9: Parkkarten für Dauerparkieren auf öffentlichem Grund nur für emissionsfreie Fahrzeuge	E13*: Ladeinfrastruktur für Dienstfahrzeuge der Stadt Luzern
E4: Realisierung Basisinfrastruktur für konzessionierte allgemein zugängliche Ladepunkte		E10: Taxibetriebsbewilligungen nur für emissionsfreie Fahrzeuge	M08*: Nachhaltige Beschaffungspraxis der Stadt Luzern
		E11: Zugangsbeschränkung für Verbrennungsfahrzeuge bei Parkhäusern, wo die Stadt Luzern Beteiligungsquoten besitzt	

Tabelle 5: Übersicht Massnahmen für die Dekarbonisierung des Strassenverkehrs. Massnahmen mit * sind bereits beschlossen und im Einsatz.

Der Massnahmenplan definiert den zeitlichen Horizont für die Umsetzung. Er ist in Abbildung 31 dargestellt. In den folgenden Kapiteln werden die einzelnen Massnahmen im Detail erläutert.

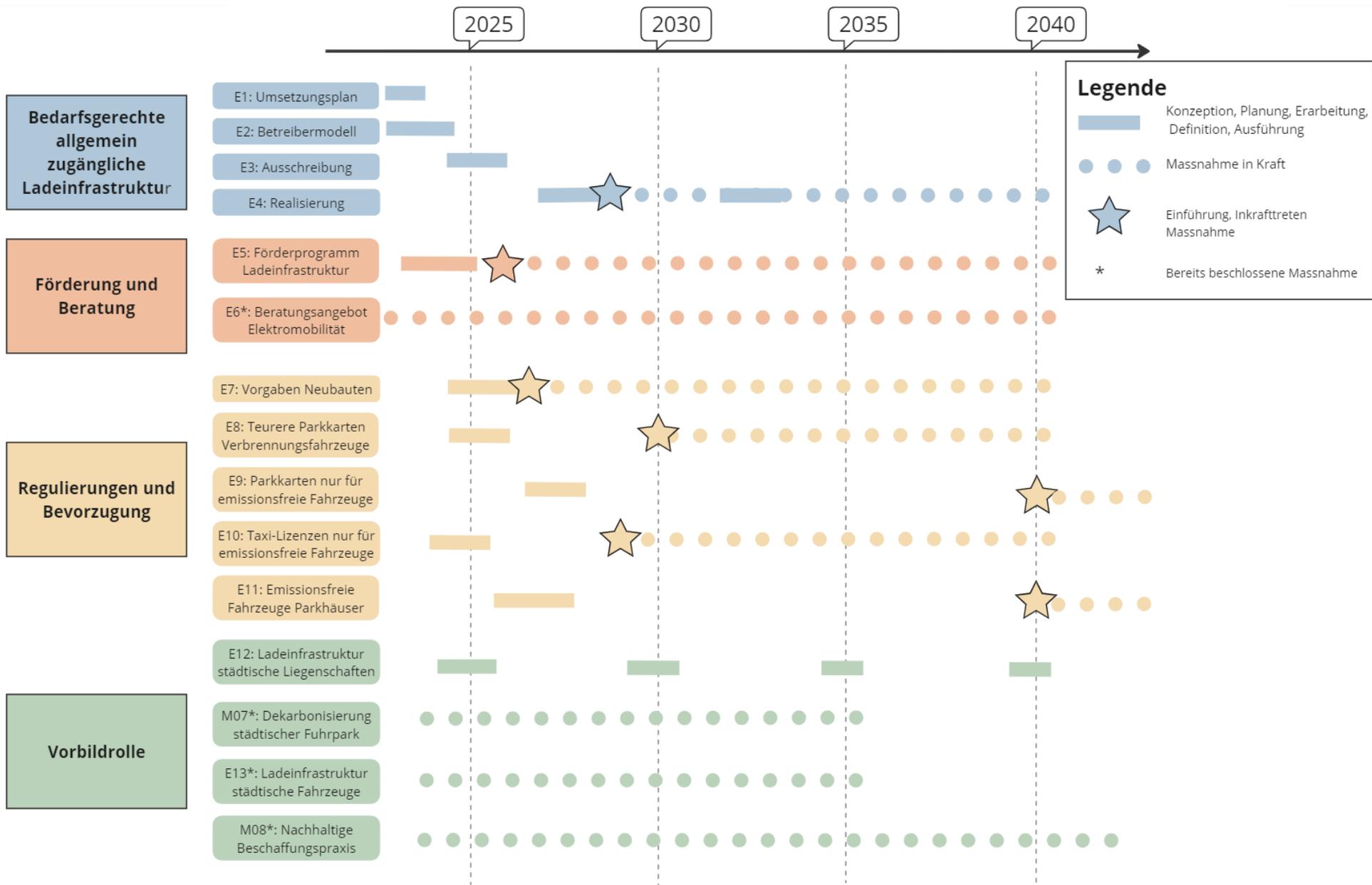


Abbildung 31: Massnahmenplan der Stadt Luzern zur Reduktion der Treibhausgasemissionen im Verkehr

7.4 Übersicht und Beurteilung der Massnahmen

Für die Umsetzung der 15 Massnahmen wurden die zusätzlichen Kosten und benötigten Ressourcen für die Stadt geschätzt. Ausserdem wurde die Zuständigkeit innerhalb der Verwaltung definiert.

Schliesslich wurden die Massnahmen nach vier qualitativen Kriterien beurteilt. Die Übersicht und Beurteilung der Massnahmen sind in der Tabelle 7 gegeben.

Bewertungskriterien	Beschreibung	Skala
Wirkung	<p>Das Wirkungspotential beschreibt summarisch die Wirkungsbreite und -tiefe der Massnahme. Das ergibt sich aus der Multiplikation zwischen «betroffene Flotte» und «Wirkungstiefe». Die Skala geht von 0 bis 3.</p> <p>Betroffene Flotte: Wie viele Fahrzeuge sind von der Massnahme betroffen? Im Minimum wenige Fahrzeuge eines Pilotprojekts oder nur die städtischen Fahrzeuge bis maximal alle Fahrzeuge, die in der Stadt unterwegs sind.</p> <p>Wirkungstiefe: wie wirkt die Massnahme bei jedem einzelnen betroffenen Fahrzeug? Dabei steht die Umstellung von einem fossilen Antrieb auf einen alternativen erneuerbaren Antrieb im Vordergrund. Wirkt die Massnahme empfehlend/motivierend bis hin zu einer Vorschrift.</p> <p>Die Wirkung ist eine quantitative Grösse für die Umstellung von fossilem auf alternative erneuerbare Antriebe und indirekt daher die Messgrösse für die Entwicklung der Elektromobilität.</p>	
Risiken	<p>Jede Massnahme wird auf relevante Risiken, insbesondere Zielkonflikte zu bestehenden Massnahmen im Bereich Verkehr vermeiden und verlagern sowie Rebound-Effekte oder Fehlinvestitionen, untersucht. Eine grüne Bezeichnung zeigt, dass kaum oder keine Zielkonflikte bestehen; orange deutet mögliche Zielkonflikte an, die aber mit einer korrekten Ausgestaltung der Massnahme beseitigt werden können; rot zeigt Zielkonflikte an, die nicht oder kaum zu minimieren sind.</p>	
Machbarkeit	<p>Die Machbarkeit bezieht sich auf die rechtliche, technische und politische Machbarkeit. Eine grüne Bezeichnung zeigt, dass die Massnahme einfach machbar ist; orange deutet überwindbare Herausforderungen an; rot zeigt praktisch unüberwindbare Restriktionen an.</p>	
Belastung Bevölkerung und Gewerbe	<p>Die Belastung für Bürger und Gewerbe beschreibt die negativen Auswirkungen der Massnahme. Dies berücksichtigt die zusätzlichen Kosten, den Eingriff in die Entscheidungsfreiheit und in das private Eigentum sowie die Erhöhung der bürokratischen Pflichten. Die Skala geht von 0 (keine Belastung) bis 3 (starke Belastung bzw. Eingriff).</p>	

Tabelle 6: Qualitative Kriterien für die Beurteilung der Massnahmen.

Massnahme	Wirkung	Risiken	Machbarkeit	Belastung Bürger und Gewerbe	Zusätzliche Kosten [CHF]	Ressourcenbedarf	Zuständigkeit
E1: Umsetzungsplan und Standortauswahl für ein ergänzendes allgemein zugängliches Ladenetz	●●●	●	●	●●●	-	-	Tiefbauamt, Bereich Mobilität
E2: Definition von Trägerschafts- und Betreibermodelle bei allgemein zugänglicher Ladeinfrastruktur	●●●	●	●	●●●	-	-	Tiefbauamt, Bereich Mobilität
E3: Ausschreibung und Konzessionierung Ladestandorte auf öffentlichem Grund	●●●	●	●	●●●	50'000 (Begleitung durch externe Firma) →durch Erfolgsrechnung finanziert	-	Tiefbauamt, Bereich Mobilität
E4: Realisierung Basisinfrastruktur für konzessionierte allgemein zugängliche Ladepunkte	●●●	●	●	●●●	1.74 Mio., davon 842'000 Kosten der Stadt und 900'000 Kosten für private Anbieter	20 Stellenprozent während Realisierungsetappen	Tiefbauamt
E5: Förderprogramm Ladeinfrastruktur	●●●	●	●	●●●	6 Mio.: Realisierung 10'000 Ladepunkte bis 2040, im Durchschnitt 600 CHF pro LP→durch Energiefonds finanziert	10 Stellenprozent ab Einführung Förderprogramm	Umweltschutz
E6*: Beratungsangebot Elektromobilität	●●●	●	●	●●●	Massnahme bereits beschlossen, keine zusätzlichen Kosten und Ressourcen.		Umweltschutz
E7: Vorgaben Basisinfrastruktur für Ladepunkte bei Neubauten und Sanierungen	●●●	●	●	●●●	-	Aufwand für Bearbeitung Parkplatzreglement	Rechtndienst Umwelt- und Mobilitätsdirektion und Baudirektion
E8: Erhöhung Preise Parkkarten für Dauerparkieren auf öffentlichem Grund für Verbrennungsfahrzeuge	●●●	●	●	●●●	-	-	Stadtraum und Veranstaltungen, Rechtsdienst Umwelt- und Mobilitätsdirektion

Massnahme	Wirkung	Risiken	Machbarkeit	Belastung Bürger und Gewerbe	Zusätzliche Kosten [CHF]	Ressourcenbedarf	Zuständigkeit
E9: Parkkarten für Dauerparkieren auf öffentlichem Grund nur für emissionsfreie Fahrzeuge	●●●	●	●	●●●	-	5 Stellenprozent	Stadtraum und Veranstaltungen, Rechtsdienst Umwelt- und Mobilitätsdirektion
E10: Taxibetriebsbewilligungen nur für emissionsfreie Fahrzeuge	●●●	●	●	●●●	-	5 Stellenprozent	Stadtraum und Veranstaltungen, Rechtsdienst Umwelt- und Mobilitätsdirektion
E11: Zugangsbeschränkung für Verbrennungsfahrzeuge bei Parkhäusern, wo die Stadt Luzern Beteiligungsquoten besitzt	●●●	●	●	●●●	-	-	Tiefbauamt, Bereich Mobilität, Finanzdirektion und Pensionskasse
E12: Ladeinfrastruktur städtische Liegenschaften für MitarbeiterInnen, BesucherInnen und MieterInnen	●●●	●	●	●●●	Um die Kosten und den Ressourcenbedarf zu definieren wird durch die Dienstabteilung Immobilien eine Vorstudie erarbeitet.		Immobilien
M07*: Städtische Fuhrpark auf erneuerbare Antriebe umstellen	●●●	●	●	●●●	Massnahme bereits beschlossen, keine zusätzlichen Kosten und Ressourcen. Siehe Klima- und Energiestrategie (Luzern, 2021)		Werkdienste
E13*: Ladeinfrastruktur für Dienstfahrzeuge der Stadt Luzern	●●●	●	●	●●●	Massnahme bereits beschlossen, keine zusätzlichen Kosten und Ressourcen. Siehe Klima- und Energiestrategie (Luzern, 2021)		Dienstabteilung Immobilien, beratend Werkdienste
M08*: Nachhaltige Beschaffungspraxis der Stadt Luzern	●●●	●	●	●●●	Nicht quantifizierbar		Umweltschutz, Finanzdirektion

Tabelle 7: Übersicht und Beurteilung der Massnahmen

Das Verfahren ist in Abbildung 32 dargestellt und beinhaltet folgende Schritte:

1. Ausgehend von den Planungsszenarien aus Kapitel 6, wurde die räumliche Verteilung des Ladebedarfs in den NPVM Zonen und im Hektarraster (100 m x 100 m) modelliert.
2. Grobe Kostenschätzung nach Parkplatztyp (z.B. seitliche Parkplätze sind teurer als quere Parkplätze) und Festlegung der Grundsätze.
3. Berücksichtigung von bestehenden öffentlichen und privaten allgemein zugänglichen Parkplätzen, bestehende Ladestationen und Statistiken über die Anwohnerparkkarten.
4. Auswahl der Standorte: Iterativer Prozess im Austausch mit der Stadt Luzern und anderen Akteuren.
5. Technische Abklärungen mit den Netzbetreibern CKW und ewl bezüglich der elektrischen Erschliessung.
6. Synthese: Dimensionierung der Ladeinfrastruktur, Kostenschätzung und Realisierungsempfehlungen.

Verteilung Ladebedarf

Die Basis für die Auswahl der Ladestandorte sind die Modellergebnisse. Die Stadt Luzern ist gemäss nationalen Personenverkehrsmodell in 63 Zonen aufgeteilt (NPVM-Zonen). Der Ladebedarf in jeder Zone wurde einzeln analysiert. Einige Zonen sind so klein, dass sie für eine sinnvolle Betrachtung zusammen mit Nachbarzonen betrachtet wurden.

Wie oben erwähnt, liegt der Fokus dieser Massnahme auf der Kategorie «Laden im Quartier». Die Ladebedürfnisse in der Kategorie «Laden am Zielort» wurde ebenfalls analysiert. Als Planungsjahr wurde 2035 genommen, weil bis dahin der grösste Teil des Ausbaus erfolgen muss.

Für diesen Zweck wurde der Bedarf für das «Laden im Quartier» und «am Zielort» in 100 m x 100 m Rasterzellen auf dem Stadtgebiet durchgeführt.

Die Resultate für das «Laden im Quartier» und am Zielort sind in Abbildung 33 respektive Abbildung 34 aufgeführt. Die zwei Karten zeigen auch die öffentlichen Parkplätze der Stadt.

Beim Vergleich dieser Ladebedarfskarten fällt auf, dass sich der Bedarf für das «Laden im Quartier» erwartungsgemäss viel grossflächiger über das Stadtgebiet verteilt als der Bedarf für das «Laden am Zielort». Während ein gewisser Bedarf für das «Laden im Quartier» in fast allen Gebieten mit Wohnhäusern besteht, ist er am höchsten in den zentralen Gebieten wie Neustadt-Voltastrasse, wo viele Personen in älteren Miethäusern ohne Heimlademöglichkeit leben. Für das «Laden am Zielort» gibt es an vielen Orten in der Stadt punktuell signifikanten Bedarf, beispielsweise am Bahnhof Luzern oder beim Schweizerhofquai. Die Lokalisierung des Ladebedarfs ist logischerweise davon beeinflusst, wo sich heute bereits Ladestationen befinden.

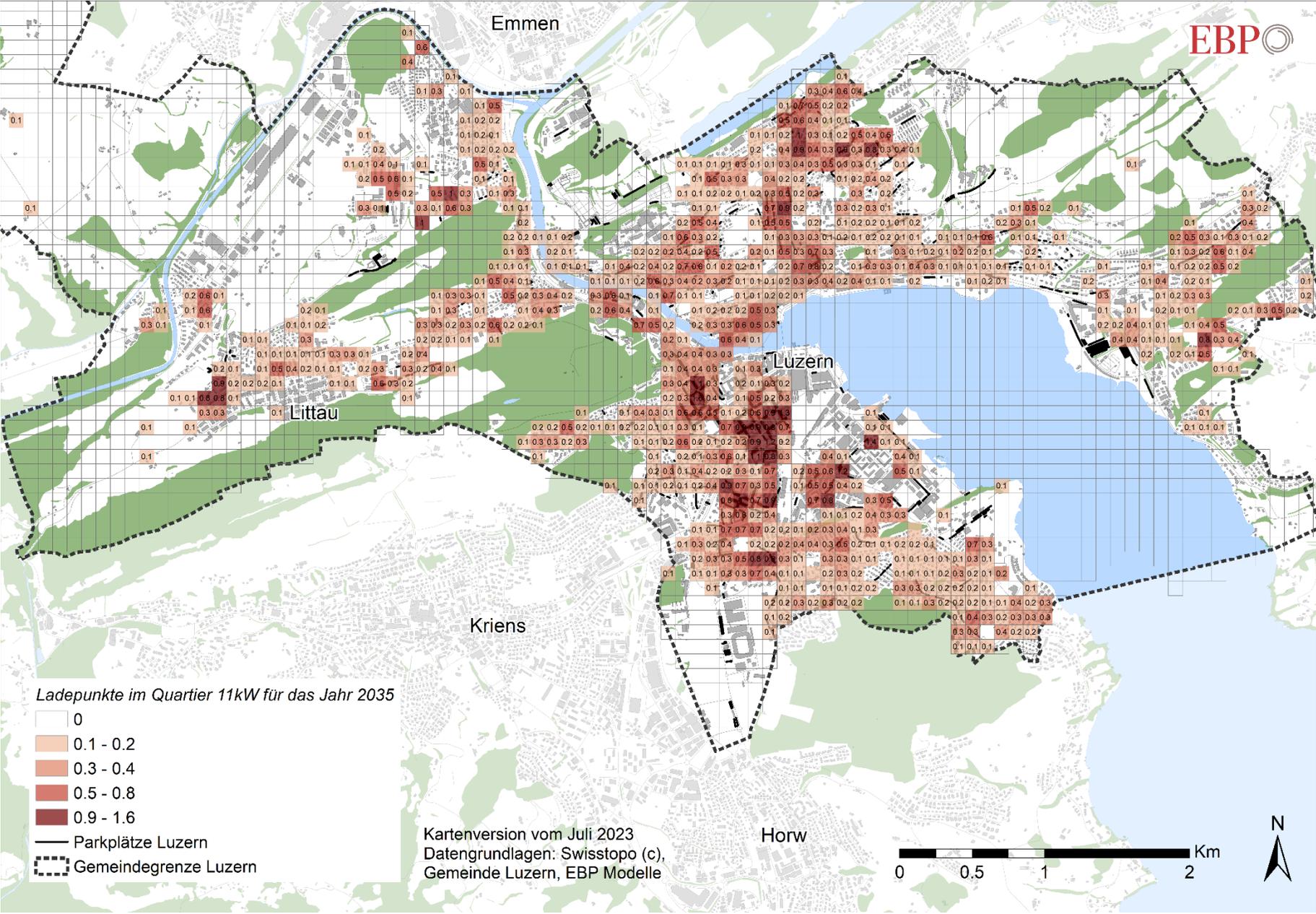


Abbildung 33: Bedarf an Ladepunkten fürs «Laden im Quartier» 11 kW in der Stadt Luzern im Jahr 2035.

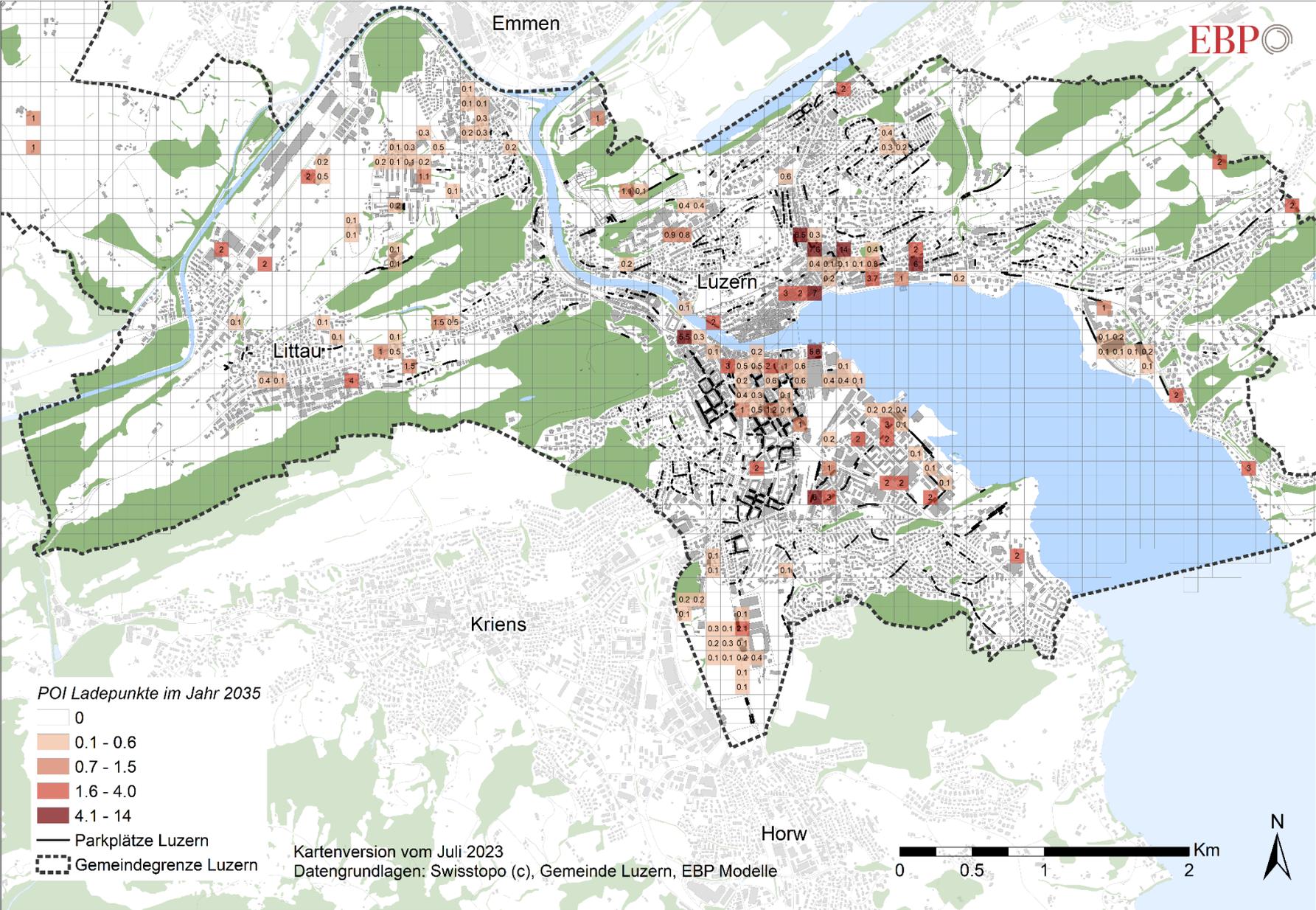


Abbildung 34: Bedarf an Ladepunkten für «Laden am Zielort» 11 und 50 kW in der Stadt Luzern im Jahr 2035.

Laden am Zielort

In der Kategorie «Laden am Zielort» wurde ein geringer Handlungsbedarf für die Stadt Luzern erkannt. Gründe dafür sind:

- Das heutige Angebot ist vor allem im Stadtzentrum, wo sich der Bedarf konzentriert, bereits gut. Von den heutigen 104 Ladepunkten sind die meisten im Stadtzentrum und für die Ladebedürfnisse der Kategorie «Laden am Zielort» gedacht. Viele Parkhäuser sind mit Ladeinfrastruktur ausgerüstet.
- Es ist davon auszugehen, dass das Angebot bis 2035 hier noch erweitert wird, ohne dass die Stadt Luzern Einfluss nehmen kann. Der Bedarf an Ladepunkten der Kategorie «Laden am Zielort» beträgt 166 im Jahr 2035. Die Betreiber der Zielorte, wie Einkaufszentren, Kulturzentren oder Parkhäusern haben selbst Interesse, ihren Besuchenden eine bedarfsgerechte Ladeinfrastruktur anzubieten. Das aktuelle Angebot bestätigt das.
- In einigen Siedlungsgebieten ist der Bedarf zwar vorhanden, aber er ist klein. Die Realisierung der Ladeinfrastruktur dafür wäre teuer und stünde nicht im Verhältnis mit der Wirkung. Ausserdem kann dieser Bedarf durch das flächendeckende Ladenetz der Ladestationen für die Kategorie «Laden im Quartier» befriedigt werden. Das würde auch die Auslastung dieser Ladestandorte verbessern.

Nur beim Kantonsspital bleibt ein wesentlicher Handlungsbedarf übrig. Das Areal wird zurzeit stark umgebaut und hat ein eigenes Stromnetz. Die Ausbaupläne und die zukünftige Mobilität rund um das Areal wurden nicht im Detail analysiert. Das Kantonsspital sollte ein Ladekonzept für das Areal erarbeiten und die passende Ladeinfrastruktur realisieren, nicht nur für Besuchende, sondern auch für Mitarbeitende und ihre Dienstfahrzeuge.

Bei den anderen Standorten, wo sich heute Ladepunkte für «Laden am Zielort» befinden (z.B. Parkhäuser Altstadt, Schweizerhof, Bahnhof Parking oder Parkhaus Löwen Center), empfehlen wir langfristig die Realisierung von Ladepunkten mit einer höheren Ladeleistung (50 kW DC).

Laden im Quartier

Die Stadt Luzern setzt sich zum Ziel 100 % des Ladebedarfs in der Kategorie «Laden im Quartier» mit dem Aufbau einer bedarfsgerechten Ladeinfrastruktur zu befriedigen. Die Realisierung und der Betrieb soll in Zusammenarbeit mit Dritten erfolgen (siehe Kapitel 8.2, Massnahme E2).

Weitere Grundsätze, die für die Auswahl und Dimensionierung der Ladestandorte berücksichtigt wurden, sind folgende:

- Die Stadt Luzern will langfristig das Angebot an Parkplätzen auf öffentlichem Grund um 50 % reduzieren. Ein grosser Teil der Parkplätze wird in Zukunft deshalb abgebaut. Die Ladestandorte befinden sich auf Parkplätzen, die langfristig wahrscheinlich bestehen bleiben.
- Abgetrennte Parkplätze sind zu bevorzugen. Weiter sollen seitliche Parkplätze gegenüber queren Parkplätzen an der Strasse bevorzugt werden. Seitliche Parkplätze sind teurer zu elektrifizieren aber weisen eine höhere Verkehrssicherheit auf.

- Für die Bestimmung der Anzahl Ladepunkte war insbesondere die Anzahl der verfügbaren Parkplätze am Standort und in unmittelbarer Nähe ausschlaggebend. Grundsätzlich sollten auch langfristig lokal je Standort nicht mehr als 20-30 % der öffentlich zugänglichen Parkplätze mit Ladeinfrastruktur ausgerüstet sein.
- Grundsätzlich eignet sich Langsamladen (11 kW AC) besser für die Bedürfnisse in der Kategorie «Laden im Quartier». Wegen den knappen Platzverhältnissen und der geringen Parkplatzverfügbarkeit in gewissen Zonen, wurden jedoch auch Schnellladepunkte (≥ 50 kW DC) vorgesehen, die mehrere Fahrzeuge pro Tag bedienen können. Diese sind nur bei Parkplätzen zu empfehlen, die tagsüber eine höhere Frequenz (aufgrund attraktiver Angebote in der Umgebung) aufweisen.
- Die Dimensionierung der gesamten angeschlossenen Leistung berücksichtigt das Ladeverhalten und ein Lastmanagement.

Die Auswahl der Standorte war ein iterativer Prozess in engem Austausch mit der Stadt Luzern. Neben dem Bereich Mobilität des Tiefbauamts wurden gezielt Akteure für spezifische Ausbauprojekte involviert. Grundsätzlich wurden Grundstücke in öffentlichem Besitz bevorzugt. In drei Fällen waren private Grundstücke besonders geeignet für die Realisierung der Ladestationen. Hier wurden die Privaten für die Abklärungen involviert.

Bei einigen Standorten gab es Zielkonflikte. Es war nicht immer möglich folgende vier Ziele vollständig zu erfüllen:

- Planung einer bedarfsgerechten Ladeinfrastruktur in jeder Zone
- Langfristige Aufhebung von 50 % der Parkplätze auf öffentlichem Grund
- Ausreichendes Parkplatzangebot für Fahrzeuge die beim Aufenthalt nicht laden müssen (z.B. für BesucherInnen eines Friedhofs)
- Bevorzugung Parkplätze als Ladeplätze mit günstigen Verhältnissen (Sicherheit, Platz für die Ladestation, usw.)

Jeder Zielkonfliktfall wurde einzeln betrachtet und mit den involvierten Akteuren besprochen.

Elektrische Erschliessung und Kostenschätzung

Auf dem Stadtgebiet sind zwei Netzbetreiber aktiv. CKW betreibt das Stromnetz im Gebiet Reussbühl und Ruopigen, während das restliche Gebiet von ewl betrieben wird.

Die zwei Netzbetreiber wurden für die technischen Abklärungen bezüglich Netzerschliessung der Ladestandorte involviert. Zwei Standorte befinden sich im CKW-Gebiet und die restlichen 28 im ewl Gebiet.

Die Netzbetreiber haben für jeden Standort die Anschlusskosten mittgeteilt und die Länge vom Kabel und Grabarbeiten bis zum Anschlusspunkt. Bei beiden Betreibern muss die Stadt einen Anschlussbetrag bezahlen. Bei ewl sind im Betrag 100m Erschliessungskabel inklusiv Tiefbaukosten im öffentlichen Grund enthalten. Bei CKW sind im Betrag die Erschliessung bis zur Parzellengrenze und 25m Kabelanschluss auf Parzellengrund enthalten.

Für die Kostenschätzung wurden folgende Annahmen getroffen:

- Kosten Ladestation 11 kW AC: 2'500 CHF pro Ladepunkt
- Kosten Ladestation 50 kW DC: 25'000 CHF pro Ladepunkt
- Kosten Grabarbeiten (inklusive Verlagerung Rohr für Kabel, Installation, Planung und Bauleitung): 300 CHF pro Meter pauschal
- Kabelkosten: Zwischen 45 und 170 CHF pro Meter, je nach Kabelgrösse
- Schacht vor Ladestation: 6'000 CHF pro Standort

Die detaillierte Beschreibung und Kostenschätzung für diese Standorte sind diesem Konzept in Form von Steckbriefen beigelegt.

Die Liste der geplanten Standorte für die Realisierung einer allgemein zugänglichen Ladeinfrastruktur ist in Tabelle 8 gegeben. Jeder Standort ist mit einer Nummer von D02 bis D61 bezeichnet. Die Nummer beziehen sich auf die Nummerierung der NPVM-Zonen der Stadt Luzern. Für jeden Standort ist die Anzahl 11 kW und 50 kW Ladepunkte und die Adresse gegeben. Die Kosten sind in zwei Kostenarten geteilt: Anschlusskosten und Basisinfrastruktur (wird von der Stadt Luzern finanziert, siehe Kapitel 8.2) und Kosten für die Ladestation (von Dritten finanziert). Neben den totalen Kosten sind auch die Kosten pro 11 kW-Äquivalent gegeben. Diese Kenngrösse erlaubt den Vergleich zwischen Standorten mit unterschiedlichen Ladeleistungen und Anzahl Ladepunkte.

Nr.	Anzahl LP 11 kW	Anzahl LP 50 kW	Standorte	Anschluss- kosten und Basisinfra- struktur	Ladestation	Total	Total pro 11 kW-Äq
D02	6		Friedhof Littau	21'307	15'000	36'307	6'051
D03	3	1	Matthof	28'444	32'500	60'944	8'077
D05	6		Parkplatz Blatten- moosstrasse (Zentrum St. Mi- chel)	14'400	15'000	29'400	4'900
D06		2	Eichenstrasse	29'450	50'000	79'450	8'740
D08	4	2	PP Täschmatt- strasse	38'831	60'000	98'831	7'550
D09	4		PP Kindergarten Udelboden	19'073	10'000	29'073	7'268
D13	4		PP Dammstrasse- St. Karli Brücke	16'228	10'000	26'228	6'557
D14	6	2	Trüllhofstrasse	81'214	65'000	146'214	9'689
D16		1	Parkhaus Altstadt	-	25'000	25'000	5'500
D17	1	2	Alterswohnheim Bergli	29'713	52'500	82'213	8'147
D19	9	1	Pilatusstrasse beim Schulhaus Säli	42'768	47'500	90'268	6'664
D20	4		Eichwaldstrasse	17'953	10'000	27'953	6'988
D21	4		Kleinmattstrasse Neubad	17'273	10'000	27'273	6'818
D22	1	1	Historisches Mu- seum	23'776	27'500	51'276	9'246
D23	4		Libellenstrasse	20'733	10'000	30'733	7'683
D24	3	1	Kaufmannweg	27'666	32'500	60'166	7'974
D25	4	2	Kreuzung Blei- cherstrasse-Bun- desstrasse	37'598	60'000	97'598	7'455
D27	6		Sempacherstrasse	25'212	15'000	40'212	6'702
D28	6		Lindenhausstrasse	25'212	15'000	40'212	6'702
D29	8	1	Breitenla- chenstrasse	35'588	45'000	80'588	6'424
D32	2		Bergstrasse: Pilot- projekt, keine Ver- tiefungen für die- sen Standort	13'645	5'000	18'645	9'323
D39	3	1	Maihof, Kirche St. Jospf	13'615	32'500	46'115	6'112

D39 b	6		Schubertstrasse	25'212	15'000	40'212	6'702
D42	5	1	Sonnbühlstrasse	39'818	37'500	77'318	8'100
D47	2	2	Hirtenhofstrasse Nord	38'538	55'000	93'538	8'434
D51	6	2	Zwyssigstrasse	44'486	65'000	109'486	7'255
D55	5	1	Hirtenhofstrasse Süd	39'818	37'500	77'318	8'100
D56	6		Rigistrasse Ost	25'212	15'000	40'212	6'702
D60	10		Schädrütistrasse, Kreuzung Schäd- rütihalde	38'797	25'000	63'797	6'380
D61	2		Schulareal Bütten- nen	10'350	5'000	15'350	7'675
Tot.	130	23		841'929	900'000	1'741'929	7'427

Tabelle 8: Liste der Standorte für die Realisierung einer allgemein zugänglichen Ladeinfrastruktur. Die Preise sind in CHF gegeben.

Die zu realisierenden Standorte sind in der Abbildung 35 dargestellt.

Insgesamt sind 130 Ladepunkte mit 11 kW und 23 Ladepunkte mit 50 kW für das «Laden im Quartier» vorgesehen. Die installierte Ladeleistung beträgt 2'580 kW, was einer Anzahl von 235 11 kW-Äquivalente entspricht.

Gemäss den Ergebnissen im Kapitel 6.5 braucht die Stadt langfristig etwa 240 Ladepunkte in der Kategorie «Laden im Quartier» und insgesamt etwa 420 allgemein zugängliche Ladepunkte. Wie im Kapitel 5 gezeigt, bestehen heute bereits 104 allgemein zugängliche Ladepunkte in der Stadt Luzern.

Mit der Realisierung der 130 Ladepunkte gemäss Tabelle 8 deckt die Stadt Luzern einen wesentlichen Teil des Bedarfs der Kategorie «Laden im Quartier».

Wegen den oben aufgeführten Grundsätzen bei der Standortauswahl (langfristig Aufhebung 50 % der Parkplätze, ausreichendes Angebot für Fahrzeuge, die beim Aufenthalt nicht laden müssen, usw.) ist es nicht in jedem Quartier möglich, so viele Ladepunkte wie tatsächlich benötigt auf öffentlichen Grund zu realisieren. Da der Bedarf für diese Kategorie sehr lokalisiert ist, kann ein tieferes Angebot in einem Quartier kaum durch ein höheres Angebot in einem anderen Quartier kompensiert werden.

Die totalen Realisierungskosten, der in Tabelle 8 gelisteten Ladestandorte betragen 1'742'000 CHF. Davon fallen 842'000 CHF für Anschlusskosten und Basisinfrastruktur und 900'000 CHF für die Ladestationen an. Im Durchschnitt betragen die Realisierungskosten 7'427 CHF pro 11-kW Äquivalent Ladepunkt.

Da sowohl bei ewl als auch bei CKW ein grosser Teil der Tiefbaukosten im Anschlussbetrag enthalten sind, ist die Spannbreite der Realisierungskosten pro 11 kW-Äquivalent relativ gering. Im Durchschnitt betragen die Realisierungskosten 7'260 CHF pro 11 kW Äquivalente.

Es besteht ein Potential für die Optimierung der Kosten vor allem bei den Tiefbauarbeitskosten. Die Realisierungskosten können reduziert werden, indem die Grabarbeiten koordiniert mit anderen Infrastrukturausbauten (z.B. Wasserleitung, Glasfaser, usw.) erfolgen.

Ein gutes Beispiel dafür ist der Standort Nr. D06 (Kreuzung Eicher- und Waldstrasse). Die Strasse wird bis Mitte 2024 saniert. Im Projekt wurden, in Absprache mit CKW, Lehrrohre vorgesehen, damit man hier in Zukunft die zwei Ladepunkte gemäss Tabelle 8 günstig realisieren kann. Da sich dieser Standort bereits in der Ausbaustufe A gemäss SIA 2060 befindet, ist er in den beigelegten Steckbriefen der Ladestandorte nicht beschrieben.

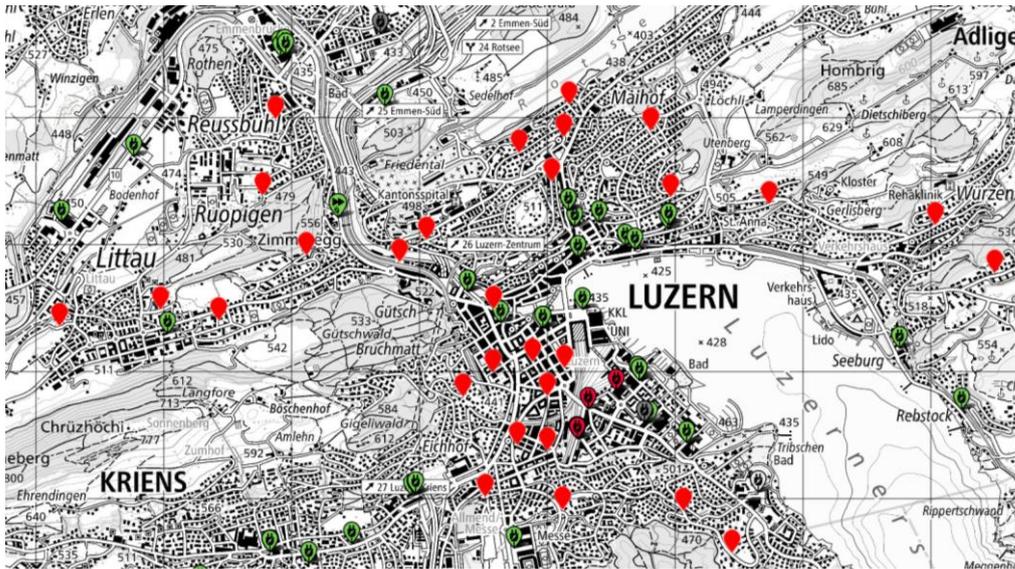


Abbildung 35: Allgemein zugängliche Ladestandorte die zu realisieren sind (rot) und bestehende Ladestandorte.

8.2 Definition Betreibermodell (E2)

In Kapitel 6 wurde der Bedarf an allgemein zugänglicher Ladeinfrastruktur in der Stadt Luzern quantifiziert. In diesem Kapitel wird nun aufgezeigt, welches Betreibermodell am geeignetsten für die Stadt Luzern ist.

8.2.1 Rolle der Stadt

Für die verschiedenen Ladeinfrastrukturoptionen werden die möglichen Rollen der Stadt Luzern diskutiert. Auf Basis der Gewichtung von Vor- und Nachteilen der einzelnen Rollen wird eine Empfehlung für das künftige Handeln der städtischen Verantwortlichen gegeben.

Eigenschaften verschiedener Ladeinfrastrukturoptionen

Die Rolle der Stadt Luzern muss nicht bei allen allgemein zugänglichen Ladepunkten einheitlich sein, sondern kann sich je nach Ladeoption unterscheiden.

— **Laden im Quartier:** Bei AC-Ladepunkten erfolgt das Laden primär über Nacht. Das heisst, dass mit relativ wenigen Ladevorgängen pro Tag zu

rechnen ist. An geeigneten Standorten sind je nach Art des Ausbaus relativ tiefe Investitionskosten, aber auch ein begrenztes Ladevolumen und beschränkte Zahlungsbereitschaft der Kundschaft einzukalkulieren. Die Standorte befinden sich in der Regel auf öffentlichem Grund.

- **Laden am Zielort:** Mehrere Ladevorgänge pro Tag, die zwischen 15 Minuten und zwei Stunden dauern. AC-Ladestationen an Zielorten weisen tiefe Investitionskosten auf. DC-Ladestationen sind hingegen mit höheren Investitionskosten verbunden. Allgemein sind die Investitionskosten stark von der Netzerschliessung und den damit verbundenen Grabarbeiten abhängig. Das Ladevolumen ist zu maximieren, allerdings besteht insbesondere bei AC-Ladestationen eine beschränkte Zahlungsbereitschaft der Kundschaft. Potenzielle Standorte für das Laden am Zielort befinden sich oft auf privatem Grund, jedoch kommen häufig auch öffentliche Parkflächen infrage.
- **Schnellladen:** Viele Ladevorgänge, die zirka 15 Minuten dauern, sind möglich. In dieser Kategorie steht der Ladevorgang und nicht das Parkieren im Vordergrund. Bei Schnellladestationen sind hohe Investitionskosten, hohes Ladevolumen und hohe Zahlungsbereitschaft der KundInnen einzukalkulieren. Schnellladestandorte befinden sich zumeist auf privaten Flächen in der Nähe von Verkehrsknotenpunkten, jedoch kann in Einzelfällen auch ein Standort auf öffentlichem Grund infrage kommen.

Wie bereits im Kapitel 8.1 aus Bedarfssicht festgestellt, konzentriert sich deshalb die aktive Rolle der Stadt vor allem für die Ladekategorie «Laden im Quartier».

Verschiedene Rollen der Stadt Luzern

Während es eine grosse Vielfalt an Mischformen gibt, können drei grundsätzlich unterschiedliche Varianten für die Rolle der Stadt Luzern beim Aufbau der allgemein zugänglichen Ladeinfrastruktur in der Stadt Luzern unterschieden werden. Diese Varianten unterscheiden sich in dem Anspruch an personelle und fachliche Ressourcen der Stadt Luzern, im Hinblick auf die Kosten und das Refinanzierungsrisiko sowie auf die politisch favorisierte Position der Stadt Luzern als aktive Unterstützerin der Elektromobilität.

- **Variante A: Der Aufbau wird grundsätzlich dem freien Markt überlassen**

Der geringste Aufwand entsteht, wenn der Ladeinfrastrukturaufbau komplett dem Markt überlassen wird. Dies bedeutet jedoch, dass nur Standorte und Ladetypen mit einem hohen Return of Investment entstehen werden, bspw. Schnellladestationen an Hauptverkehrsadern. Dadurch wird kein flächendeckendes Ladenetz erzielt und der Aufbau erfolgt zeitlich verzögert, was wiederum die Marktdurchdringung der Elektromobilität verzögert.

- **Variante B: Die Stadt Luzern baut und betreibt selbst Ladestationen auf öffentlichem Grund und unterstützt den Aufbau auf privatem Grund**

Das andere Extrem in diesem Zusammenhang würde bedeuten, dass die Stadt Luzern den Aufbau allgemein zugänglicher Ladeinfrastruktur eigen-

ständig plant, durchführt, finanziert und betreibt, wodurch ein flächendeckendes Ladenetz geschaffen werden kann. Dieses Engagement erfordert ein gutes Know-how und die Absicht, die Elektromobilität als eine der Säulen einer nachhaltigen Mobilitätsstrategie stark finanziell zu unterstützen. Diese Aktivitäten entsprechen jedoch per se nicht der Kompetenz der Stadt Luzern und können allenfalls auf Kosten anderer wichtiger Mobilitätsfragen gehen. Ausserdem kann ein Alleingang der Stadt Luzern dazu führen, dass es einen Mangel an Abgleich mit privaten Initiativen gibt, was schlimmstenfalls sogar unterdrückend auf privates Engagement wirken kann. Auf privatem Grund ist die Stadt Luzern naturgemäss nicht in der Position, BetreiberInnen für Ladepunkte zu suchen. Sie kann den EigentümerInnen der Parkflächen aber koordinierend zur Seite stehen, indem sie mehrere EigentümerInnen in Veranstaltungen zusammenbringt und Wissen und Kontakte vermittelt.

Auf privaten Parkplätzen wirkt die Stadt auch mit durch Vorgaben bezüglich der Ladeinfrastruktur bei Neubauten (siehe Kapitel 10.1, Massnahme E7).

— **Variante C: Öffentlicher Grund wird Dritten zur Verfügung gestellt**

Ein Mittelweg zwischen diesen beiden Möglichkeiten wäre, dass die Stadt Luzern für Standorte auf öffentlichem Grund geeignete Flächen zur Verfügung stellt und mit privaten AnbieterInnen kollaboriert, um möglichst wirtschaftlich eine gute Lösung für den Ladeinfrastrukturaufbau in der Stadt Luzern zu erzielen. Hierbei kann die Stadt Luzern eine finanzielle Beteiligung z.B. im Sinne einer (Vor-)Finanzierung in Erwägung ziehen. Die Nutzung des öffentlichen Grundes und der Basisinfrastruktur kann über eine Konzessionsgebühr abgegolten werden. Die Rolle der Stadt Luzern auf privatem Grund entspricht derer in Variante B.

Nachteile dieser Variante sind, dass die Stadt Luzern von externen AnbieterInnen abhängig ist und den Ladenetzaufbau allenfalls finanziell unterstützen muss. Positiv ist hingegen anzumerken, dass die Stadt Luzern anders als bei Variante A Entscheidungsgewalt hat. Im Rahmen einer Ausschreibung kann die Stadt nämlich die genauen Standorte nicht nur einzeln, sondern auch als Paket zu vordefinierten Konditionen (Konzessionsgebühr, Betriebskonzept des Ladegeschäfts, etc.) anbieten und dadurch die Realisierung aller ausgewählten Standorte bewirken.

Empfehlung

Die Rolle der Stadt Luzern und die verschiedenen Betreibermodelle wurden mit der Begleitgruppe, Projektsteuerung und Geschäftsleitung der Umwelt- und Mobilitätsdirektion besprochen. Es wurden folgende Empfehlungen formuliert.

- Variante C wählen, sprich Standorte auswählen (Massnahme E1) und diese für BetreiberInnen ausschreiben.
- Sich vor allem auf die Zonen mit Bedarf für «Laden im Quartier» fokussieren. Für den Aufbau allgemein zugänglicher Ladeinfrastruktur wird empfohlen, dass die Stadt Luzern Standorte auf öffentlichem Grund auswählt und in Paketen (Mix aus mehr und weniger lukrativen Standorten) ausschreibt (keine Direktvergabe an Energieanbieter; siehe unten). Die

Standorte auf öffentlichem Grund sollten so gewählt werden, dass sie private Angebote dort sinnvoll ergänzen, wo es entsprechende Lücken im Ladenetz gibt. Das wurde bereits für die Bearbeitung der Massnahme E1 berücksichtigt.

- Die Stadt Luzern wählt dann einen geeigneten Betreiber (oder mehrere) aus, lässt als Grundbesitzerin den Aufbau der Basisinfrastruktur und Netzerschliessung der Standorte durchführen und übernimmt selbst die Finanzierung. Die Betreiberin finanziert die Ladestationen und übernimmt alle Kosten im Betrieb. Die Stadt kann somit ihre Investition in die Basisinfrastruktur durch eine Konzessionsgebühr möglichst verursachergerecht refinanzieren.
- Die Konzessionsgebühr wäre in diesem Fall nicht nur für die Nutzung des öffentlichen Grundes, sondern auch für die Verwendung der Basisinfrastruktur. Wenn die Konzessionsgebühr gemäss bisherigen Kriterien des Reglements über die Nutzung des öffentlichen Grundes (Luzern, 2010) berechnet würde, wäre sie zu tief für eine Refinanzierung. Eine Abweichung begründet durch die Kosten der Basisinfrastruktur ist denkbar. Diese muss aber vom Stadtrat erlassen werden.

Die Rollenaufteilung bei der Umsetzung von allgemein zugänglicher Ladeinfrastruktur ist in Tabelle 9 zusammengefasst.

	Koordination/ Standortfindung	Basisinfrastruktur und Netzerschliessung	Ladestation	Ladegeschäft (Betrieb)
Stadt	entscheidet	finanziert und gibt in Auftrag		
Drittanbieter			Finanziert und setzt um	betreibt

Tabelle 9: Rollenaufteilung bei der Umsetzung von allgemein zugänglichen Ladestationen.

Die Stadt Luzern würde also eine subsidiäre Rolle beim Aufbau der Ladeinfrastruktur einnehmen. Das Modell erlaubt trotzdem Freiheiten und Gestaltungsmöglichkeiten für sie. Wenn Drittanbieter mittels einer Ausschreibung gefunden werden und den Betrieb übernehmen, ermöglicht die Ausschreibung den Wettbewerb. Ausserdem garantieren private Anbieter Effizienz vom Kundendienst, Abrechnung, usw.

Das Betriebskonzept ist im Detail in Abbildung 36 dargestellt. Der Betrieb und die Installation von Ladeinfrastruktur kann separat ausgeschrieben werden.

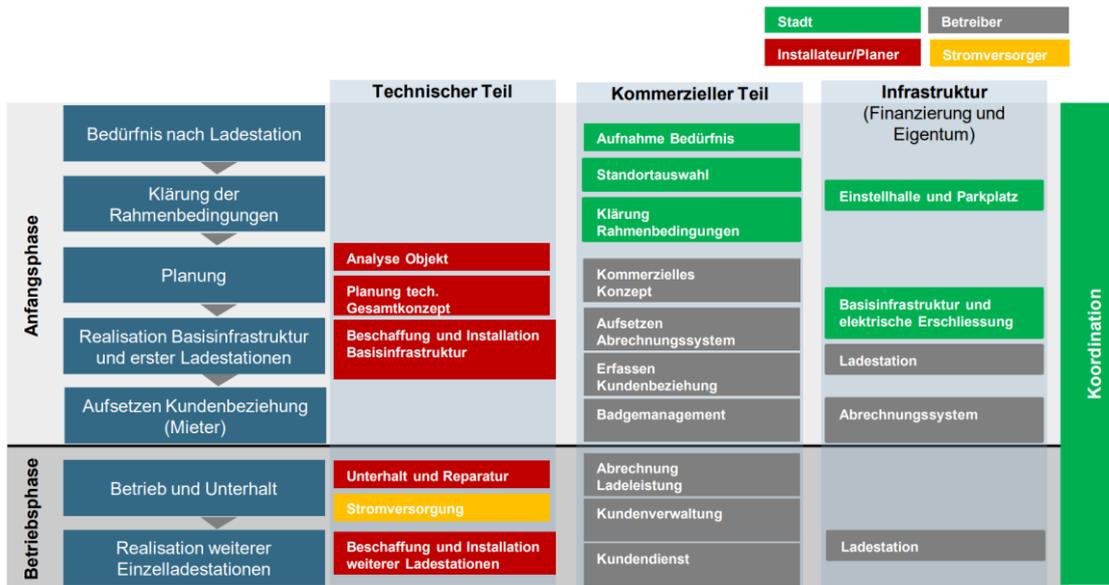


Abbildung 36: Betriebskonzept allgemein zugängliche Ladeinfrastruktur.

Rolle von CKW und ewl

CKW und ewl hätten grundsätzlich Interesse, sich als Betreiber der Ladepunkte zu bewerben. EBP hat in Absprache mit dem Rechtsdienst der Umwelt- und Mobilitätsdirektion der Stadt Luzern abgeklärt, ob eine direkte Vergabe möglich ist. Nach den Abklärungen wurde die Schlussfolgerung gezogen, dass der Auftrag nicht direkt vergeben werden darf. Die Bedingungen für ein «Quasi-in-house-Geschäft», siehe (Ludin, 2019) und (BBL, 2020), sind nicht erfüllt. Eine solche Ausschreibung muss die Regeln des öffentlichen Beschaffungsrechts berücksichtigen.

8.2.2 Planerfolgsrechnung

Dieses Kapitel behandelt die Planerfolgsrechnung für die allgemein zugänglichen Ladestationen. Im vorherigen Kapitel wurden mögliche Betreibermodelle vorgestellt. Die Planerfolgsrechnung basiert auf dem empfohlenen Betreibermodell: Die Stadt Luzern investiert in die Basisinfrastruktur, der Betreiber baut die Ladestation und betreibt sie. Die Stadt Luzern erhebt dann eine Konzessionsgebühr. Die Konzessionsgebühr kann entweder ein Pauschalwert pro Parkplatz sein, ein Zuschlag für jede geladene kWh oder eine Mischform aus beidem (siehe Abbildung 37).

Die Planerfolgsrechnung wurde aus Sicht der Stadt Luzern und aus Sicht des Betreibers berechnet. Die Planerfolgsrechnungen zeigen, unter welchen Verhältnissen die Bewirtschaftung der Ladestation kostendeckend ist. Sie dienen ebenfalls als Grundlage für die Festlegung der Konzessionsgebühren. Schliesslich zeigen sie, wie die Stadt Luzern ihre Investitionen refinanzieren kann.

Die Planerfolgsrechnung hat einen Zeithorizont von 20 Jahren (2026 – 2046).

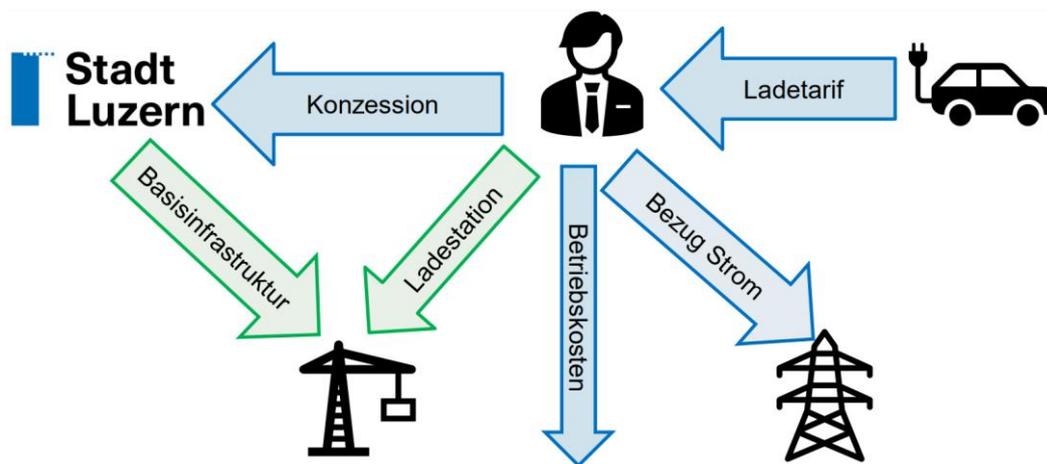


Abbildung 37: Cashflow für das Ladegeschäft. Grün: Anfängliche Investitionskosten. Blau: Aufwände und Erträge beim Betrieb.

Der Cashflow ist in Abbildung 37 dargestellt und schliesst drei Akteure ein:

- Der Kunde bzw. die Kundin bezahlt den Ladetarif dem Betreiber.
- Der Betreiber erhält den Ladetarif von der Kundschaft und bezahlt die eigenen Betriebskosten, die Stromtarife an den Energieversorger und die Konzessionsgebühren an die Stadt Luzern. Der Betreiber investiert in die Ladestation.
- Die Stadt Luzern erhält die Konzessionsgebühren des Betreibers.
- Die Stadt Luzern investiert in die Basisinfrastruktur und Netzerschliessung.

Parkgebühren und Anwohnerparkkarten gehören nicht zum Ladegeschäft und sind hier nicht abgebildet. Die Parkplatzbewirtschaftung funktioniert weiterhin unabhängig von der Ladeinfrastruktur.

In der Planerfolgsrechnung sind die anfänglichen Investitionskosten und die Aufwände und Erträge beim Betrieb angegeben. Die Parkgebühren werden unverändert erhoben und sind nicht Teil des Ladegeschäfts. Sie werden entsprechend nicht in der Planerfolgsrechnung berücksichtigt. Für die Abrechnung und den Ladetarif ist es wichtig, dass die zeitlichen Einschränkungen der jeweils geltenden Parkordnung flexibel im Tarif abgebildet werden können.

Die Ergebnisse der Planerfolgsrechnung zeigen, welche Konzessionsgebühr bei marktüblichen Preisen nötig ist, um die Refinanzierungsansprüche der Stadt Luzern zu erfüllen. Zudem ist ersichtlich welche Stellschrauben sich wie auf den Gewinn des Betreibers auswirken.

Betriebswirtschaftliche Kennzahlen

Die Ergebnisse der Planerfolgsrechnung sind durch drei betriebswirtschaftliche Kennzahlen charakterisiert, die da wären, der Kapitalwert, der Profitability Index und der interne Zinsfuß. Für alle Szenarien ergibt die Planerfolgsrechnung diese drei Kennzahlen für die Stadt Luzern und die Betreiber.

Kapitalwert (NPV)

Der Kapitalwert (Net Present Value) ist die Summe aller Ein- und Auszahlungen abgezinst auf heute. Diese Methode berücksichtigt den Zeitwert des Geldes: Eine Einzahlung heute hat aufgrund ihrer Verzinsung mehr kumulativen Wert als eine zukünftige Einzahlung in derselben Höhe. Die Berechnung hängt vom definierten kalkulatorischen Zinssatz ab. Der Zinssatz repräsentiert den Gewinn einer alternativen Kapitalanlage in derselben Höhe im jeweiligen Zeitraum.

Die Formel für die Berechnung des Kapitalwerts ist

$$NPV = C_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}$$

wobei C_0 die anfänglichen Investitionskosten (Zeitpunkt $t=0$), C_t der Cashflow (Ertrag oder Aufwand) im Jahr t und i der Zinssatz sind.

Wenn der Kapitalwert 0 ist, dann erhält der Investor sein eingesetztes Kapital zurück zuzüglich einer Verzinsung des Kapitals in Höhe des Kalkulationszinssatzes. Wenn der Kapitalwert grösser als 0 ist, dann erzielt der Investor zusätzliche Gewinne aus der Investition. Je höher der Kapitalwert ist, desto rentabler ist die Investition. Wenn der Kapitalwert kleiner als 0 ist, bedeutet es, dass die Verzinsung des eingesetzten Kapitals zum Kalkulationszinssatz nicht gewährleistet ist. Es heisst aber nicht unbedingt, dass die normale Summe von Erträgen und Aufwänden negativ ist und ein Verlust entsteht.

Profitability Index (PI)

Der Profitability Index ist das Verhältnis zwischen den Erträgen aus der Investition und den Investitionskosten. Sie ist gegeben durch die Formel

$$PI = 1 + \frac{NPV}{C_0}$$

wobei NPV der Kapitalwert und C_0 die anfänglichen Investitionskosten darstellen. Wenn der Profitability Index grösser als eins ist, dann lohnt sich die Investition.

Interner Zinsfuss (ϵ)

Der interne Zinsfuss ist der Zinssatz ϵ , bei dem der Kapitalwert gleich null ist. Er ist die Lösung ϵ der Gleichung

$$0 = C_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+\epsilon)^t}$$

Wenn $\epsilon > i$ (Marktzinssatz), kann man einer lohnenswerten Investition sprechen.

Investitionszeiträume

Für die Realisierung von Ladeinfrastruktur werden fünf Ausbaustufen gemäss SIA 2060 (SIA; 2020) differenziert (A, B, C1, C2, D). Für jede Ausbaustufe sind verschiedene Investitionszeiträume definiert. Sie hängen von der Lebensdauer der Bausubstanz ab und sind in Tabelle 10 zusammengefasst. Eine graphische Darstellung der Ausbaustufen ist in Abbildung 38 zu finden.

Ausbaustufe	Investitionszeiträume	Lebensdauer
A	100 Jahre	Rohbau
B	50 Jahre	Starkstromanlagen und Leitungen
C	15–50 Jahre	Leitungen und Steckdosen
D	8–12	Ladestation

Tabelle 10: Investitionszeiträume für die Ausbaustufen (SIA, 2020).

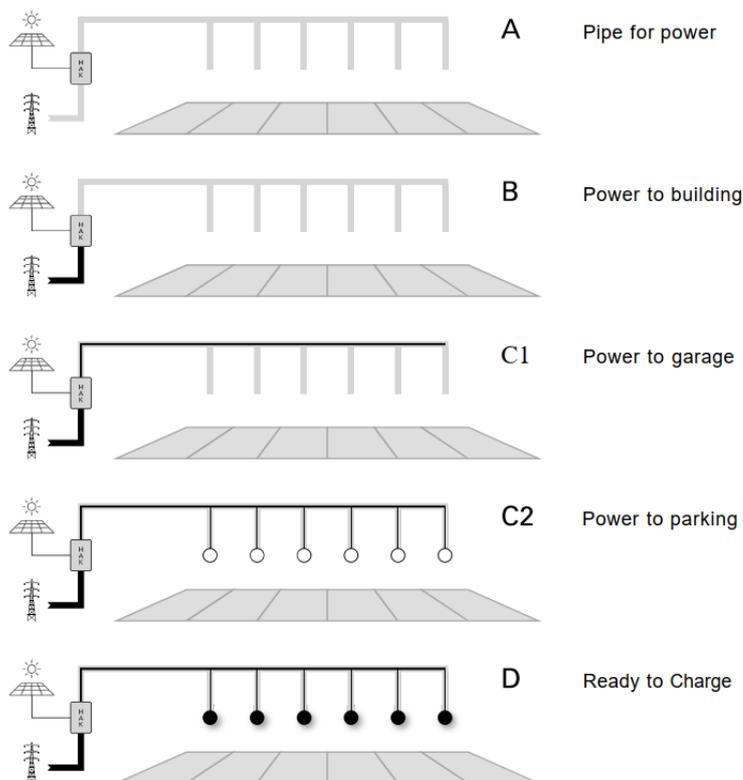


Abbildung 38: Ausbaustufen für die Ladeinfrastruktur (SIA, 2020).

Für die Planerfolgsrechnung nehmen wir eine Amortisationsdauer von 50 Jahren für die Netzerschliessung und Basisinfrastruktur (Investitionskosten der Stadt) und eine Amortisationsdauer von zehn Jahren für die Ladestation (Investitionskosten der Betreiber) an.

Annahmen

Die Ergebnisse wurden pro Ladepunkt und insgesamt berechnet. Für die Gesamtberechnung wird die Realisierung von 235 11 kW-Äquivalenten Ladepunkten angenommen (siehe Kapitel und 8.1 und Tabelle 8). In diesem

Kapitel wird zur leichteren Lesbarkeit von *Ladepunkten* anstatt von *11 kW-Äquivalenten* gesprochen.

Für die Planerfolgsrechnung wurden folgende Annahmen getroffen. Es ist anzumerken, dass dies durchschnittliche Werte sind. In Einzelfällen können sie variieren.

- Kalkulatorischer Zinssatz (WACC): 4 % für den Betreiber und 3 % für die Stadt. Der Bund hat den WACC für Stromnetze für das Jahr 2024 auf 4.13 % gesetzt. Die Stadt ist hingegen weniger gewinnorientiert. Ausserdem hat sie Zugang zu Krediten zu niedrigen Zinssätzen und somit niedrige Finanzierungskosten. Deshalb ist der WACC der Stadt tiefer.
- Investitionskosten: 3'590 CHF pro Ladepunkt für die Basisinfrastruktur und Netzerschliessung, sowie 3'837 CHF pro Ladepunkt für die Ladestation. Die Investitionskosten entsprechen den durchschnittlichen Kosten nach den technischen Vertiefungen (siehe Übersicht in Tabelle 8, sowie die beigelegten Steckbriefe für die Ladestandorte).
- Betriebskosten: 300 CHF pro Ladepunkt und pro Jahr. Jährlich nehmen diese wegen Effizienzsteigerungen um 1 % ab.

Die Annahmen für den Strompreis, Bezugstarife für Endkunden und jährliche bezogene Energiemengen pro Ladepunkt sind für die Jahre 2026, 2033 und ab 2040 in der Tabelle 11 abgebildet. Zwischen den Jahren werden sie linear interpoliert. Es ist nicht möglich, eine zuverlässige Vorhersage über den zukünftigen Strompreis zu machen. Wichtig für die Planerfolgsrechnung ist aber nicht der Strompreis, sondern der Unterschied zwischen Strompreis und Bezugstarifen für die Endkunden. Solange der Bezugstarif dem Strompreis angepasst wird (was einem normalen Marktverhalten entspricht), bleibt die Planerfolgsrechnung auch bei starken Variationen im Strompreis korrekt. Die Energiemenge pro Ladepunkt ist durch die Ergebnisse der Szenarien gegeben (siehe Kapitel 6.5).

	2026	2033	Ab 2040
Strompreis [CHF/kWh]	0.27	0.32	0.40
Bezugstarife Endkunde [CHF/kWh]	0.39	0.44	0.52
Jährliche Energiemenge pro Ladepunkt [kWh]	7'400	10'100	11'200

Tabelle 11: Annahmen für die Planerfolgsrechnung für Strompreis, Bezugstarife Endkunde und jährliche bezogene Energiemenge pro Ladepunkt

Die Ladetarife sind sehr unterschiedlich und hängen von Anbieter, Abonnement, Standort, Leistung usw. ab. Ausserdem gibt es je nach Anbieter nicht nur eine verbrauchsbasierte Abrechnung, sondern auch andere Preiskomponenten, wie Startgebühr oder Zeittarife. Als Vergleich sind hier einige aktuelle Ladetarife für AC laden (bis 22 kW) gelistet (Quelle: Webseite der jeweiligen Betreiber):

- Ewl Ladestationen City-Parking, Business Village, Rösslimatt: 39 Rp/kWh
- Ewl Ladestationen Fruttstrasse 8, Industriestrasse 6, Bundesstrasse 16, Parkhaus Altstadt: 53 Rp/kWh

- Ewl Ladestationen Verkehrshaus: 39 /kWh und 9 Rp pro Minute
- Swisscharge Parkhaus Löwencentre und Parkhaus National: 65 Rp/kWh
- Bahnhofparking: 45 Rp/kWh
- Hornbach Littau: 69 Rp/kWh und 1 CHF pro Ladevorgang
- CKW Ladestation Allmend Messe: 45 Rp/kWh
- Migros (Migrol M-Charge Ladenetz): 38 Rp/kWh

Aus dem Vergleich mit heutigen Ladetarifen ist es ersichtlich, dass die für die Planerfolgsrechnung angenommenen Tarife für den Endkunden attraktiv sind.

Investitionsszenarien

Die oben ausgelegten Annahmen beziehen sich auf das Referenzinvestitionsszenario. Die Ergebnisse wurden auch für zwei weitere Szenarien berechnet: Für ein optimistisches und ein pessimistisches Investitionsszenario. Alle Annahmen, ausser die jährliche Energiemenge und Realisierungskosten, bleiben gleich.

- Optimistisches Investitionsszenario: Jährliche Energiemenge 15 % höher, Realisierungskosten 15 % tiefer.
- Pessimistisches Investitionsszenario: Jährliche Energiemenge 15 % tiefer, Realisierungskosten 15 % höher.

Ergebnisse

Mit den oben festgelegten Annahmen hat die Planerfolgsrechnung noch drei Freiheitsgrade: Pauschale Konzessionsgebühr pro Ladepunkt, Konzessionszuschlag pro bezogener kWh und Investitionsszenario. Durch die Variation dieser Freiheitsgrade können unendliche Planerfolgsrechnungen generiert werden. Im Bericht sind die Ergebnisse für drei Kombinationen dokumentiert.

In Absprache mit der Projektsteuerung, sind die pauschale Konzessionsgebühr und der Konzessionszuschlag so gewählt, dass die Stadt einen leicht positiven Kapitalwert im Referenzfall erreicht, einen leicht negativen Kapitalwert im pessimistischen Fall aufweist und die Bezugstarife für den Endkunden attraktiv sind. Ausserdem muss der Betreiber einen Gewinn erzielen.

Die detaillierte Planerfolgsrechnung ist diesem Bericht als Excel beigelegt.

Umsetzungsvariante 1: Pauschale Konzessionsgebühr

Die Ergebnisse der Planerfolgsrechnung sind in der folgenden Tabelle aufgeführt. Es wird eine pauschale Konzessionsgebühr von 170 CHF pro Ladepunkt und pro Jahr angenommen.

	Referenz		Optimistisch		Pessimistisch	
	NPV [CHF]	PI	NPV [CHF]	PI	NPV [CHF]	PI
Stadt	70'920	1.08	155'428	1.22	-13'587	0.99
Betreiber	978'325	1.65	1'807'561	2.41	149'089	1.09

Tabelle 12: Planerfolgsrechnung für drei Investitionsszenarien, wenn die Standortmiete 170 CHF pro Parkplatz, pro Ladepunkt und Jahr beträgt.

Umsetzungsvariante 2: Konzessionszuschlag pro kWh

Die Ergebnisse der Planerfolgsrechnung sind in der folgenden Tabelle aufgeführt. Es wird ein Konzessionszuschlag von 2 Rp/kWh erhoben.

	Referenz		Optimistisch		Pessimistisch	
	NPV [CHF]	PI	NPV [CHF]	PI	NPV [CHF]	PI
Stadt	170'324	1.20	364'889	1.51	-24'240	0.98
Betreiber	891'643	1.59	1'620'444	2.26	162'842	1.09

Tabelle 13: Planerfolgsrechnung für drei Investitionsszenarien, wenn ein Konzessionszuschlag von 2 Rp/kWh erhoben wird.

Umsetzungsvariante 3: Konzessionszuschlag und pauschale Konzessionsgebühr

Die Ergebnisse der Planerfolgsrechnung sind der folgenden Tabelle aufgeführt. Es wird eine Standortmiete von 80 CHF pro Ladepunkt und pro Jahr angenommen und ein Konzessionszuschlag von 1 Rp/kWh erhoben.

	Referenz		Optimistisch		Pessimistisch	
	NPV [CHF]	PI	NPV [CHF]	PI	NPV [CHF]	PI
Stadt	101'966	1.12	241'502	1.34	-37'570	0.96
Betreiber	952'128	1.63	1'731'146	2.35	173'109	1.10

Tabelle 14: Planerfolgsrechnung für drei Investitionsszenarien, wenn die pauschale Konzessionsgebühr 80 CHF pro Ladepunkt und pro Jahr beträgt und ein Konzessionszuschlag von 1 Rp/kWh erhoben wird.

8.3 Ausschreibung und Konzessionierung Ladestandorte (E3)

Nachdem die Standorte für den Ausbau der öffentlich zugänglichen Ladestationen (E1) und das Betreibermodell mitsamt Tarifierung (E2) definiert wurden, können die Standorte ausgeschrieben werden.

Die Stadt finanziert die Basisinfrastruktur. Die Tiefbauarbeiten werden teilweise durch CKW und ewl übernommen und teilweise in Auftrag gegeben. Wie im Kapitel 8.2 erklärt, werden die Investitionen in die Ladeinfrastruktur sowie die laufenden Aufwände des Ladegeschäfts hingegen von privaten AnbieterInnen übernommen.

Die Aufteilung der Investitionen zwischen Stadt Luzern und privater Betreiber entspricht der jeweiligen Lebensdauer der realisierten Bauten. Die Stadt Luzern kann über einen längeren Zeithorizont investieren, während die Betreiber früher den Break Even Point erreichen wollen. Der Grund dafür ist, dass eine Basisinfrastruktur eine Lebensdauer von etwa 50 Jahren hat, während die Ladeinfrastruktur erwartungsgemäss nach 8-12 Jahren ersetzt werden muss (siehe Tabelle 10).

Für die Ausschreibung muss die Stadt die Eckpunkte der Geschäftsbeziehung definieren. Um den Wettbewerb sicherzustellen und die Ausschreibung nicht übermässig kompliziert zu machen, sollen möglichst wenige Anforderungen gestellt werden. Jedoch müssen folgende Punkte geklärt werden:

- **Vorgaben zum Ladekonzept:** Es ist sinnvoll, wenn die Stadt Luzern bereits in den Ausschreibungsunterlagen Vorgaben zu den Ladeleistungen der Stationen je Standort festlegt. Diese können aus E1 übernommen werden.
- **Dauer der Konzession:** Wie oben erwähnt ist hier eine Dauer von acht bis zwölf Jahren, sprich die ungefähre Lebensdauer von Ladestationen, sinnvoll.
- **Auswahl des Refinanzierungstools:** Um ihr Refinanzierungsziel einer schwarzen Null bzw., eines leichten Verlusts zu erreichen, muss die Stadt Luzern entweder eine pauschale Konzessionsgebühr oder einen Konzessionszuschlag pro kWh erheben. Die Planerfolgsrechnung im Kapitel 8.2.2 dient als Entscheidungsgrundlage. Die Höhe der Konzession kann auch als Zuschlagskriterium in der Ausschreibung integriert werden.
- **Umfang der ausgeschriebenen Arbeitsschritte:** Die Stadt kann entweder alle Schritte (Installation Ladeinfrastruktur und Wartung, Abrechnung, Kundenverwaltung und Kundendienst) an einen Betreiber vergeben oder die Schritte einzeln ausschreiben. Grundsätzlich wird empfohlen, möglichst viele Schritte im Bündel auszuschreiben, um Verwaltungsaufwand und Verzögerungen beim Aufbau und bei der Inbetriebnahme zu minimieren. Es besteht auch die Möglichkeit, dass zu leicht verschiedenen Betreibermodellen (z.B. inkl./exkl. technischer Support) Offerten eingefordert werden, um den Handlungsspielraum der Stadt Luzern zu erhöhen und die Effekte auf die Kosten zu quantifizieren. Mit der Bestimmung der Tarife kann die Stadt Luzern entscheiden, wie viel Risiko sie übernehmen will. Ein höheres Risiko entspricht einer höheren Partizipation am Erfolg des Ladegeschäfts (Konzessionsgebühren pro kWh statt pauschal pro Parkplatz)
- **Standortanzahl je Ausschreibung:** Es können alle Standorte zusammen in einem Paket ausgeschrieben werden oder jeder Standort einzeln. Auch hier empfiehlt es sich, möglichst grosse Bündel zu schnüren, um den Aufwand für die Stadt Luzern möglichst gering zu halten. Ausserdem kann durch durchmischte Pakete mit mehr und weniger lukrativen Standorten erreicht werden, dass Betreiber nicht nur bei Ersteren eingeben und dadurch der Aufbau eines flächendeckenden Ladenetzes gefährdet ist.
- **Eignungs- und Zuschlagskriterien:** Ewl und CKW versorgen die Kunden in der Stadt bereits mit 100 % erneuerbarem Strom. Wenn aber der Betreiber Strom aus dem freien Markt beziehen darf, dann könnte er das Stromprodukt selbst auswählen. Die Stadt soll deshalb verlangen, dass der gelieferte Strom in der Ladestation 100 % erneuerbar ist. Im Energie-reglement (Stadt Luzern, 2023, Art. 4) verpflichtet sich nämlich die Stadt *spätestens ab dem Jahr 2045 keine Atomenergie mehr zu beziehen*. Ein leistungsfähiges Lastmanagement, Qualität des Kundendienstes, Referenzen, usw. können hingegen sinnvolle Zuschlagskriterien sein.

Allgemein zugängliche Ladestationen haben die höchsten Anforderungen an das Abrechnungs- und Betriebssystem. Es muss grundsätzlich für alle E-MobilistInnen möglich sein, an der Ladestation diskriminierungsfrei zu laden und die Kosten vor Ort zu begleichen. Zudem sollte es möglich sein, sich mit

einer zusätzlichen Park- oder Ladekarte zu identifizieren und zu einem anderen Ladetarif zu laden (z.B. für andere Abonnementtypen). Im Optimalfall können dann die Kosten mit einem vordefinierten und automatisierten Zahlungsmittel beglichen oder gesammelt und z.B. monatlich per Rechnung bezahlt werden.

Auf Basis dieser Punkte wird ein Pflichtenheft erstellt und Betreiber werden eingeladen, eine Offerte einzureichen. Die Offerten werden rechtlich geprüft und beurteilt. Wenn nötig werden die besten Offerten zu einer Offertpräsentation eingeladen.

Der am besten geeignete Betreiber wird (bzw. die am besten geeigneten Betreiber werden) ausgewählt. Nach dem Zuschlag können Diskussionen über die Details und die Zusammenarbeit stattfinden.

Für eine Begleitung beim Ausschreibungsprozess kann ein externes Planungsbüro herangezogen werden.

8.4 Realisierung Basisinfrastruktur (E4)

Für die Realisierung der Basisinfrastruktur kann sich die Stadt Luzern an den Erkenntnissen aus der technischen Vertiefung der Standorte (E1, siehe Kapitel 8.1 und beigelegte Steckbriefe) orientieren.

Die Planung und Umsetzung mit ewl bzw. CKW sollte in Etappen mit anderen Infrastrukturausbauten (z.B. Wasser- oder Elektrizitätsleitung) koordiniert werden. Ein Rahmenkredit könnte hier sinnvoll sein.

Gemäss der angestrebten subsidiären Rolle wird die Stadt Luzern erst konkret aktiv, sobald ein Anbieter den Zuschlag für den entsprechenden Standort bzw. das entsprechende Standortpaket erhalten hat. Jedoch wird bei den Standorten in der Tabelle 8 empfohlen, mindestens die Prädisposition (Rohr für Kabel) im Fall von Strassen- oder Parkplatzsanierungen vorzusehen, um doppelte Grabarbeiten zu vermeiden.

Für die Realisierung kann ein externes Planungsbüro beigezogen werden.

9. Förderungen

Die Stadt Luzern hat sich in der Vergangenheit dagegen ausgesprochen, batterieelektrische Fahrzeuge bzw. Fahrzeuge mit alternativen Antrieben finanziell zu fördern. Sie will jedoch Anreize für Private schaffen, auf die batterieelektrische Antriebsform umzusteigen. Entsprechend möchte sie ein Förderprogramm für Ladeinfrastruktur ins Leben rufen und interessierten Privatpersonen beratend zur Seite stehen.

9.1 Förderprogramm Ladeinfrastruktur (E5)

Die Stadt Luzern plant, ein Förderprogramm für die Errichtung der Ladeinfrastruktur aufzubauen, welches aus dem Energiefonds finanziert werden soll.

Wie im Kapitel 6.4 erklärt, besitzt nur eine Minderheit der Bevölkerung eine Wohnung im Eigentum. Der Rest verfügt daher nicht über eine vollständige Kontrolle der eigenen Wohnliegenschaft, was den Aufbau der Ladeinfrastruktur in Mehrparteiengebäuden behindert. Die Verfügbarkeit von Ladeinfrastruktur ist aber eine entscheidende Voraussetzung für den Kauf eines Steckerfahrzeugs (TCS, 2023, EBP, 2021).

Ein Förderprogramm für Ladeinfrastruktur kann besonders in Mehrparteiengebäuden eine grosse Wirkung haben, da es das Mieter-VermieterInnen Dilemma erleichtert. Aktuell ist die Kostenteilung/ -übernahme des Ladeinfrastrukturaufbaus in solchen Fällen ein grosser Streitpunkt, der die Installation oftmals verhindert. Aber auch im Mietverhältnis ohne weitere Parteien kann es schwer sein, die HauseigentümerInnen von der Installation der nötigen Ladeinfrastruktur zu überzeugen, da auch hier die Kostenübernahme eine wichtige Rolle spielt. Der kritische Faktor betrifft vor allem die Basisinfrastruktur, weil diese Kosten vollständig zwischen allen Parteien aufgeteilt werden. Ausserdem kann Widerstand gegen diese Investitionen entstehen, weil für gewisse Nutzende die Kosten lange vor der Beschaffung des Fahrzeugs entstehen.

Förderprogramm Kanton Luzern

Der Kanton Luzern hat bereits ein Förderprogramm Ladeinfrastruktur. Er fördert die Erstellung der Basisinfrastruktur in bestehenden Mehrparteiengebäuden (mindestens drei Wohneinheiten) mit einem Betrag von 400 CHF pro Parkplatz.

Der Kanton hat dafür 1'914'000 CHF im Budget 2023 vorgesehen. Es ist wahrscheinlich, dass der Betrag überzogen wird. Auch in den ersten beiden Jahren war das Budget immer ausgeschöpft und der Kanton musste immer zusätzliche Mittel dafür aussprechen. Die Förderbedingungen sind aus diesem Grund zunehmend restriktiver geworden.

Das Förderprogramm der Stadt Luzern wäre mit dem kantonalen Förderprogramm kompatibel und nicht entgegenwirkend. Das städtische Förderprogramm ergänzt das kantonale Förderprogramm.

Förderprogramm in anderen Städten

In anderen schweizerischen Städten erhalten Einwohner bereits eine Förderung für die Ladeinfrastruktur.

In der Stadt Zürich gibt es sowohl ein kantonales Förderprogramm (500 CHF pro Parkplatz für die Basisinfrastruktur) als auch ein kommunales Förderprogramm (1'250 CHF pro Parkplatz für Basisinfrastruktur und Ladestation). Bei Neubauten wird nur die Ladestation gefördert.

Der Kanton Basel-Stadt hat zur Finanzierung von 200 öffentlich zugänglichen Ladestationen auf Allmend im Jahr 2021 ein bedingt rückzahlbares, zinsloses Darlehen an die IWB Industrielle Werke Basel in der Höhe von 11.4 Mio. Franken gesprochen. Ein Teil dieser 200 Ladestationen ist inzwischen in Betrieb, weitere folgen in den nächsten Jahren. Zudem möchte der Kanton Basel-Stadt zusätzlich die Ladeinfrastruktur in Parkhäusern und Parkierungsanlagen fördern. Konkret soll die Grundinstallation für das Laden von Elektrofahrzeugen in öffentlich zugänglichen Parkhäusern und in privaten Parkierungsanlagen finanziell unterstützt werden. Zur langfristigen Refinanzierung des Förderprogramms soll auf den bezogenen Strom an geförderten Ladesäulen ein Zuschlag von 2 bis 3 Rp/kWh erhoben werden, damit die Förderung nicht über Steuergelder finanziert wird. Für die Fördernehmer (natürliche oder juristische Personen) sollen 60 % der Kosten für die Basisinfrastruktur gefördert werden. Der maximale Förderbetrag ist bei öffentlich zugänglichen Parkhäusern auf 3'500 CHF und in privaten Einstellhallen auf 1'300 CHF begrenzt.

Auch die Stadt Bern und der Kanton Genf sowie kleinere Städte fördern die Realisierung von privater Ladeinfrastruktur. Die Beträge liegen zwischen 300 und 1'000 CHF pro Parkplatz. Die Stadt St. Gallen fördert die Ladeinfrastruktur mit 100 CHF pro installiertem kW.

Eckpunkte für ein Förderprogramm der Stadt Luzern

Hierfür wurden im Rahmen der Sitzungen mit Kern- und Begleitgruppe sowie Projektsteuerung eine Reihe von Punkten geklärt.

— Förderobjekt

Mögliche Förderobjekte wären die Basisinfrastruktur und/oder die Ladeinfrastruktur. Wir empfehlen, nur die Errichtung von Basisinfrastruktur zu fördern. Diese hat eine lange Lebensdauer und ist deswegen ein langfristiges Investment. Wie oben erklärt, kann man bei der Basisinfrastruktur die grösste Wirkung erzielen.

— Berücksichtigte Parkplätze

Es ist möglich, die Förderung nur für bestimmte Gebäudetypen (Ein- oder Mehrfamilienhaus, nicht-Wohnbauten) oder Baujahre (Neubau, Altbau) anzubieten, oder aber alle Gebäude und Parkplätze miteinzubeziehen. Die Stadt Luzern hat den Anspruch ihren Handlungsspielraum komplett auszuschöpfen und sich ehrgeizig für das Ziel «Null energiebedingte Emissionen bis 2040» einzusetzen. Entsprechend wird empfohlen, die Förderung auf alle Parkplätze auf privatem Grund auszuweiten. Das betrifft auch Parkplätze, die an kein Gebäude gebunden sind.

— **Fördersubjekte**

Es stellte sich die Frage, ob die Stadt Luzern die Förderung nur für EinwohnerInnen aufsetzen will oder ob (auch) Gewerbetreibende und/oder ImmobilienbesitzerInnen von der Förderung profitieren können sollen. Hier empfiehlt sich, die Förderung für alle zu öffnen, um so den Ladeinfrastrukturaufbau in allen Bereichen zu unterstützen. Wie im Kapitel 6.4 gezeigt, benötigt die vollständige Dekarbonisierung des Verkehrs ein Mix von verschiedenen Ladeoptionen, die alle Bedürfnisse abdecken können.

— **Bedingungen**

Eine Förderung zu erhalten, kann an verschiedene Bedingungen geknüpft werden. In diesem Rahmen wurden u.a. Lastmanagement und Strom aus erneuerbaren Quellen diskutiert. Obwohl die gebundenen Kunden bereits heute 100 % ihres Stroms aus erneuerbaren Quellen beziehen, dürfen Grossverbraucher Strom aus dem freien Markt beziehen und das Produkt frei wählen. Letzteres ist aber für die Stadt Luzern nicht sinnvoll, da in der Stadt ohnehin 100 % des Stroms erneuerbar ist. Damit diese Förderung konsistent mit anderen städtischen Förderprogrammen ist, empfiehlt sich auch hier der Bezug von Strom aus erneuerbaren Quellen als Bedingung festzulegen. Ausserdem wird der Stadt empfohlen, die Förderung ab einem Aufbauumfang von zwei Ladepunkten an ein Lastmanagement zu knüpfen, sodass die an den Standorten verfügbaren Leistungen optimal ausgenutzt werden können. Weiter kann bei Liegenschaften mit eigener PV-Anlage die Bedingung gestellt werden, dass das Lademanagement die Koordination zwischen Ladestation und PV-Produktion gewährleistet sein muss, um den Eigenverbrauch zu optimieren.

— **Förderbetrag**

Da im Vorhinein unklar ist, wie viele Personen die Förderung in Anspruch nehmen werden, muss der maximale Förderbetrag je Antrag vorausschauend definiert werden. Es ist möglich, einen fixen Betrag pro Parkplatz, einen Prozentsatz der anrechenbaren Investitionskosten zu übernehmen, Beträge zu deckeln oder mit anderen Förderleistungen zu verrechnen. Die Stadt Luzern hat sich hier für eine leichtverständliche und dadurch gut kommunizierbare Zwischenlösung entschieden. Der Förderbetrag könnte aus einem Anteil der Investitionskosten von beispielsweise 40 % und einem Maximalbetrag von 800 CHF pro Parkplatz bestehen. Die Definition erfolgt durch die Energiefondsverwaltung.

— **Förderwürdige Zusätze**

Es wurde diskutiert, ob bei bestimmten zusätzlichen Funktionen (bidirektionales Laden) oder einer Erweiterung des Kreises der NutzerInnen (Private Ladeinfrastruktur wird auch der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt) zusätzliche Förderbeiträge in Anspruch genommen werden können. Es empfiehlt sich, den maximalen Förderbetrag für Ladepunkte auf privatem Grund, die aber öffentlich zugänglich sind, zu erhöhen. Die Förderung soll immer noch beispielsweise maximal 40 % der Investitionskosten betragen. Stützend auf den Vertiefungen über das bidirektionale Laden (siehe Kapitel 4), will die Stadt Luzern hingegen bidirektionale Ladestationen nicht zusätzlich fördern.

Da der Energiefonds keine stadteigenen Projekte fördern darf, dürfen die Ladepunkte fürs «Laden im Quartier» (siehe Kapitel 8.1) keine Förderung erhalten.

Die Abstimmung mit dem kantonalen Förderprogramm muss ebenfalls im Detail geklärt werden. Insbesondere soll geklärt werden, ob ein allfälliger kantonaler Betrag von der städtischen Förderung abgezogen werden soll.

Beispielfälle

Die Kosten für die Einrichtung der Ladeinfrastruktur variieren sehr stark von Fall zu Fall. Sie hängen von Faktoren wie Parkplatztyp, Abstand zur Stromerschliessung, maximale verfügbare Leistung am Hausanschlusskasten, Qualität des Lastmanagements, usw. ab. Sogar die Preise für die Ladestation selbst sind sehr unterschiedlich.

Hier sind ein paar praktische Beispiele beschrieben, um den Förderbetrag ins Verhältnis zu den Investitionskosten zu stellen.

Bei einem kleinen Projekt, bei dem beispielsweise eine private Einfamilienhausbesitzerin eine private Wallbox in der Garage mit bestehender Stromleitung errichten will, sind die Kosten für die Basisinfrastruktur sehr tief. Hier könnte die Wallbox ca. 900 CHF und die Installation + Kabel ca. 600 CHF kosten. Der Förderbeitrag würde bei 240 CHF liegen, da nur die Basisinfrastruktur gefördert wird.

Bei einem freistehenden Aussenparkplatz (etwa 10 m entfernt von der Stromleitung) sind die Kosten höher. Hier könnte die Basisinfrastruktur und Installation ca. 3'000 CHF kosten, zuzüglich 900 CHF für die Wallbox. Der Förderbetrag würde bei 800 CHF liegen.

Bei grösseren Projekten, wie der Elektrifizierung der zehn Flottenparkplätze in der Tiefgarage eines kleinen Gewerbes, wo eine Erhöhung der am Gebäude angeschlossenen Leistung notwendig ist, wären die Basisinfrastrukturkosten ca. 30'000 CHF. Unter Mitberechnung der Kosten für die 10 Ladepunkte, würden die Gesamtinvestitionskosten 40'000 CHF betragen. Der Förderbetrag würde hier bei 8'000 CHF liegen.

Diese drei Beispielfälle wären vom kantonalen Förderprogramm nicht abgedeckt.

Nächste Schritte

Die Förderung hätte bereits eine rechtliche Grundlage. Im Artikel 14 der Energieverordnung (Luzern, 2012) steht nämlich: Neue zukunftsgerichtete Technologien zur umweltschonenden Energiegewinnung oder -anwendung werden mit einem individuell festgelegten Beitrag gefördert.

Zuerst müssen die Förderkriterien auf Basis der obigen Empfehlungen definiert werden. Ausserdem müssen die operativen Prozesse geklärt werden. Dafür kann die bestehende Struktur der Förderprogramme des Energiefonds repliziert werden.

9.2 Beratungsangebot Elektromobilität (E6*)

Da die Stadt Luzern bereits ein Beratungsangebot für Elektromobilität ins Leben gerufen hat, wurde diese Massnahme im Rahmen dieses Gesamtkonzepts nicht weiter vertieft. Sie gehört dennoch zum Massnahmenplan zur Dekarbonisierung des Strassenverkehrs.

Die Stadt Luzern bietet eine Beratung für Fragen rund um das Thema Elektromobilität und Ladeinfrastruktur an. Die Beratung wird durch FachspezialistInnen durchgeführt, darf maximal 3 Stunden dauern und die Kosten werden vollständig von der Stadt Luzern übernommen. Seit ihrer Inbetriebnahme im Jahr 2021 wurde die Beratungsstelle insbesondere in der Anfangsphase viel in Anspruch genommen. In den letzten Jahren hat es jedoch weniger Anfragen gegeben. Ein wichtiger Grund hierfür ist, dass viele Installationsbetriebe diesen Service nun auch anbieten und viel angefragt werden.

Die Stadt Luzern plant, das Beratungsangebot bis auf weiteres weiterzuführen.

10. Regulierungen

Die Kategorie Regulierungen besteht aus fünf Massnahmen. Eine weitere Massnahme wurde geprüft, schlussendlich aber verworfen. Die Stadt Luzern möchte klare Vorgaben schaffen, um die Mobilitätswende voranzutreiben und AnwohnerInnen und Gewerbetreibenden gleichzeitig Planungssicherheit zu geben. Dafür nutzt sie ihren Handlungsspielraum in Bereichen, die auf städtischer Ebene reguliert sind.

10.1 Vorgaben Basisinfrastruktur für Ladepunkte bei Neubau und Sanierungen (E7)

Gestützt auf die Klima- und Energiepolitik des Kantons Luzern wird das Planungs- und Baugesetz (PBG) des Kantons zurzeit teilrevidiert. Die parlamentarische Beratung erfolgt bis Sommer 2024 und die Revision wird voraussichtlich im Jahr 2025 in Kraft treten. Die derzeitige Fassung sieht vor, dass Wohngebäude mit mindestens sechs Wohnungen mit Basisinfrastruktur ausgerüstet werden müssen (§119a). Die Vorschriften betreffen Neubauten und bestehende Gebäude, wenn die Einstellhalle saniert oder die Elektrohauptverteilung ausgewechselt wird. Als Basisinfrastruktur ist die Ausbaustufe C1 gemäss SIA 2060 (SIA, 2020) gemeint (Power to garage, siehe Abbildung 38). Da sich die aktuelle Fassung an den Zielwerten des Merkblatts SIA 2060 ausrichtet, würde das bedeuten, dass 100 % der Parkplätze mit Ausbaustufe C1 auszurüsten sind.

Bei der Vernehmlassung hat die Stadt Luzern diesbezüglich bereits Stellung genommen. Sie will, dass die Pflicht für die Aufrüstung auf alle Parkplätze für Anwohnende und Mitarbeitende erweitert wird.

Falls diese Erweiterung in der finalen Fassung nicht integriert wird, kann voraussichtlich die Stadt Luzern strengere Vorschriften einführen. In der aktuellen Fassung des PBG ist nämlich auch vermerkt, dass Städte und Gemeinden strengere Regelungen erlassen können. Die Stadt Luzern möchte von dieser Regelung Gebrauch machen und weitergehende Vorgaben im Parkierungsreglement einführen. Konkret soll die Pflicht zum Basisinfrastrukturaufbau auf alle Gebäude erweitert werden, sprich auch auf Einfamilienhäuser und Parkplätze für Mitarbeitende von Gewerben.

2020 hatte der Grosse Stadtrat diese Vorschriften im neuen Parkplatzreglement eingeführt. Aufgrund des erfolgreichen Referendums gegen das Parkplatzreglement ist aber diese Bestimmung nicht in Kraft getreten. Diese Bestimmung war jedoch unbestritten.

Aktuell bearbeitet die Stadt Luzern eine neue Version des Parkplatzreglements und sie beabsichtigt, die Vorschriften über Ladeinfrastrukturpflicht bei Neubauten und Sanierungen aufzunehmen. Im Rahmen der Erarbeitung dieses Konzeptes erfolgte ein Abgleich zur aktuellen Bearbeitung des Parkplatzreglements. Dabei lag das Augenmerk auf folgenden zwei Punkten:

— Elektrifizierungsquote bei Parkplätzen für Beschäftigte: Es wird empfohlen bei Parkplätzen für AnwohnerInnen ein maximaler Ausbaugrad

(100 %) in der Ausbaustufe C1 zu fordern, dafür bei Parkplätzen für Beschäftigte ein geringerer Ausbaugrad (20 %) in der Ausbaustufe C2.

- Integration PV und bidirektionales Laden: Grundsätzlich wäre es natürlich optimal zur Integration des Solarstroms, wenn tagsüber möglichst viele Steckerfahrzeuge laden und auch zur Ausnutzung des V2G-Potenzials, müssen möglichst viele E-Fahrzeuge ständig mit dem Stromnetz verbunden sein (also an Ladepunkten eingesteckt). Um das zu erreichen, müssten eben möglichst viele/alle Parkplätze ausgerüstet werden. Fraglich ist, ob das im Parkplatzreglement gefordert werden soll. Fraglich ist zudem, ob diese Mehrinvestitionen tatsächlich notwendig sind für das zukünftige Stromsystem, oder ob es nicht günstigere Varianten gibt (siehe Kapitel 4 «bidirektionales Laden»). Es wird daher empfohlen entweder die Ausbaustufe C1 für einen hohen Prozentsatz der Parkplätze zu fordern oder C2 für einen tiefen (20 %) Prozentsatz der Parkplätze.

10.2 Erhöhung Preise bzw. Nichtausstellung von Dauerparkkarten auf öffentlichem Grund für Verbrennungsfahrzeuge (E8, E9)

Im Jahr 2022 wurden 2'146 Jahresparkkarten und 7'400 Monatsparkkarten bezogen. Gemäss Art. 9 des Parkkartenreglements (Stadt Luzern, 2021b) können AnwohnerInnen in den Zonen A bis U Parkkarten beziehen, wenn ihnen in der Liegenschaft kein privater Parkplatz zur Verfügung steht. Ausserdem dürfen Handwerks- und Serviceleute Parkkarten beziehen.

Die Stadt Luzern möchte das Parken auf öffentlichem Grund für Verbrennungsfahrzeuge erschweren, um den Umstieg auf alternative Antriebe voranzutreiben. Konkret geht es um einen zweistufigen Prozess, bei dem die Parkkarten für Verbrennungsfahrzeuge im Vergleich zu emissionsfreien Fahrzeugen zunächst nur teurer werden sollen (E8). Zu einem späteren Zeitpunkt sollen dann keine Parkkarten mehr für den öffentlichen Grund an FahrzeughalterInnen mit Verbrennungsfahrzeugen verkauft werden (E9).

Diese Massnahmen stützen auf Artikel 5 (Absenkpfade) des Energiereglements der Stadt Luzern (Stadt Luzern, 2023). Wie im Kapitel 1 geschrieben, schreibt Artikel 5 vor, dass bis 2040 alle in der Stadt Luzern immatrikulierten Fahrzeuge emissionsfrei sein müssen.

In der Schweiz gibt es bereits Präzedenzfälle für eine Differenzierung nach Antriebstechnologie für die Bestimmung der Gebühren. Die Stadt Bern hat im Juni 2023 nach einer Volksabstimmung eine Revision des Gebührenreglements eingeführt. Das neue Reglement erhöht die Parkkartengebühren und führt eine Differenzierung im Preis nach Antriebstechnologie ein. Hier bezahlen emissionsfreie Fahrzeuge und Biogasfahrzeuge 22 % tiefere Gebühren.

Die Taxiverordnung in Zürich und der entsprechende Bundesgerichtsscheid 2C_804/2010 vom 17. Mai 2011 dient hier ebenfalls als Präzedenzfall. Die Verordnung sieht eine Reduktion der Taxigebühren für Fahrzeuge der Effizienzklasse A und eine zusätzliche Reduktion für Steckerfahrzeuge vor. Das Bundesgericht hat die Beschwerde gegen die Taxiverordnung abgewiesen und die Verordnung als zulässig deklariert.

Wie wichtig insbesondere bei diesen zwei Massnahmen die frühzeitige Kommunikation ist, wurde während den Treffen der beteiligten Gremien der Stadt Luzern mehrmals unterstrichen. Es soll unbedingt möglich sein, dass AnwohnerInnen und Gewerbetreibende vorausschauend ihren nächsten regulären Fahrzeugersatz planen können und nicht kurzfristig neue Verbrennungsfahrzeuge abstossen. Auf der anderen Seite möchte die Stadt Luzern die weiche Stellschraube (E8) so früh wie möglich stellen, um die Mobilitätswende voranzutreiben.

Die Massnahme E8 (Erhöhung Parkkartenpreise für Verbrennungsfahrzeuge) kann ab 2030 eingeführt werden. Die Massnahme E9 (Parkkarten nur für emissionsfreie Fahrzeuge) kann im Jahr 2040 eingeführt werden.

Für die Umsetzung der Massnahme E8 muss das Parkkartenreglement Art. 10 (Gebühr) angepasst werden. Für die Umsetzung der Massnahme E9 müssen die Artikel 8 und 9 (Bezugsbedingungen) geändert werden.

Die Begleitgruppe und Projektsteuerung haben eine alternative Version der Massnahme E8 besprochen, bei der die Preise für emissionsfreie Fahrzeuge gesenkt werden sollen (Bonus). Die Version «teurere Parkkarten für Verbrennungsfahrzeuge» wurde aber bevorzugt. Erstens erlauben höhere Preise eine bessere Internalisierung der Kosten. Zweitens hat gemäss Prospect Theory, ein Malus mehr Wirkung auf das Fahrerverhalten als eine Belohnung. Drittens würde eine Senkung der Parkkartengebühren in Widerspruch mit der Verkehrspolitik der Stadt Luzern stehen, die vorsieht die Attraktivität des motorisierten Individualverkehrs zu reduzieren.

10.3 Taxibewilligungen nur für emissionsfreie Fahrzeuge (E10)

In der Stadt Luzern gibt es drei verschiedene Modelle für das Taxigeschäft:

- Fahrzeuge mit Taxibetriebsbewilligungen. Die Betriebsbewilligungen werden öffentlich ausgeschrieben. Sowohl natürliche als auch juristische Personen können eine Betriebsbewilligung erhalten. Pro Ausschreibungsperiode werden etwa 100 Taxibetriebsbewilligungen vergeben. Die aktuelle Periode läuft bis 2028, danach werden die Betriebsbewilligungen neu ausgeschrieben. Die Taxibetriebsbewilligung erlaubt die Benützung der Taxistandplätze in der Stadt Luzern und kostet jährlich 2'000 CHF (1'000 CHF ohne Standplatz vor Bahnhofportal).
- Fahrzeuge mit Qualitätsgütesiegel und Taxilampe. Wer keine Betriebsbewilligung erhalten hat, aber über die Taxiprüfung verfügt, darf eine Luzerner Taxikennlampe mit Qualitätsgütesiegel erwerben.
- Unregulierte Taxis (wilde Taxis)

Bei der letzten Ausschreibung für die Periode 2024 bis 2028 haben Fahrzeuge mit Effizienzklasse A bei einem Zuschlagskriterium die volle Punktzahl erhalten. Die Begründung dieser Massnahme ist ähnlich wie für die Massnahmen E8 und E9 (siehe Kapitel 10.2).

Die Massnahme E10 sieht vor, dass ab der nächsten Ausschreibung nur noch emissionsfreie Fahrzeuge eine Taxibetriebsbewilligung erhalten. Auch diese Massnahme muss frühzeitig kommuniziert werden. Da die Taxifahrzeuge eine höhere Kilometerleistung haben und konsequenterweise eine

kürzere Lebensdauer, kann diese Massnahme bereits im Jahr 2029 in Kraft treten.

Bei der nächsten Ausschreibung muss ausserdem der Bedarf an Ladeinfrastruktur beurteilt werden. Der Strom und die Kosten der Ladeinfrastruktur müssen durch die TaxifahrerInnen nach Verursacherprinzip finanziert werden. Jedoch soll die Stadt Luzern beurteilen, ob der Ladebedarf der Taxis abgedeckt wird, entweder durch das allgemein zugängliche Ladenetz oder durch Ladeinfrastruktur, die nur für die Taxis vorgesehen ist. Falls die bis dahin entstandene Ladeinfrastruktur für die E-Taxis nicht geeignet oder nicht ausreichend ist, soll die Stadt eine Unterstützung der Realisierung von Ladepunkten für die E-Taxis gemeinsam mit den betroffenen Akteuren prüfen.

Die Begleitgruppe hat auch weitere mögliche Massnahmen betreffend Taxis diskutiert, die aber im Massnahmenplan nicht enthalten sind.

Die Taxikommission hat bereits eine Erhöhung der Standplätze beantragt. Schliesslich wäre es denkbar, idealerweise auf kantonaler Ebene, die wilden Taxis zu regulieren, damit alle dieselben Vorschriften respektieren müssen.

10.4 Fahrverbot für Verbrennungsfahrzeuge

Als einschneidende Massnahme wurde rechtlich ein allgemeines Fahr- oder Parkierungsverbot in Parkhäusern für Verbrennungsfahrzeuge geprüft.

Ausgangslage

In diesem Zusammenhang gilt es die Diskussion rund um die Einführung von Umweltzonen zu berücksichtigen. Mit der Einführung von Umweltzonen sollen die Kantone und die Gemeinden die Möglichkeit erhalten, den Betrieb von Fahrzeugen mit hohem Schadstoffausstoss innerhalb bestimmter Zonen entweder ständig oder in Zeiten hoher Luftbelastung zu verbieten. Auf Bundesebene gibt es dazu zahlreiche politische Vorstösse (letztmals Motion 23.3395 Clivaz «Schaffung der gesetzlichen Grundlagen für die Einführung von emissionsfreien Zonen durch die Gemeinden und Kantone vom 17. März 2023»). Der Bundesrat erachtete ein Rechtssetzungsprojekt als nicht zielführend.

Trotz fehlender Rechtsgrundlage auf Stufe Bundesrecht führte der Kanton Genf ein temporäres Fahrverbot für Dieselaautos mit hohem Schadstoffausstoss bei schlechter Luftqualität ein. Dieses Fahrverbot wirkt nur temporär und kommt nur bei Spitzen zur Anwendung. Das Obergericht Genf stützte einerseits den vorinstanzlichen Entscheid. Andererseits lockerte es die Modalitäten.

Der Kanton Tessin hat 2017 auch eine ähnliche Regel eingeführt. Wenn die Luftqualität über einen bestimmten Schwellenwert steigt, dürfen Euro 3 Diesel, oder schlechter, temporär nicht mehr fahren.

Rechtliche Beurteilung

Vorweg können aus dem vorgenannten Urteil keine abschliessenden Schlussfolgerungen gezogen werden.

Der Erlass eines Fahrverbots für Motorfahrzeuge mit Verbrennungsmotor und die Verwendung von Umweltzonen sind derzeit grundsätzlich unzulässig, da beide Massnahmen gegen das Verbot der Schaffung neuer Verkehrskategorien verstossen würden. Weder Steckerfahrzeuge noch Motorfahrzeuge, die eine besonders hohe oder schlechte Umweltverträglichkeit aufweisen, sind in der Signalisationsverordnung vom 5. September 1979 (SSV; SR 741.21) definiert. In Art. 19 SSV, welcher das Teilfahrverbot zum Gegenstand hat, fehlt eine entsprechende Differenzierung. Wenn das Bundesrecht entsprechende Signale nicht vorsieht, dürfen sie nicht über Zusatztafeln (Art. 17 SSV) eingeführt werden. Ansonsten wird ein einheitliches Verkehrsregime in Frage gestellt. Im Übrigen sind auch in Art. 65 SSV, welcher die Zusatztafeln zum Gegenstand hat, keine näheren Ausführungen zu finden (siehe zum Ganzen Christoph J. Rohner, Erlass und Anfechtung von lokalen Verkehrsanordnungen, Zürich /St. Gallen, 2012, S. 99, 101-104, 125 f.).

Schlussfolgerung

Die heutige Rechtslage erlaubt die Einführung eines Fahrverbots für Motorfahrzeuge mit Verbrennungsmotor nicht. Die rechtliche Grundlage fehlt ebenfalls für eine Bevorzugung von emissionsfreien Fahrzeugen in Parkhäusern.

Ausserdem wäre die politische Akzeptanz fraglich und die Belastung für EinwohnerInnen und BürgerInnen sehr hoch, weshalb die Massnahme durch die Kerngruppe verworfen wurde.

10.5 Zugangsbeschränkungen für Verbrennerfahrzeuge in Parkhäusern, von welchen die Stadt Beteiligungsquoten besitzt (E11)

Wie im Kapitel 10.4 gezeigt, wäre ein allgemeines Fahrverbot für Verbrennungsfahrzeuge unzulässig.

Die Stadt Luzern möchte aber trotzdem aktiv werden in diese Richtung. Sie sieht eine Möglichkeit, von ihrem Status als Minderheitsaktionärin bei drei Parkhäusern Gebrauch zu machen und in den entsprechenden Parkhäusern ab dem Jahr 2040 eine Zugangsbeschränkung für Verbrennungsfahrzeuge zu bewirken. Dies würde die Unterstützung durch andere Aktionärinnen, u.a. die Luzerner Pensionskasse, erfordern.

Gemäss der Beteiligungsstrategie 2023-2026 (Stadt Luzern, 2022) besitzt die Stadt folgende Beteiligungsquoten: Parkhaus Luzern-Zentrum AG (Parkhaus Altstadt) 49.9 %, Tiefgarage Bahnhofplatz AG 48.46 % und Parkhaus Casino-Palace AG 33.33 %.

Die Stadt soll hier eine Mehrheit in den jeweiligen Verwaltungsräten bilden und für die Einführung dieser Restriktion ab 2040 lobbyieren.

11. Vorbildrolle

Die Stadt möchte einige Massnahmen ergreifen, um bei den eigenen Liegenschaften und Fahrzeugen die Mobilitätswende voranzutreiben und den eigenen Mitarbeitenden den Umstieg zu erleichtern. So bleibt sie glaubwürdig in ihren Bemühungen um null Treibhausgasemissionen aus dem Verkehrsbereich und nimmt eine Vorbildrolle ein. Die Vorbildrolle hat auch eine indirekte Wirkung auf die Dekarbonisierung des Strassenverkehrs.

11.1 Ladeinfrastruktur städtischer Liegenschaften für MitarbeiterInnen, BesucherInnen und AnwohnerInnen (E12)

Die Stadt Luzern möchte an ihren Liegenschaften Ladeinfrastruktur für MitarbeiterInnen, BesucherInnen und MieterInnen bereitstellen. Dazu gehören sowohl Liegenschaften im Verwaltungsvermögen wie auch Liegenschaften im Finanzvermögen der Stadt. An all diesen Orten hat die Stadt als Eigentümerin direkten Einfluss auf den Bau der Ladeinfrastruktur.

Ausserdem können MitarbeiterInnen das Fahrzeug tagsüber laden und somit den Einsatz von erneuerbarem Strom (vor allem PV-Strom) optimieren. Eine Kombination von Ladeinfrastruktur und PV-Anlage bei einer Liegenschaft ist wirtschaftlich und energetisch sinnvoll, weil dies den Eigenverbrauch verbessert.

Allerdings kann hier ein Zielkonflikt entstehen, da das Pendeln mit privatem Fahrzeug nicht zusätzlich durch die Bereitstellung einer Lademöglichkeit attraktiver werden soll.

Es ist anzumerken, dass MieterInnen grundsätzlich kein Recht auf Laden haben (Swiss e-Mobility, 2023).

Eine konkrete Dimensionierung der Ladeinfrastruktur bei jeder Liegenschaft geht über den Rahmen dieses Konzepts hinaus. Im vorliegenden Dokument sind deshalb allgemeine Richtlinien enthalten und ihre Anwendung exemplarisch für drei Liegenschaften dargestellt.

Betreibermodell

Durch die Nutzung durch BewohnerInnen, MitarbeiterInnen und BesucherInnen von städtischen Liegenschaften gibt es sehr unterschiedliche Nutzerbedürfnisse, die von klassischem Heimpladen und Laden am Arbeitsplatz bis zu POI-Laden reichen (vergleiche Kapitel 8.2.1). Die Anforderungen an den Betrieb sind damit je nach Standort sehr unterschiedlich. An vielen Standorten ist eine Mischnutzung möglich, aufgrund der Nutzerstruktur und der geographischen Lage. Während Betriebszeiten können diese Anlagen exklusiv von MitarbeiterInnen benutzt werden. Ausserhalb dieser Zeiten (über Nacht und am Wochenende) könnten diese Anlagen evtl. auch für die AnwohnerInnen aus dem Quartier oder von BesucherInnen verwendet werden. Diese Mischnutzung erzielt einen Mehrwert für unterschiedliche Nutzergruppen und kann eine wirtschaftlich attraktive Auslastung der Ladeinfrastruktur erzielen.

Im Kapitel 8.2 wurde ausführlich das Betreibermodell für allgemein zugängliche Ladeinfrastruktur beschrieben. Das empfohlene Betreibermodell für Ladestationen bei städtischen Liegenschaften ist ähnlich. Jedoch übernimmt die Stadt eine aktivere Rolle.

Wie für die allgemein zugängliche Ladeinfrastruktur, identifiziert die Stadt die Standorte und definiert die benötigte Anzahl Ladepunkte und gibt die Errichtung der Basisinfrastruktur in Auftrag.

In Abhängigkeit von den Nutzergruppen wird eine Diversifikation des Modells empfohlen. Für den Ladeinfrastrukturaufbau für BesucherInnen und Mitarbeitende empfiehlt es sich, dass die Stadt auch die Errichtung der Ladeinfrastruktur in Auftrag gibt und finanziert (Var A). Bei Ladeinfrastruktur, die für MieterInnen gedacht ist, ist es hingegen angemessen, dass die MieterInnen den Aufbau der Ladestation selber finanzieren (Var B).

Die Stadt Luzern will im Einzelfall entscheiden, für welche Liegenschaft welches Betreibermodell am geeignetsten ist. Die Rollenaufteilung ist in Tabelle 15 zusammengefasst.

	Koordination/ Standortfindung	Basisinfrastruktur und Netzerschliessung	Ladestation	Ladegeschäft (Betrieb)
Stadt	entscheidet	finanziert und gibt in Auftrag	Var A: finanziert	
Drittanbieter			Var B: installiert	betreibt
Mieter			Var B: finanziert und installiert	

Tabelle 15: Rollenaufteilung Ladeinfrastruktur städtischer Liegenschaften.

Bei fest vermieteten Parkplätzen an MieterInnen von städtischen Liegenschaften fungiert die Stadtverwaltung wie die Immobilienverwaltung von Mehrparteiengebäuden. Das bedeutet, dass sie entsprechend dem Ladebedürfnis den eigenen MieterInnen persönliche, nicht übertragbare Ladestationen für den Heimpladbedarf ermöglicht. Die Identifikation über eine persönliche Ladekarte oder ein Badge ist möglich. Wir empfehlen eine direkte Kundenbeziehung zwischen NutzerIn und Betreiber. Das Gleiche gilt für Liegenschaften, wo sich mehrere Gewerbetreibende die Parkplätze teilen.

Für die Deckung der Investitionskosten muss die Stadt Luzern die entsprechende Tarifgestaltung definieren, denn ein vollständiges Anlagencontracting lohnt sich selten. Bei Ladestationen von fest vermieteten Abstellplätzen empfehlen wir grundsätzlich, die Investitionskosten nicht über den Ladetarif, sondern über eine Erhöhung der Parkplatzmiete zu amortisieren. Erfahrungen zeigen, dass die Zusatzkosten pro Parkplatz üblicherweise rund 30-50 CHF pro Monat ausmachen. Ein Zusatz von 30 CHF pro Monat ergibt nach 10 Jahren 3'600 CHF. Diese Summe deckt bei den meisten Fällen die Kosten der Ladestation und der Basisinfrastruktur.

Für die Abrechnung und den Kundensupport sucht die Stadt einen privaten Anbieter. Die Betriebskosten (Abrechnung, Steuerung, Betrieb, Kundensup-

port, Datenexport, usw.) sind zwischen 0 und 15 Franken pro Monat pro Ladepunkt (Swiss e-Mobility 2023). Wenn die Investitionen der Stadt Luzern über eine Erhöhung der Parkplatzmiete abgedeckt sind, dann decken die Kundentarife die Betriebskosten des privaten Anbieters und die Stromkosten.

Die Berechnungsmethode für die Mietzinserhöhung, sowie einige rechtliche Aspekte für Ladeinfrastruktur von Mietobjekten, sind ausführlich im Leitfaden Ladeinfrastruktur in Mietobjekten beschrieben (Swiss e-Mobility, 2023).

Die Tabelle 16 gibt eine Übersicht über die Refinanzierung der Investitions- und Betriebskosten der Stadt für den Aufbau und Betrieb der Ladeinfrastruktur. Die Tabelle differenziert nach Ladeinfrastruktur für MitarbeiterInnen und Ladeinfrastruktur für MieterInnen von städtischen Liegenschaften.

Kosten	Ladeinfrastruktur MitarbeiterInnen und BesucherInnen	Ladeinfrastruktur MieterInnen Liegenschaften
Basisinfrastruktur	Zuschlag Kundentarif oder von der Stadt übernommen	Erhöhung Parkplatzmiete
Ladestation		
Strom	Kundentarif	Kundentarif
Betriebskosten	Zuschlag Kundentarif (falls möglich, sonst zu Lasten der Stadt)	Monatlich pauschal (zu Lasten MieterInnen)

Tabelle 16: Refinanzierung der Investitions- und Betriebskosten der Stadt für den Aufbau und Betrieb der Ladeinfrastruktur.

Grundlagen für die Dimensionierung

Um den Bedarf an Ladeinfrastruktur zu schätzen, werden gemäss SIA 2060 (SIA, 2020) fünf Ausbaustufen differenziert (siehe Tabelle 10, Abbildung 38). Für den Investitionsbedarf in Ausbaustufe C berücksichtigt man den erwarteten Ladebedarf bei der Vollelektrifizierung (Jahr 2040 gemäss Zielszenarien für Luzern). Die Ausbaustufe C hat eine längere Lebensdauer als die Ausbaustufe D. Um Ressourcen zu sparen, ist es sinnvoll, die Bauarbeiten nur einmal durchzuführen. Das bedingt eine langfristige Sicht.

Für die Ausbaustufe D ist der Ladebedarf innerhalb der nächsten fünf Jahre relevant. Da der Ladebedarf rasch steigt (siehe Kapitel 6.5), wird so sichergestellt, dass die Ladeinfrastruktur auch für die Jahre nach der Installation bedarfsgerechnet ist. In dieser Analyse hat man den Ladeinfrastrukturbedarf für drei Stichjahre berechnet: 2025, 2030 und 2035.

Die Formel, um die Anzahl Ladepunkte N_L im Jahr J zu berechnen, lautet:

$$N_L = N_p B E(J + 5),$$

wobei

- N_p die Anzahl Parkplätze an einem bestimmten Standort,
- B der Bedarfsfaktor (1 bei den Parkplätzen für MieterInnen und 0.2 bei Parkplätzen für Mitarbeitende und BesucherInnen) und
- $E(J + 5)$ der erwartete Elektrifizierungsgrad (batterieelektrische Fahrzeuge und Steckerfahrzeuge) in fünf Jahren nach dem Ausbau (Anteil

Steckerfahrzeuge an allen Personenwagen) ist. Diese Werte sind in Abbildung 39 zu finden.

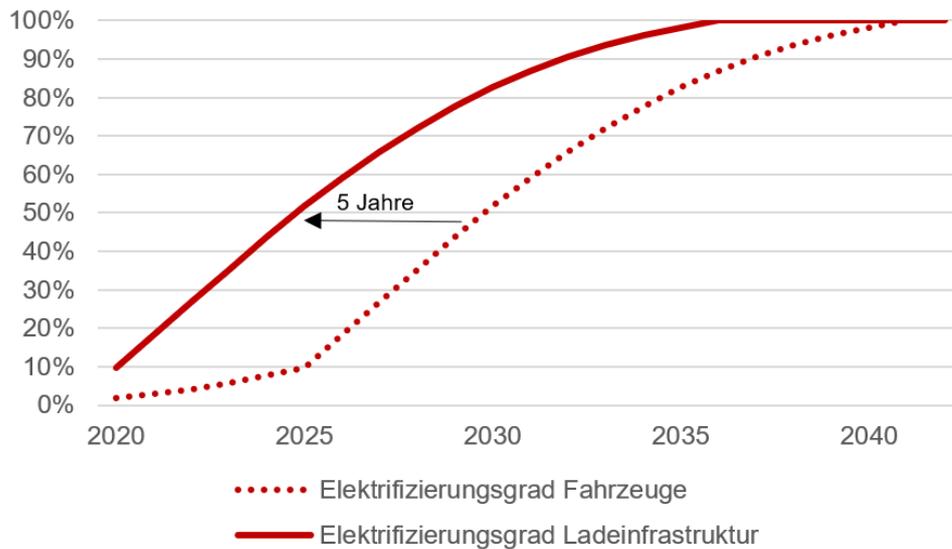


Abbildung 39: Elektrifizierungsgrad der Fahrzeuge in der Stadt Luzern E(J) und um fünf Jahre vorgezogener Elektrifizierungsgrad der Ladeinfrastruktur E(J+5).

Da der Aufenthalt in der Regel mehrere Stunden dauert, wird eine Ladeleistung von 11 kW AC pro Ladepunkt empfohlen.

Bei den Parkplätzen für MieterInnen ist es sinnvoll, die obige Formel für eine Schätzung zu verwenden. Jedoch wird empfohlen die Basisinfrastruktur auf einmal zu realisieren. Die Installation der Ladestation erfolgt hingegen zum Zeitpunkt, an dem die Mieterschaft des Parkplatzes dies beantragt. Das gleiche gilt allgemein für Parkplätze, die an eine Person oder ein Fahrzeug gebunden sind. Hier wird langfristig ein Ladepunkt pro Parkplatz realisiert, weil die Fahrzeuge immer auf demselben Parkplatz parkieren.

MitarbeiterInnen und BesucherInnen können sich hingegen die Parkplätze aussuchen, d.h. sie sind nicht fix zugeteilt. Da sie nicht bei jedem Aufenthalt laden müssen, ist langfristig eine Elektrifizierung von nur 20 % der Parkplätze notwendig.

Die Kostenschätzung basiert auf SIA 2060 und auf EBP-Marktstudien. Sie ist als eine grobe Kostenschätzung zu verstehen. Für eine genauere Kostenschätzungen sind spezifische technische Abklärungen an den städtischen Liegenschaften durchzuführen. Insbesondere müsste man abklären, ob allenfalls eine Leistungserhöhung am Hausanschluss notwendig wäre. Die Kostenschätzung ist in drei Kategorien aufgeteilt: Netzerschliessung (B), Basisinfrastruktur (Ausbaustufe C1 und C2) und die Ladestation inklusive Lademanagement und Installation (Ausbaustufe D).

Dimensionierung Ladeinfrastruktur und Kostenschätzung für drei Beispielfälle

Für eine bessere Erläuterung der obigen Leitlinien, wurden sie an drei Liegenschaften angewendet

— Einstellhalle Stadthaus: 31 Parkplätze, davon 10 für MitarbeiterInnen, die mit einem Pool-System bewirtschaftet werden.

- Einstellhalle Schulhaus Staffeln: 29 Parkplätze, die tagsüber für Lehrpersonal reserviert sind und ab 17 Uhr für Nutzende und BesucherInnen der Turnhalle gegen Gebühr zur Verfügung stehen.
- Schulhaus Tribtschen Wartegg: 16 Parkplätze, die tagsüber für Lehrpersonal reserviert sind und ab 17 Uhr für Nutzende und BesucherInnen der Turnhalle gegen Gebühr zur Verfügung stehen.

Keine dieser Liegenschaften hat Parkplätze für MieterInnen.

Für diese städtischen Liegenschaften ergibt sich, unter Anwendung der obigen Formel, der Ausbaubedarf in Tabelle 17. Die Anzahl an Ladepunkten im Ausbaujahr X entspricht dem Bedarf im Jahr X+5.

Die angeschlossene Ladeleistung wurde gemäss SIA 2060 unter Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit der Ladevorgänge berechnet. Da es sich um grosse Liegenschaften handelt und die benötigte Leistung relativ gering ist, gehen wir davon aus, dass keine Leistungserhöhung am Hausanschluss notwendig ist.

Standort	Parkplätze für MitarbeiterInnen und BesucherInnen	Bedarf an Ladepunkte			Angeschlossene Leistung [kW]
		2025	2030	Ab 2035	
Einstellhalle Stadthaus	10	1	2	2	13.3
Einstellhalle Schulhaus Staffeln	29	3	5	6	25.7
Schulhaus Tribtschen Wartegg	16	2	3	3	17.0

Tabelle 17: Ausbaubedarf der Ladeinfrastruktur bei drei städtischen Liegenschaften.

Für die Installation und die Realisierung der Basisinfrastruktur wurde ein Betrag von 1'200 CHF pro Ladepunkt angenommen. Die Kosten für die Ladestation, inklusiv Lastmanagement und Kommunikation für die Identifizierung des Nutzers, wurden bei 2'000 CHF pro Ladepunkt angenommen. Weiterhin wird angenommen, dass die Ladestationen eine Lebensdauer von 10 Jahren haben und danach ersetzt werden müssen.

Die erwarteten Kosten durch den Ladeinfrastrukturaufbau bei städtischen Liegenschaften sind in Tabelle 18 aufgelistet.

Standort	Netzer- schlies- sung (B)	Basisinf- rastruktur (A, C1-C2)	Ladeinfrastruktur (D)							
			2025		2030		2035		2040	
			Ersatz	Neue	Ersatz	Neue	Ersatz	Neue	Ersatz	Neue
Einstellhalle Stadthaus	0	2'400	0	2'000	0	2'000	2'000	0	2'000	0
Einstellhalle Schulhaus Staffeln	0	7'200	0	6'000	0	4'000	6'000	2'000	4'000	0
Schulhaus Tribtschen Wartegg	0	3'600	0	4'000	0	2'000	4'000	0	2'000	0

Tabelle 18: Kostenschätzung in CHF bei den städtischen Liegenschaften.

11.2 Städtischen Fuhrpark auf erneuerbare Antriebe umstellen (M07*) & Ladeinfrastruktur für Dienstfahrzeuge schaffen (E13*)

Diese Massnahmen sind bereits in der Klima- und Energiestrategie der Stadt Luzern (Stadt Luzern, 2021) als Massnahme M07 enthalten. Sie wurde deshalb im Rahmen dieses Konzept nicht vertieft.

Die Stadtverwaltung besitzt rund 20 angetriebene Zwei- und Dreiräder, 80 leichte Motor- und Kommunalfahrzeuge und 23 schwere Motorwagen sowie zahlreiche Arbeitsgeräte und Maschinen (inkl. Kleintraktoren usw.). Diese Fahrzeuge verbrauchten im Jahr 2019 rund 359'000 Liter Dieselöl und 41'400 Liter Benzin.

In ihrer Energie- und Klimastrategie definiert die Stadt Luzern, dass soweit technisch möglich und wirtschaftlich vertretbar bis 2030, spätestens jedoch bis im Jahr 2040, der gesamte städtische Fuhrpark auf erneuerbare Antriebssysteme (Strom, biogene Treibstoffe, synthetische Treibstoffe) ohne endenergiebedingte Treibhausgasemissionen umgestellt werden muss.

Die Stadt Luzern ist bereits dabei, den städtischen Fuhrpark auf erneuerbare Antriebe umzustellen. Sie hat bei allen Fahrzeugen den Zeitpunkt definiert, ab wann das Fahrzeug emissionsfrei beschafft wird, sowie die benötigte Ladeinfrastruktur geplant.

Der Ladeinfrastrukturausbau für Dienstfahrzeuge der Stadt ist zwar beschlossen, befindet sich jedoch noch nicht in der Umsetzungsphase.

11.3 Nachhaltige Beschaffungspraxis der Stadt (M08*)

Diese Massnahme ist bereits in der Klima- und Energiestrategie der Stadt Luzern (Stadt Luzern, 2021) als Massnahme M08 enthalten. Sie wurde deshalb im Rahmen dieses Konzept nicht vertieft.

Die Stadt Luzern hat ihre Richtlinien zur nachhaltigen Beschaffung (Stadt Luzern, 2020).

Die Stadt Luzern möchte bei der Vergabe von Aufträgen darauf achten, dass die AuftragnehmerInnen möglichst wenig Treibhausgase emittieren. Konkret sollen die Treibhausgasemissionen von Maschinen und Fahrzeugen zum Transport von Personen und Material als Aspekte in Vergabeverfahren miteinbezogen werden. Der Einsatz alternativer Antriebskonzepte und kurze Transportwege sollen im Auswahlverfahren von Auftragsofferten zunächst nur belohnt und später verlangt werden. Es soll miteinbezogen werden, wie verbreitet alternative Antriebe in der Fahrzeugklasse sind und mit welchen Kosten die Anschaffung verbunden wäre.

12. Quellen

- Aeesuisse, 2023 Dachorganisation der Wirtschaft für Energien und Energieeffizienz, [Medienmitteilung aeesuisse: Nationalrat bestätigt Ausbauziele und setzt auf gleitende Marktprämie - aeesuisse](#), 2023.
- ARE, 2020 Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), [Nationales Personenverkehrsmodell NPVM 2017](#), 2020
- ARE, 2022 Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), [Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050](#), 2022
- Ballinari, 2023 Ballinary Y., [V2X Suisse sieht noch 'einige Hürden' für bidirektionales Laden](#), 06.09.2023.
- BBL, 2020 Bundesamt für Bauten und Logistik, [Merkblatt Inhouse-Quasi-Inhouse und Instate-Geschäfte](#), 2020.
- Bern, 2021 Stadt Bern, [Energie- und Klimastrategie 2025, Controllingbericht 2021](#), 2021
- BFE und ASTRA, 2022 Bundesamt für Energie (BFE) und Bundesamt für Strassen (ASTRA), [Roadmap Elektromobilität 2025](#), 2022
- BFE, 2022b Bundesamt für Energie, [Auswirkungen der Elektrifizierung und des starken Ausbaus der erneuerbaren Energien auf die Schweizer Stromverteilnetze](#), 2022.
- BFE, 2022c Bundesamt für Energie, [Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2022](#), 2022.
- BFS, 2020 Bundesamt für Statistik (BFS), [Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz und der Kantone 2020–2050](#), 2020
- BFS, 2022 Bundesamt für Statistik (BFS), [Strassenfahrzeuge – Bestand, Motorisierungsgrad](#), 2022
- BR, 2023 Bundesrat, [Fossilfreien Verkehr bis 2050 ermöglichen](#), 2023.
- BR, 2023b Bundesrat, [Klimaschutzpotenzial in der Schifffahrt](#), 2023
- Coignard et al., 2018 Coignard, J., Saxena, S., Greenblatt, J. B., & Wang, D., [Clean vehicles as an enabler for a clean electricity grid](#), 2018.
- Drzimalla, 2021 Drzimalla, P., [Bidirektional laden - wann wird das Potenzial in der Schweiz genutzt?](#), 07.10.2021.
- Dubarry et al., 2017 Dubarry, M., Devie, A., & McKenzie, K., [Durability and reliability of electric vehicle batteries under electric utility grid operations: Bidirectional charging impact analysis](#), 2017.

EBP, 2021	EBP, EBP Elektromobilität Market Perspectives Study, 2021
EBP, 2022	EBP, Electric and Hydrogen Mobility Scenarios Switzerland 2022 , 2022
EBP, 2023a	EBP, Gesamtkosten von Personenwagen (TCO) , 2023
EBP, 2023b	EBP, Verständnis Ladeinfrastruktur 2050 , 2023
EBP, 2023c	EBP, Schnell-Ladehubs für E-LKW in der Schweiz , 2023
EBP, 2023d	EBP, Elektrische Mikromobilität , 2023
Empa, 2023	Empa und Infrac Batterien für Elektrofahrzeuge , 2023
e-mobileo, 2022	e-mobileo, Bidirektionale Wallboxen - Modelle, Preise und Empfehlungen , 2022.
EnergieSchweiz, 2022	EnergieSchweiz, Fahr mit dem Strom , 2022
EU, 2023	European Union, Regulations of the European Parliament and of the Council concerning batteries and waster batteries, amending Directive 2008/98/EC and Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Directive 2006/66/EC . Annex XII, part B, 2023
EWZ, 2023	EWZ, Bidirektionales Laden - das Auto als Powerbank , 13.07.2023.
Fraunhofer, 2023a	Fraunhofer Institut, Preiselastische Wasserstoffnachfrage in Deutschland , 2023
Fraunhofer, 2023b	Fraunhofer Institut, Factsheet TCO: Eine Wirtschaftlichkeitsanalyse der Antriebsarten für Personenwagen , 2023
Fraunhofer, 2023c	Fraunhofer-Institut für System und Innovationsforschung, ISI. (2023). Eine kritische Diskussion der beschlossenen Massnahmen zur E-Fuel Förderung im Modernisierungspaket für Klimaschutz und Planungsbeschleunigung der Bundesregierung vom 28.3.2023 .
ICCT, 2023a	International Council on Clean Transportation, Electric City Bus Sales Overtake Diesel in Europe , 2023
ICCT, 2023b	International Council on Clean Transportation, A total cost of ownership comparison of truck decarbonization pathways in Europe , 2023
Ludin, 2019	Martin Ludin, Privilegierte Vergaben innerhalb der Staatspärer, 2019.
Lustat, 2023	Kanton Luzern, Statistik Luzern , 2023
McKinsey, 2021	McKinsey & Company, Why the automotive future is electric , 2021

Mobility, 2023	Mobility, V2X – Carsharing neu gedacht , 2023.
Nexus-e, 2023	Nexus-e, Assessing the Feasibility of Scenarios for the Swiss Electricity System , 2023.
PSI, 2020	Paul Scherrer Institut (PSI), Mobilität von Morgen , 2020
SIA, 2020	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Infrastruktur für Elektrofahrzeuge in Gebäuden (SIA 2060) , 2020
Signer et al., 2023	T. Signer, E. Limarzo, M. Ruppert & W. Fichtner, Flexibility Potential of V2G Technology in Switzerland , 2023.
Smaveo, 2023	Smaveo, Die 10 günstigsten Wallboxen: Elektroauto schnell und einfach zu Hause laden , 12.03.2023.
Stadt Luzern, 2010	Stadt Luzern, Reglement über die Nutzung des öffentlichen Grundes , 2010.
Stadt Luzern, 2018	Stadt Luzern, Mobilitätsstrategie , 2018
Stadt Luzern, 2020	Stadt Luzern, Richtlinie zur nachhaltigen Beschaffung der Stadt Luzern , 2020
Stadt Luzern, 2021	Stadt Luzern, B+A 22/2021 Klima- und Energiestrategie Stadt Luzern , 2021
Stadt Luzern, 2021b	Stadt Luzern, Reglement über die Parkraumbewirtschaftung beim Dauerparkieren auf öffentlichem Grund (Parkkartenreglement) , 2021
Stadt Luzern, 2022	Stadt Luzern, Beteiligungsstrategie 2023-2026 , 2022
Stadt Luzern, 2023	Stadt Luzern, Reglement für eine nachhaltige städtische Energie-, Luftreinhalte- und Klimapolitik (Energierglement) , 2023.
Stephan et al., 2023	Stephan, A., Gschwendtner, C., Enabling Flexible Electric Vehicle Grid Integration – ErVin , 31.01.2023.
Sun2Wheel, 2023	Sun2Wheel, Das Auto als Powerbank nutzen , 2023.
Swiss e-Mobility, 2023	Swiss e-Mobility, Ladeinfrastruktur in Mietobjekten ., 2023
TCS, 2023	Touring Club Schweiz (TCS). Barometer E-Mobilität , 2023
Ulmann, 2023	Ulmann, Vor- und Nachteile des bidirektionalen Ladens , 2023.
Van Liedekerke, 2023	Van Liedekerke, A., Schwarz, M. & Gjorgiev, B., Vehicle-to-grid in Switzerland. A first estimate of the value of vehicle-to-grid for the Swiss electricity system , 16.01.2023.

- Venditti, 2022 Venditti Bruno, *The Top 10 EV Battery Manufacturers in 2022*, <https://elements.visualcapitalist.com/the-top-10-ev-battery-manufacturers-in-2022/>, 2022.
- Vossebein, 2019 Vossebein, A., Muster, S., Betschart, U. & Kölliker, B., [Potential Demand Side Management in der Schweiz](#), 10.10.2019.
- VSE, 2022 Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE). (2022). [Energiezukunft 2050](#).

A1 Szenarien ohne Zielerreichung 2040

Wie im Kapitel 6 erklärt, wurden die Annahmen der Szenarien zur Entwicklung der Elektromobilität so angepasst, dass die Szenarien kompatibel mit dem Ziel «Null energiebedingte Emissionen im Verkehr bis 2040» sind.

In diesem Kapitel ist eine andere Version der Szenarien vorgestellt. Diese Szenarien sind zwar mit den Verkehrszielen der Mobilitätsstrategie (Stadt Luzern, 2018) kompatibel (Reduktion Modalsplit beim motorisierten Individualverkehr und Reduktion Verkehrsbelastung). Sie richten sich aber am Ziel des Bundes (Netto Null 2050) und erfüllen nicht das Ziel der Stadt «Null energiebedingte Emissionen im Verkehr bis 2040». Gemäss dieser Version fahren auch nach 2040 fossile Fahrzeuge in der Stadt Luzern.

Die Erklärungen zu den Darstellungen können dem Kapitel 6 entnommen werden.

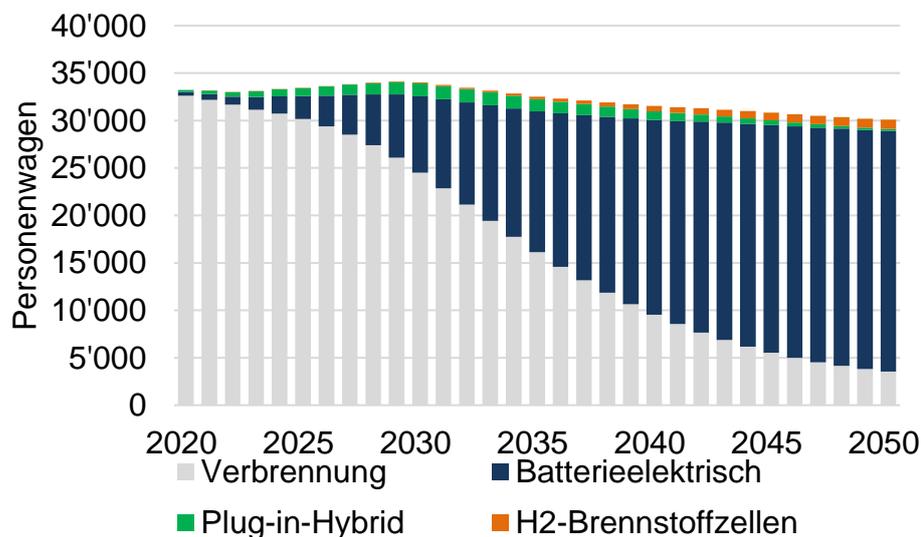


Abbildung 40: Entwicklung Personenwagenbestand nach Antriebstechnologie in der Stadt Luzern.

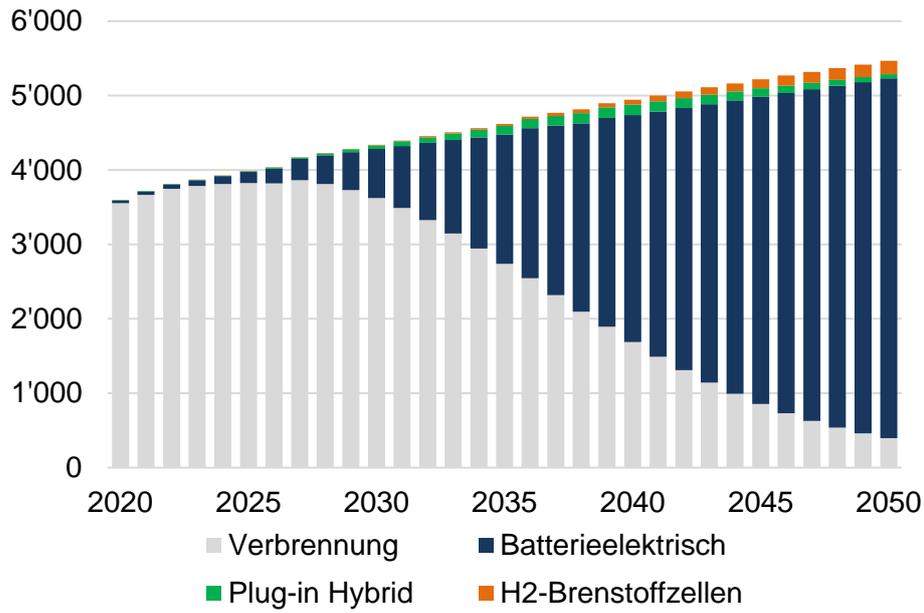


Abbildung 41: Entwicklung Bestand leichte Nutzfahrzeuge nach Antriebstechnologie in der Stadt Luzern.

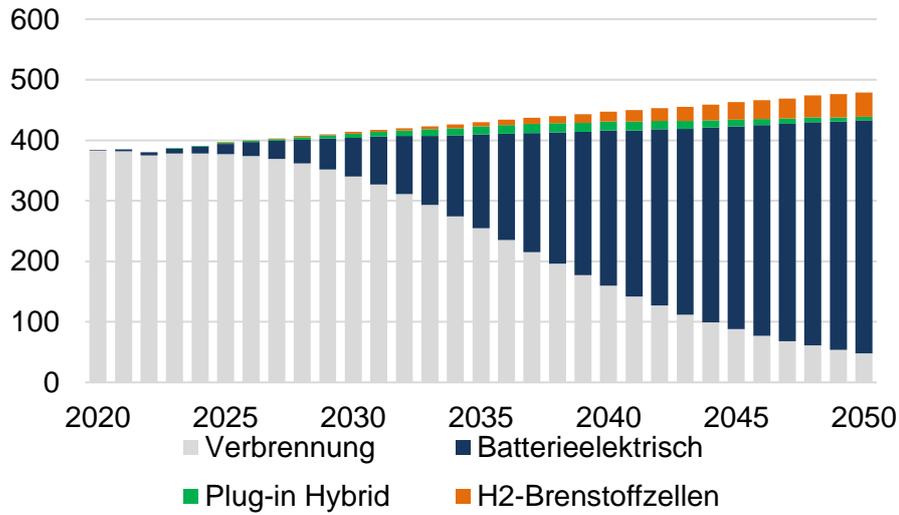


Abbildung 42: Entwicklung Bestand schwere Nutzfahrzeuge nach Antriebstechnologie in der Stadt Luzern.

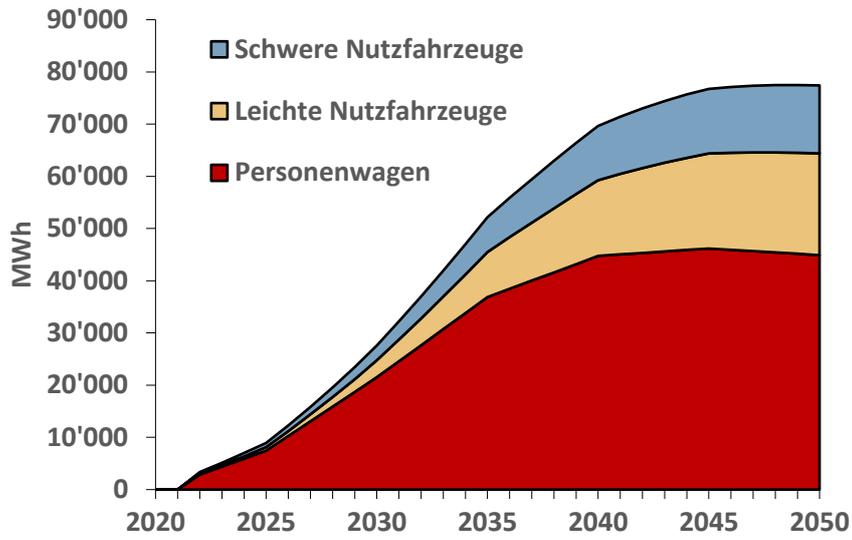


Abbildung 43: Jährlicher Stromverbrauch für Personenwagen, schwere und leichte Nutzfahrzeuge in der Stadt Luzern.

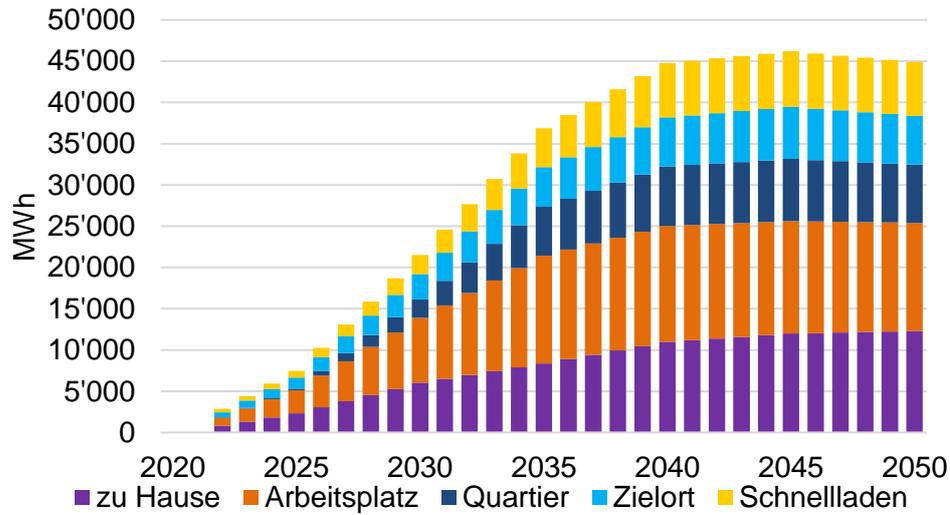


Abbildung 44: Stromverbrauch nach Ladekategorie in der Stadt Luzern.

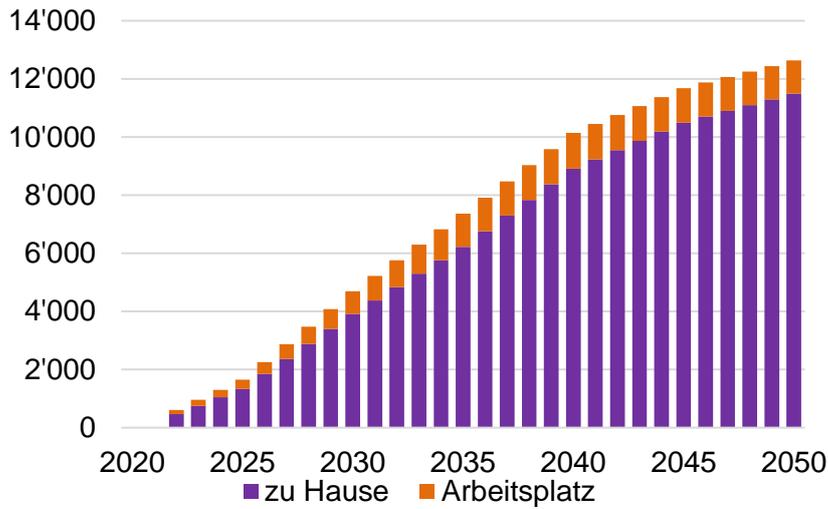


Abbildung 45: Bedarf an privaten Ladepunkte in der Stadt Luzern.

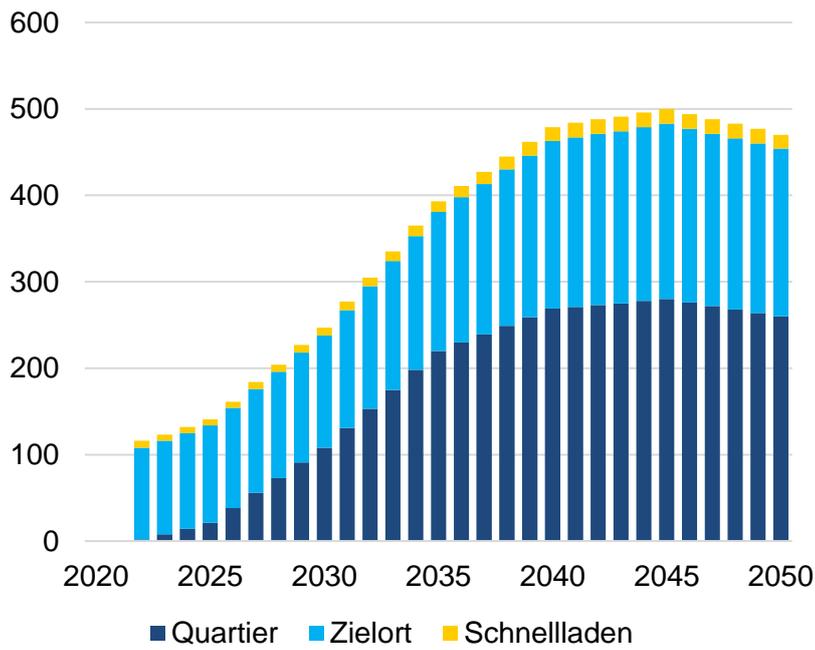


Abbildung 46: Bedarf an allgemein zugängliche Ladepunkte in der Stadt Luzern nach Kategorie.