Baden-Württemberg
MINISTERIUM FÜR VERKEHR

d-fine

Bedarfs- und Standortanalyse zum flächendeckenden Laden von E-Lkw in Baden-Württemberg

Auftraggeber:

Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg

MANAGEMENT SUMMARY

Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse einer Bedarfs- und Standortanalyse zum flächendeckenden Laden von E-Lkw in Baden-Württemberg zusammengefasst. Der Bericht wurde im Auftrag des Ministeriums für Verkehr Baden-Württemberg erstellt.

Die Arbeit fasst zunächst die bestehenden Anforderungen, Erwartungen und strategischen Ziele der relevantesten Stakeholder zur Errichtung von Ladeinfrastruktur für den Schwerlastverkehrs zusammen. Darauf aufbauend werden durch einen datenbasierten Ansatz lokale Bedarfe für Lkw-Ladeinfrastruktur in den Zieljahren 2027, 2030 und 2025 herausgearbeitet. Mit den Ergebnissen steht ein Instrumentarium für eine gesamtheitliche und gezielte Planung der benötigten Ladeinfrastruktur zur Verfügung, das sowohl das Verkehrsministerium Baden-Württemberg als auch andere Stakeholder dabei unterstützt, gezielte Maßnahmen für einen bedarfsorientierten und flächendeckenden Ausbau der Ladeinfrastruktur für schwere Nutzfahrzeuge umzusetzen.

Im Zuge einer qualitativen Analyse wurden Interviews mit einer Vielzahl an Stakeholdern bestehend aus Logistikunternehmen, Fahrzeugherstellern, Netzbetreibern, Ladesäulenherstellen und Investoren zu den Themenbereichen Fahrzeug- und Technologieverfügbarkeit, Einsatz- und Ladeszenarien, Herausforderungen in der Umsetzung und strategische Planung der nächsten Jahre durchgeführt.

Unter allen befragten Stakeholdern herrscht Konsens, dass der batterieelektrische Lkw unter den emissionsfreien Antrieben als bevorzugte Antriebsform für die kommenden Jahre angesehen wird. Beginnend mit dem Einsatz im Regionalverkehr wird eine umfassende Elektrifizierung der Flotten geplant. Insbesondere für den Fernverkehr wird der umfassende Ausbau von Ladeinfrastruktur entlang der Hauptverkehrsachsen und darüber hinaus jedoch als notwendige Bedingung für die Transformation der Nutzfahrzeugflotte angesehen.

Die größten Herausforderungen für den Aufbau eines Ladenetzes werden in der Verfügbarkeit geeigneter Flächen und der benötigten Netzkapazitäten zur elektrischen Versorgung der Ladeinfrastruktur gesehen. Auch langwierige bürokratische Netzanschlussbegehren, sowie die allgemeinen hohen Investitionskosten werden als potenzielle Hemmnisse für die Errichtung der Infrastruktur genannt. Das gezielte Adressieren dieser Aspekte wird einstimmig als entscheidender Erfolgsfaktor für eine zukunftsorientierte und erfolgreiche Planung angesehen.

Ein zentrales Ergebnis der Befragungen war, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit deutlich mehr Standorte benötigt werden, als an den Hauptachsen zur Verfügung stehen. Aus diesem Grund werden auch Flächen, beispielweise in Industrie- und Gewerbegebieten oder große Parkflächen in den Fokus der Infrastrukturplanung von Investoren rücken. Dies wird auch von Logistikern begrüßt, da sie zusätzlichen Bedarf an öffentlicher Ladeinfrastruktur in der Nähe ihrer Depots und Kunden sehen.

Aufbauend auf diese Erkenntnisse wurde im quantitativen Teil dieser Arbeit eine Methodik zur Aufstellung einer Bedarfs- und Potenzialanalyse entwickelt. In einem ersten Schritt wurden die in den Zieljahren 2027, 2030 und 2035 benötigten Ladestopps für die Ladeszenarien des Zwischenladens im Regional- und Fernverkehr, des Übernachtladens im Fernverkehr und des

Depotladens unter der Annahme unterschiedlicher Szenarien des Hochlaufs der Elektrifizierung des Schwerlastverkehrs prognostiziert. Daraus konnte der Bedarf an Ladeinfrastruktur abgeleitet werden. In Baden-Württemberg wurde für die Zieljahre ein Anstieg der Ladestopps auf über 55.000 pro Tag im Jahr 2035 und daraus resultierend eine Anzahl von beinahe 14.000 benötigten öffentlich zugänglichen Ladepunkten prognostiziert. Für das Laden im Depot wurden für das Jahr 2035 über 95.000 tägliche Ladestopps vorausgesagt, wovon eine Anzahl von über 34.000 benötigten Depotladepunkten abgeleitet werden kann. Die erwartete tägliche verladene Energiemenge beträgt ca. 25.000 MWh.

Die prognostizierten Bedarfe wurden anschließend mit den Anforderungen der Mindestausstattung gemäß AFIR verglichen. Die zur Erfüllung der regulatorischen Anforderungen benötigten ca. 30 Standorte in Baden-Württemberg bis 2030 werden den Analysen zufolge bei weitem nicht ausreichen, um die erwarteten Bedarfe zu decken. Die Erfüllung der AFIR-Anforderungen können nur als initialer erster Schritt, jedoch nicht als langfristiger, ausreichender Plan angesehen werden.

Um die von den Stakeholdern beschriebenen Anforderungen an geeignete Standorte für Ladeinfrastruktur näher zu beleuchten, wurden in einem Standortkonzept potenzielle Standorte bzw. Flächen in Baden-Württemberg ermittelt und nach einem Multi-Kriterien-Ansatz hinsichtlich Eignung für den Ausbau von Ladeinfrastruktur bewertet. Von den beinahe 5.000 ermittelten Standorten befinden sind ca. 260 auf Parkplätzen, sowohl auf aber auch abseits der Autobahnen, der Rest umfasst öffentlich zugängliche Industrie- und Gewerbegebiete. Die untersuchten Parkplätze weisen, bei einer veranschlagten Nutzung von 50% der verfügbaren Fläche, Potenzial für ca. 4.200 Ladepunkte auf, was nur ca. ein Drittel der ermittelten Bedarfe bis 2035 beträgt und somit nicht ausreichen werden um die mittel – und langfristigen Bedarfe auch über das Jahr 2035 hinaus, abdecken zu können. Es konnten jedoch grundsätzlich geeignete zusätzliche Potenziale ermittelt werden, die für den Aufbau von Ladeinfrastruktur genutzt werden könnten und den von den Stakeholdern geforderten Rahmenbedingungen entsprechen. Den Bedarf von knapp 14.000 Ladepunkten in Baden-Württemberg werden mindestens 1.700 Standorte benötigt bis 2035, um auch den Bedarf an E-Ladepunkten abdecken zu können.

Für eine weitere lokale Betrachtung und den Abgleich von Bedarf und Standorten, wurde abschließend im Zuge eines Stufenkonzepts eine Zuordnung der potenziellen Standorte, nach Attraktivität, auf die lokalen Bedarfe vorgenommen. Die Analyse ergab, dass die lokalen Bedarfe grundsätzlich durch die ermittelten Potenzialstandorte abgedeckt werden können, allerdings nur, wenn zukünftig auch Standorte mit geringerer Eignung ausgebaut werden. Vereinzelt konnten potenzielle Engpässe verfügbarer Flächen entlang einzelner Autobahnsektoren mit besonders hohem Bedarf an Ladeinfrastruktur für das Zwischenladen im Fernverkehr identifiziert werden. Diese Regionen werden aus Investorensicht besonders relevant sein, aber auch besondere Aufmerksamkeit aus Sicht der Netz- und Förderungsplanung benötigen.

INHALTSVERZEICHNIS

02.01 Antriebstechnologie 12
02.02 Ladeinfrastruktur 13
02.03 Stakeholder-Interviews 15
02.03.01 Status-Quo der E-Mobilität und Ladeinfrastruktur im Schwerlastverkehr 15
02.03.02 Investitionsvorhaben der verschiedenen Stakeholder 16
02.03.03 Roadmap und Prognosen der verschiedenen Stakeholder 17
02.03.04 Die Einsatz- und Ladeszenarien von E-Lkw 18
02.03.05 Anforderungen an die öffentliche Ladeinfrastruktur 19
02.03.06 Herausforderungen beim Ausbau der Ladeinfrastruktur 19
02.03.07 Mögliche Förderungen zur Unterstützung des Hochlaufs 20
02.03.08 Zusammenfassung der Interviews 21
03.01 Begriffserklärungen 22
03.02 Aufstellung von Bedarfsanalysen 23
03.02.01 Zielsetzung 23
03.02.02 Daten und Methodik 24
03.02.02.01 Verkehrsentwicklung 24
03.02.02.02 Ladeszenarien 25
03.02.02.03 Methodik zur Berechnung von Depotladepunkten 27
03.02.02.04 Lokalisierung der Ladestopps 29
03.02.02.05 Energiebedarf 29
03.02.03 Ergebnisse 31
03.02.03.01 Zielszenario 31
03.02.03.02 Mindestszenario 36
03.02.04 Schlussfolgerung und Diskussion 41
03.03 Mindestausstattung 42
03.03.01 Zielsetzung 42
03.03.02 Daten und Methodik 43
03.03.03 Ergebnisse 45
03.03.04 Schlussfolgerung und Diskussion 47
03.04 Standortkonzept 48
03.04.01 Zielsetzung 48
03.04.02 Daten und Methodik 48
03.04.03 Ergebnisse 54

03.04.04 Schlussfolgerung und Diskussion 56
03.05 Stufenkonzept 57
03.05.01 Zielsetzung 57
03.05.02 Daten und Methodik 57
03.05.03 Ergebnisse 58
03.05.04 Schlussfolgerung und Diskussion 64
04.01 Abkürzungsverzeichnis 65
04.02 Tabellen 66
04.03 Referenzen 76

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Anzahl der öffentlichen Ladepunkte im Regionalverkehr unter Berücksichtigung von 4 Ladevorgängen pro Tag (blau) bzw. der Installation von MCS-Ladesäulen ab 2030, womit 8 Ladevorgänge pro Ladepunkt ermöglicht werden. Der berücksichtigte Technologiefortschritt lässt den Bedarf an Schnelladepunkten ab 2030 weniger stark ansteigen. 27
Abbildung 2: Hochlauf der Depotladestopps, öffentlichen Ladestopps Regionalverkehr, Zwischenladestopps Fernverkehr und der Übernachtladestopps Fernverkehr in Baden-Württemberg. 31
Abbildung 3: Darstellung der Depotladepunkte pro Landkreis für das Zielszenario in den Zieljahren 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03). Die Ladepunkte sind durch eine logarithmische Farbskala von 12 (min.) bis 2.005 (max.) Ladepunkten pro Landkreis dargestellt (04). 32
Abbildung 4: Darstellung der öffentlichen Ladepunkte im Regionalverkehr pro Landkreis für das Zielszenario in den Zieljahre 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03). Die Ladepunkte sind mit einer logarithmischen Farbskala von 2 (min.) bis 170 (max.) Ladepunkte pro Landkreis dargestellt (04). 33
Abbildung 5: Die Verteilung der Zwischenladepunkte im Fernverkehr (Fahrdistanzen größer 150 km) an den Hauptverkehrsachsen. Die Dicke der Linie entspricht dem Bedarf an Ladepunkten und die Zahlen an den Hauptverkehrsachsen entsprechen den Ladepunkten für die Verkehrsabschnitte in den Zieljahren 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03). 34
Abbildung 6: Die Verteilung der Übernachtladepunkte (Fahrdistanzen größer 400 km) an den Hauptverkehrsachsen. Die Dicke der Linie entspricht dem lokalen Bedarf an Ladepunkten und die Zahlen an den Hauptverkehrsachsen entsprechen den Ladepunkten für die Verkehrsabschnitte in den Zieljahren 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03). 35
Abbildung 7: Die täglich benötigte Energiemenge im Zielszenario für das Zwischenladen, Übernachtladen und das Depotladen in MWh in den Zieljahren 2027, 2030 und 2035. 36
Abbildung 8: Der Hochlauf der Depotladestopps, öffentliche Ladestopps - Regionalverkehr und Zwischenladestopps - Fernverkehr und der Übernachtladestopps im Mindestszenario. 37
Abbildung 9: Darstellung der Depotladepunkte pro Landkreis für das Mindestszenario in den Zieljahren 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03). Die Ladepunkte sind mit einer logarithmischen Farbskala von 12 (min.) bis 2.005 (max.) Ladestopps pro Landkreis dargestellt (siehe 04). 38
Abbildung 10: Darstellung der öffentlichen Ladepunkte im Regionalverkehr pro Landkreis für das Mindestszenario in den Zieljahre 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03). Die Ladepunkte sind mit einer logarithmischen Farbskala von 4 (min.) bis 330 (max.) Ladepunkte pro Landkreis dargestellt. 38
Abbildung 11: Die Verteilung der Zwischenladepunkte im Fernverkehr (Fahrdistanzen größer 150 km) an den Hauptverkehrsachsen. Die Dicke der Linie entspricht dem Bedarf an Ladepunkten für die Verkehrsabschnitte in den Zieljahren 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03). 39
Abbildung 12: Die Verteilung der Übernachtladepunkte (Fahrdistanzen größer 400 km) an den Hauptverkehrsachsen. Die Dicke der Linie entspricht dem lokalen Bedarf an

Ladepunkten und die Zahlen an den Hauptverkehrsachsen entsprechen den Ladepunkten für die Verkehrsabschnitte in den Zieljahren 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03). 40
Abbildung 13: Die täglich verladene Energiemenge im Mindestszenario für das Zwischenladen, Übernachtladen und das Depotladen in MWh. 41
Abbildung 14: Das TEN-V-Kern- (rot) und Gesamtnetz (rot und blau) in Baden-Württemberg. 42
Abbildung 15: Visualisierung des optimierten Standortnetzes für das TEN-V Kernnetz (01) und das TEN-V Gesamtnetz (02) in Baden-Württemberg. Manche der ausgewählten und eingezeichneten Standorte (Park- und Rastanlagen) sind nur von einer Fahrtrichtung befahrbar, in diesen Fällen wir der Ausbau beider Seiten vorgesehen, sodass die Standorte doppelt gezählt sind. 46
Abbildung 16: Visualisierung der Grundmenge an potenziellen Standorten mit 257 Lkw-Parkplätzen (01) und ca. 4.500 Gewerbe- und Industriegebieten (02). 49
Abbildung 17: Beispielhafte Darstellung des Industriegebietes Hulb (grau) mit den extrahierten Gebäudeflächen (rot) und den Straßen (grün). 51
Abbildung 18: Anzahl der Standorte mit der verfügbaren Fläche für die Anzahl an Ladepunkten. 51
Abbildung 19: Visualisierung der Parkplätze (schwarz) und Industriegebiete (blau) mit der Zuordnung für öffentliches Laden Regionalverkehr (01), Zwischenladen Fernverkehr (02) und Übernachtladen Fernverkehr (03). 55
Abbildung 20: Durchschnittliche Bewertung der Standorte mit der Zuordnung zu den Szenarien öffentliches Laden Regionalverkehr (dunkelblau), Zwischenladen Fernverkehr (blau) und Übernachtladen Fernverkehr (orange). 55
Abbildung 21: Anzahl der Standorte sowie durchschnittliche Score der Standorte für öffentliches Laden Regionalverkehr (dunkelblau), Zwischenladen Fernverkehr (blau) und Übernachtladen Fernverkehr (orange). 56
Abbildung 22: Standorte öffentliches Laden Regionalverkehr im **Zielszenario** 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03). 59
Abbildung 23: Standorte öffentliches Laden Regionalverkehr im **Mindestszenario** 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03). 59
Abbildung 24: Standorte Zwischenladen Fernverkehr **Zielszenario** 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03) mit ursprünglich dem Szenario Zwischenladen Fernverkehr zugeordneten Standorten (blau) und nachgefüllten Standorten, die ursprünglich dem Szenario öffentliches Laden Regionalverkehr zugeordnet waren (orange). 61
Abbildung 25: Standorte Zwischenladen Fernverkehr **Mindestszenario** 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03) mit ursprünglich dem Szenario Zwischenladen Fernverkehr zugeordneten Standorten (blau) und nachgefüllten Standorten, die ursprünglich dem Szenario öffentliches Laden Regionalverkehr zugeordnet waren (orange). 62
Abbildung 26: Standorte Übernachtladen Fernverkehr **Zielszenario** 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03) mit ursprünglich dem Szenario Übernachtladen Fernverkehr zugeordneten Standorten (blau) und nachgefüllten Standorten, die ursprünglich dem Szenario öffentliches Laden Regionalverkehr zugeordnet waren (orange). 62

Abbildung 27: Standorte Übernachtladen Fernverkehr **Mindestszenario** 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03) mit ursprünglich dem Szenario Übernachtladen Fernverkehr zugeordneten Standorten (blau) und nachgefüllten Standorten, die ursprünglich dem Szenario öffentliches Laden Regionalverkehr zugeordnet waren (orange). 63
Abbildung 28: Die ausgewählten Standorte im **Zielszenario** 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03) mit der Unterteilung in öffentliches Laden Regionalverkehr (orange), Zwischenladen Fernverkehr (blau) und Übernachtladen Fernverkehr (grau)..... 63
Abbildung 29: Die ausgewählten Standorte im **Mindestszenario** 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03) mit der Unterteilung in öffentliches Laden Regionalverkehr (orange), Zwischenladen Fernverkehr (blau) und Übernachtladen Fernverkehr (grau)..... 64

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Die Entwicklung des Güterverkehrs in den Zieljahren (Daten des BMDV) und die entsprechend den Hochlaufszenarien prognostizierte Anteile und absolute Fahrzeugzahlen der E-Fahrzeuge 25

Tabelle 2: Das Verhältnis der Fahrzeuge im Regional- und Fernverkehr in den Kategorien Lkw und SZM. 25

Tabelle 3: Ladeszenarien für Zwischenladestopps, Nachtladestopps und Depotladestopps im Regional- und Fernverkehr. 26

Tabelle 4: Annahmen zur Bestimmung der Ladestopps pro Ladepunkt pro Tag bei Ladesäulen während des Be- und Entladevorganges an einer Laderampe im Verteilzentrum bzw. beim Zielkunden. 28

Tabelle 5: Annahmen zum Depotladen nach Fahrzeugtyp bezüglich der durchschnittlichen Ladestopps im Schichtwechsel bzw. zur Nachtzeit und Anteil der 1-, 2- bzw. 3-Schichtbetriebs und der Anteil der Ladestopps im Depot bzw. beim Be- und Entladen beim Zielkunden 28

Tabelle 6: Die durchschnittlichen Depotladestopps pro Tag und pro Ladepunkt in den Jahren bis 2030 bzw. ab 2030 für die unterschiedlichen Einsatzszenarien der E-Lkws. 29

Tabelle 7: Annahmen zu Batteriegröße, prozentuellem Anteil des Aufladevorganges der Batterie und die daraus resultierende abgegebene Energiemenge pro Ladevorgang. 30

Tabelle 8: Tabellarische Darstellung der prognostizierten täglichen Ladestopps für das Depotladen, öffentliche Laden im Regionalverkehr, Zwischenladen im Fernverkehr und Übernachtladen im Zielszenario. 31

Tabelle 9: Die öffentlichen Ladepunkte-Regionalverkehr, Zwischenladen Fernverkehr, die Übernachtladepunkte und die Summe der notwendigen Ladepunkte im Zielszenario für die Zieljahre 2027, 2030 und 2035. 34

Tabelle 10: Bedarf an Ladepunkten in den Sektoren des Fernverkehrs (Zwischenladen und Übernachtladen kombiniert) für die Zieljahre 2027, 2030 und 2035 im Zielszenario. 35

Tabelle 11: Tabellarische Darstellung der prognostizierten täglichen Ladestopps für das Depotladen, öffentliches Laden im Regionalverkehr, Zwischenladen im Fernverkehr und Übernachtladen im Mindestszenario. 37

Tabelle 12: Die öffentlichen Ladepunkte-Regionalverkehr, die Zwischenladepunkte im Fernverkehr, die Übernachtladepunkte, die Summe der notwendigen Ladepunkte und die privaten Depotladepunkte im Mindestszenario für die Zieljahre 2027, 2030 und 2035. 39

Tabelle 13: Bedarf an Ladepunkten in den Sektoren des Fernverkehrs (Zwischenladen und Übernachtladen kombiniert) für die Zieljahre 2027, 2030 und 2035 im Mindestszenario. 40

Tabelle 14: Anforderungen aus der AFIR-Richtlinie für den Schwerlastverkehr. 43

Tabelle 15: Anzahl der Standorte vor und nach der Optimierung zur Erfüllung der AFIR-Richtlinie 45

Tabelle 16: Bedarf an Ladepunkten entsprechend der Optimierung der Mindestausstattung und der Bedarfsanalyse für Ziel- und Mindestszenario. 47

Tabelle 17: Auflistung der Bewertungskriterien mit dem kritischen Abstand bei binären Bewertungskriterien und der Gewichtung der Kategorie mit der Unterscheidung in öffentliches Laden Regionalverkehr, Zwischenladen Fernverkehr und Übernachtladen Fernverkehr. 53

Tabelle 18: Zuordnung der Standorte und der sich daraus ergebenden Anzahl an Ladepunkten für die Annahme einer nutzbaren Fläche von 1 % in Industrie- und Gewerbegebieten und 50 % der Parkplätze für den Aufbau von Lkw-Ladeinfrastruktur. 54

Tabelle 19: Ergebnisse des Stufenkonzeptes bezüglicher der initialen Zuordnung von Standorten für die Zieljahre 2027, 2030 und 2035, sowie der erweiterten Analyse durch Doppelnutzung und Nutzung zusätzlicher anderer Standorte zur Bedarfsdeckung an Ladepunkten (LP). 60

Tabelle 20: Modellierte Anzahl an Depotladepunkten im Zielszenario pro Landkreis in den Zieljahren 2027, 2030 und 2035. 66

Tabelle 21: Modellierte Anzahl an öffentlichen Ladepunkten im Zielszenario für den Regionalverkehr (Fahrstrecke kleiner 150 km) pro Landkreis in den Zieljahren 2027, 2030 und 2035. 67

Tabelle 22: Modellierter täglicher Energiebedarf (in Megawattstunden) im Zielszenario verursacht durch das Depotladen und das öffentliche Laden im Regionalverkehr pro Landkreis in den Zieljahren 2027, 2030 und 2035. 68

Tabelle 23: Modellierter täglicher Energiebedarf im Zielszenario (in Megawattstunden) verursacht durch das Zwischenladen und Übernachtladen im Fernverkehr pro Sektor der Hauptverkehrsachsen in den Zieljahren 2027, 2030 und 2035. 69

Tabelle 24: Modellierte Anzahl an Depotladepunkten im Mindestszenario pro Landkreis in den Zieljahren 2027, 2030 und 2035. 70

Tabelle 25: Modellierte Anzahl an Zwischenladepunkten im Mindestszenario für den Regionalverkehr (Fahrstrecke kleiner 150 km) pro Landkreis in den Zieljahren 2027, 2030 und 2035. 71

Tabelle 26: Modellierter täglicher Energiebedarf in Megawattstunden (MWh) im Mindestszenario verursacht durch das Depotladen und das öffentliche Laden im Regionalverkehr pro Landkreis in den Zieljahren 2027, 2030 und 2035. 73

Tabelle 27: Modellierter täglicher Energiebedarf in Megawattstunden (MWh) im Mindestszenario verursacht durch das Zwischenladen und Übernachtladen im Fernverkehr pro Sektor der Hauptverkehrsachsen in den Zieljahren 2027, 2030 und 2035. 74

01. EINLEITUNG

Baden-Württemberg hat sich das Ziel gesetzt, die Emissionen des Verkehrssektors bis 2030 um 55 Prozent im Vergleich zu 1990 zu senken. Die Emissionen sind zu einem wesentlichen Anteil durch den Straßenverkehr verursacht – sowohl durch den Individualverkehr als auch den Güterverkehr. Die Reduktion der Emissionen soll durch die Umsetzung der Verkehrswende geschafft werden. Baden-Württemberg hat sich dazu bis 2030 verschiedene Ziele gesetzt, von denen zwei direkt auf den Hochlauf von alternativen, klimaneutralen Antrieben abzielen:

- Jedes zweite Auto und
- jede zweite Tonne im Güterverkehr sollen klimaneutral fahren.

Im Güterverkehr können die nötigen Emissionsreduktionen nicht ausschließlich durch Verlagerung von Transporten vom Straßentransport auf andere Verkehrsträger erreicht werden, es ist eine umfassende Flottentransformation zu emissionsfreien Antrieben nötig. Mit batterieelektrisch betriebenen Lkw steht aufgrund ihrer Technologiereife eine für viele Anwendungsfälle im Güterverkehr ernstzunehmende Alternative bereit. Diese Bedarfs- und Standortanalyse legt daher Ihren Fokus auf diese Technologie. Ziel ist es, den Bedarf an notwendiger Ladeinfrastruktur für den künftigen Einsatz batterieelektrisch betriebener LKW in Baden-Württemberg zu prognostizieren, um den Hochlauf der BEV-LKW entsprechend vorbereiten zu können.

In einem ersten Schritt wurden in dieser Analyse strukturierte Interviews mit wichtigen Stakeholdern aus Logistik, mit OEM, Netzbetreibern, Herstellern von Ladeinfrastruktur und privatwirtschaftlichen Investoren zur aktuellen Lage, ihren Bedarfen an öffentlicher Ladeinfrastruktur, ihren Prognosen zu Technologiereife von Fahrzeugen und Ladeinfrastruktur, und ihren Planungen für den Aufbau von Ladeinfrastruktur geführt. Zudem wird der Stand der Technik und die Prognose hinsichtlich der Fahrzeugverfügbarkeit und den Ladeszenarien im Güterverkehr dargestellt.

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurde in einem zweiten Schritt eine datenbasierte Bedarfsmodellierung durchgeführt, die für verschiedene Annahmen u.a. hinsichtlich der Entwicklung der Transportnachfrage oder des E-Lkw-Hochlaufs für die Zieljahre 2027, 2030 und 2035 die dafür nötigen Ladeinfrastrukturen aufzeigt. Diese Bedarfsprognose wurde anschließend der regulatorisch georderten Mindestausstattung gegenübergestellt. Mittels Identifikation und Bewertung potenzieller Standorte wurde darauf aufbauend ein Stufenkonzept entwickelt, das die Verteilung und Priorisierung der Standorte für den Ausbau von Ladeinfrastruktur für die Ladeszenarien im Fern- und Regionalverkehr für Schnell- und Übernachtladen aufzeigt. Die Ergebnisse können eine Grundlage für die Förder- und Ausbauplanung für die Errichtung von Ladeinfrastruktur für verschiedene Stakeholder – von der öffentlichen Hand über die Netzbetreiber bis hin zu privatwirtschaftlichen Investoren – darstellen.

02. VORABRECHERCHE UND STAKEHOLDER-ANALYSE

02.01 ANTRIEBSTECHNOLOGIE

Im kartellrechtskonformen, vertraulichen Rahmen sogenannter Cleanroom-Gespräche haben im Jahr 2022 mehrere Fahrzeughersteller dem Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) und der Nationalen Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW GmbH) Einblicke in ihre strategische Ausrichtung hinsichtlich zukünftiger Antriebstechnologien und geplanter Absatzzahlen gewährt [1]. Ziel der Gespräche war es, Informationen zum Hochlauf von schweren Nutzfahrzeugen (>12 t) mit klimafreundlichen, alternativen Antrieben zu erlangen. Entsprechend des „Gesamtkonzepts klimafreundliche Nutzfahrzeuge“ hat das BMDV das Ziel ausgesetzt, dass bis 2030 ein Drittel der Fahrleistung im schweren Straßengüterverkehr elektrisch erbracht werden soll [2]. Für einen solchen Markthochlauf ist eine passende, bedarfsgerechte Infrastrukturentwicklung erforderlich – deren Koordination dem BMDV obliegt.

An den Cleanroom-Gesprächen beteiligten sich verschiedene Hersteller, die insgesamt 95% des Marktes für schwere Nutzfahrzeuge (>12 t) in Deutschland ausmachen. Einerseits stellten die Unternehmen in diesem Rahmen Informationen über ihre geplanten Absatzzahlen in den kommenden Jahren sowie über die zukünftigen technischen Eigenschaften der Fahrzeuge (z. B. Reichweiten) bereit. Andererseits wurden in strukturierten Interviews die strategische Bewertung der Technologieoptionen, die Beurteilung der regulatorischen Rahmenbedingungen und der Bedarf an Infrastruktur erfragt.

Die Hersteller setzen in ihren Strategien für emissionsfreie Antriebe hauptsächlich auf batterieelektrische und wasserstoffbasierte Antriebe, wobei zwei Hauptstrategien erkennbar sind: Die erste Gruppe fokussiert sich auf E-Lkw als alleinige Lösung, während die zweite Gruppe sowohl E-Lkw als auch Brennstoffzellenantriebe vorantreibt. Die erste Gruppe argumentiert, dass E-Lkw niedrigere Betriebskosten bieten und schneller die Kostenparität mit Diesel-Lkw erreichen werden. Sie betonen die bereits erreichte Leistungsfähigkeit dieser Technologie und ihre Eignung für den Straßengüterverkehr. Die zweite Gruppe hingegen sieht Brennstoffzellen als wichtige Optionen, insbesondere für den Fernverkehr und den internationalen Güterverkehr.

Die Oberleitungs-Technologie wird von keinem Hersteller als strategische Priorität betrachtet. Einige sind ablehnend, während andere mögliche Integrationen in E-Lkw in Erwägung ziehen. Es gibt jedoch Bedenken hinsichtlich des zeitaufwändigen Aufbaus einer großflächigen Oberleitungsinfrastruktur und der damit verbundenen finanziellen Vorleistungen.

Diese strategische Ausrichtung der Hersteller hängt dabei wesentlich davon ab, ob die Technologie-Vorgaben an Flottengrenzwerte in den Kernmärkten erfüllen kann. Für das europäische Flottenziel für 2025 (von 15% Emissionsreduktion gegenüber der Flotte von 2019/20, [3]) konzentrieren sich alle Hersteller hauptsächlich auf E-Lkw, da diese Technologie im Gegensatz zur Brennstoffzellentechnologie bereits reif und auf dem Markt verfügbar ist.

Während diese regulatorischen Vorgaben Treiber der Strategien der Hersteller sind und die Absatzzahlen und Ziele der Hersteller zeigen, dass sie bereits Anteile emissionsfreier Fahrzeuge anstreben, die über EU-Vorgaben bis 2030 hinausgehen, warnen sie dennoch vor strengen Verschärfungen der Flottengrenzwerte und sehen darin ein existenzbedrohendes Risiko. Aktuell streben die Hersteller in Deutschland bis 2030 einen Anteil von rund 75% emissionsfreier Nutzfahrzeuge bei den Neuzulassungen an, in Europa sollen es rund 60% sein. Es wird damit gerechnet, dass 2030 und auch darüber hinaus überwiegend batterieelektrisch betriebene Lkw eingesetzt werden.

Die strategische Bewertung der Antriebsoptionen hängt zudem maßgeblich von der Technologiereife im Vergleich zum herkömmlichen Dieselantrieb ab. Im Nah- und Regionalverkehr gilt der batterieelektrische Lkw als serienreif. Im Fernverkehr (über 500 km) sehen einige Hersteller den E-Lkw als ausgereift an, während andere noch erheblichen Entwicklungsbedarf artikulieren, insbesondere hinsichtlich Batteriestandfestigkeit sowie der Gesamtstabilität des elektrischen Antriebsstrangs. Bezüglich Langstreckentauglichkeit und Lebensdauer, können die schweren Modelle, die alle Hersteller, die an den Cleanroom-Gesprächen teilnahmen, auch bereits auf dem Markt haben, noch nicht mit Diesel-Lkw mithalten. Neue Batterietechnologien und Entwicklungsfortschritte bei der Lithium-Ionen-Batterietechnologie sollen in den nächsten Jahren zu einem technologischen Durchbruch führen.

Die Kostenparität zu Diesel-Lkw wird als entscheidend für die Nachfrage und den Hochlauf der Antriebe im Straßengüterverkehr angesehen. Einfluss darauf haben drei Hauptfaktoren: finanzielle Anreize, regulatorische Vorgaben und die Entwicklung der Energiekosten. Hierbei variieren die Einschätzungen – einige Hersteller sehen die Kostenparität für E-Lkw gegenüber Diesel-Lkw bereits Mitte dieses Jahrzehnts erreicht, während andere Förderungen und deutliche Anreize bis zum Ende des Jahrzehnts als notwendig erachten.

Aufgrund des zeitlichen Vorsprungs der Technologierverfügbarkeit und der Einschätzung der Fahrzeughersteller, dass BEV-Lkw in allen Größenkategorien vor der Alltagstauglichkeit stehen, wird im Folgenden ausschließlich diese Technologie berücksichtigt.

02.02 LADEINFRASTRUKTUR

Um ein Kraftfahrzeug mit Strom zu laden, stehen nach aktuellem Stand unterschiedliche Technologien und Methoden zur Verfügung, welche sich in ihrer Anwendung und Realisierbarkeit stark unterscheiden können: Konduktives Laden, die Oberleitungstechnologie und das induktive Laden [4].

Der aktuelle Fokus der Industrie und dieser Studie liegt auf dem konduktiven Laden, dass das Laden mithilfe eines Ladekabels beschreibt. Eine besondere Rolle wird in den kommenden Jahren das Megawatt Charging System (MCS) einnehmen. Mit diesem Ladesystem sollen in Zukunft Ladeleistungen im Megawattbereich möglich sein, was die Ladegeschwindigkeit erheblich erhöhen wird, und somit kurzfristiges Zwischenladen ermöglichen soll. Einige Fahrzeughersteller gehen davon aus, dass E-Lkw damit in Zukunft innerhalb der gesetzlich vorgeschriebenen Ruhezeiten einen hinreichenden Teil der Batterie wieder laden können. Standardisierungsbemühungen der Hersteller in der Initiative CharIN („Charging Interface Initiative

e. V.“) zielen darauf ab, den MCS-Stecker als globalen Standard zu etablieren. Der Standard ist wesentlich für effektives Zwischenladen an öffentlicher Infrastruktur.

Trotz der Notwendigkeit zur Etablierung des MCS gehen die Hersteller davon aus, dass das Verhältnis von Depotladen zu öffentlichem Laden bei voraussichtlich 80% zu 20% liegen wird. Depotladen bezeichnet das Szenario des Ladens auf dem Firmengelände an nicht öffentlich nutzbarer Ladeinfrastruktur. Es wird davon ausgegangen, dass Depotladen vornehmlich in längeren Standzeiten z.B. über Nacht vorgenommen wird. Es wird angenommen, dass dieses Ladeszenario gerade in den ersten Jahren des Hochlaufs eine maßgebliche Rolle spielen wird, da es für die Fahrzeugführer kostengünstiger und kalkulierbarer ist.

Die Ladeszenarien hängen stark von der geplanten Fahrdistanz zwischen zwei Ladestopps ab [5]. Viele Fahrten von Nutzfahrzeugen liegen innerhalb der Reichweite einer Batterieladung von E-Lkw, wodurch viele Ladezyklen auf privatem Gelände durchgeführt werden können [4]. Die Fahrzeughersteller erwarten, dass 100 % des Verteilerverkehrs im eigenen Depot geladen werden Die private E-Ladeinfrastruktur kann auf einem betriebseigenen Gelände, auf fremdem Betriebsgelände oder an privaten mobilen Ladestationen errichtet werden [1].

Im Fernverkehr ist davon auszugehen, dass eine Batterieladung nicht ausreichen wird und E-Lkw am Weg (mehrmals) nachladen müssen. Die Fahrzeughersteller gehen davon aus, dass ca. die Hälfte der Ladezyklen im Fernverkehr jeweils auf privatem bzw. öffentlichem Gelände stattfinden werden. Die dafür notwendige öffentliche E-Ladeinfrastruktur soll ein reibungsloses und zeiteffizientes Nachladen ermöglichen, um keine zusätzlichen Kosten oder Verspätungen zu verursachen. Dafür könnte die Errichtung von E-Ladestationen an Umschlagpunkten, Tankstellen, Raststätten etc. zielführend sein. In der Planung der öffentlichen Ladeinfrastruktur sollte zwischen Ladestationen für Ladezyklen zur Tag- bzw. Nachtzeit (Overnight Charging) unterschieden werden. Abhängig von den Bedürfnissen für die beiden Ladetypen ist noch zu untersuchen, ob Ladestationen sich auf Zwischendurch-/ Übernachtladen spezialisieren oder beides anbieten sollten [6]. Als besonders wichtig wird die Planbarkeit von Ladezyklen erachtet, um die engen Zeitpläne der Logistikbranche erfüllen zu können. Ein zentrales Reservierungs- und Buchungssystem für E-Ladestationen könnte die Planbarkeit erhöhen.

Die benötigte E-Ladeinfrastruktur für den Schwerlastverkehr wird sowohl aus privater als auch öffentlicher Ladeinfrastruktur bestehen. Zur privaten Infrastruktur zählen

- E-Ladestationen auf dem Betriebsgelände des Lkw-Betreibers,
- E-Ladestationen auf dem Betriebsgelände eines anderen Unternehmens (z.B. Mitbewerber etc.) oder auch
- mobile Ladestationen, die nur bestimmten Fahrzeugen bzw. Unternehmen zur Verfügung stehen,

Die öffentliche Infrastruktur besteht aus allen Ladestationen, die prinzipiell von jedem Fahrzeug bzw. Unternehmen genutzt werden können. Dazu zählen Ladestationen

- an Umschlagpunkten,
- in Gewerbegebieten,
- an Hauptverkehrsachsen,
- entlang der Autobahn,

- oder an Rast und Parkplätzen

wobei insbesondere Standorte mit ausreichender Platzverfügbarkeit relevant sein werden.

02.03 STAKEHOLDER-INTERVIEWS

Im Bereich der öffentlichen Ladeinfrastruktur für den Schwerlastverkehr agieren viele verschiedene Interessensgruppen. Diese bringen unterschiedliche Standpunkte hinsichtlich der aktuellen Situation und des Bedarfs an Ladeinfrastruktur ein. Um die unterschiedlichen Sichtweisen zu analysieren und mögliche Herausforderungen im Aufbau einer E-Ladeinfrastruktur für Lkw zu erkennen, wurden Interviews mit den relevantesten Interessensgruppen durchgeführt. Allgemein wurden dabei die Sichtweisen zu der aktuellen Situation und zukünftigen Prognosen hinsichtlich Fahrzeugverfügbarkeit, Einsatz von E-Lkw und den Anforderungen an den Auf- und Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur abgefragt. In der **Auswahl der Interviewpartner** wurden zunächst die **zentralen Stakeholdergruppen für die Mitwirkung an einer öffentlichen E-Ladeinfrastruktur für den Schwerlastverkehr** identifiziert, welche

- Investoren in E-Ladeinfrastruktur,
- E-Fahrzeughersteller (OEM),
- Logistikunternehmen,
- Netzbetreiber und
- Ladesäulenhersteller

umfasst.

Die einzelnen Interviewpartner wurden anhand ihrer **Relevanz für Baden-Württemberg** identifiziert. Insbesondere wurden Interessensvertreter mit einer unterschiedlichen Ausgestaltung ihrer Dienstleistungen berücksichtigt, beispielsweise Logistikunternehmen mit einem Fokus auf regionale Distribution bzw. Fernverkehr oder Investoren mit unterschiedlicher Unternehmensgröße.

Die Interviews wurden anhand eines pro Interessensgruppe einheitlichen Interviewleitfadens durchgeführt, wobei die **Themenbereiche strategische Roadmap, Investitionsplanung, mögliche Einsatz-/ Ladeszenarien, Einschätzung der Entwicklung und technische Anforderungen** im Fokus standen. Ziel war es die Sichtweisen zu zentralen Fragestellungen aus unterschiedlichen Perspektiven aufnehmen zu können, um ein vergleichbares und ausgewogenes Gesamtbild aus der Vielzahl an Interviews zu erhalten.

Im Folgenden werden die Standpunkte der Interessensgruppen bezüglich der wichtigsten Themenbereiche dargestellt und zu Hauptaussagen der Experteninterviews zusammengefasst.

02.03.01 STATUS-QUO DER E-MOBILITÄT UND LADEINFRASTRUKTUR IM SCHWERLASTVERKEHR

Zuerst wurde die Wahrnehmung der aktuellen Situation hinsichtlich des Anteils an E-Lkw der Flotten bzw. der Nutzung von vorhandener E-Ladeinfrastruktur erfragt. Aktuell haben Logistikunternehmen laut eigener Aussage einen geringen Anteil (ca. 1 – 2 %) an E-Lkw in ihrer Flotte und testen derzeit deren Einsatz in **gezielten Pilotprojekten**. Die vorhandenen E-Lkw sind meist im Nah- und Regionalverkehr (maximale tägliche Reichweite von ca. 300 km) im Einsatz,

wobei davon ausgegangen wird, dass zum Großteil bzw. beinahe ausschließlich am Depot geladen werden kann. Die Logistiker berichten, dass sie dafür auch eine **eigene Ladeinfrastruktur auf dem Gelände** installieren, wenn dies aus rechtlichen und wirtschaftlichen Gründen möglich ist.

Investoren in E-Ladeinfrastruktur haben in den Interviews berichtet, dass sie bisher einige **CCS-Ladestationen an Verkehrsknotenpunkten** wie Häfen, Autobahnen etc. im Betrieb haben, meist mit einer möglichen **Leistung von etwa 50 – 300 kW**. Sie sind momentan verstärkt auf der Suche nach Flächen, um weitere E-Ladestationen aufzubauen, sehen aber Herausforderungen aufgrund mangelnder Verfügbarkeit und komplizierter Pachtverfahren. Zudem berichten die Investoren von Aufträgen privater bzw. halböffentlicher Ladesäulen, um das Depotladen auszubauen.

Bei den Fahrzeugherstellern befinden sich derzeit **E-Lkw mit einer Reichweite von bis zu 350 km** im Sortiment. Die Umstellung des Sortiments auf elektrische Modelle ist aktuell als inhomogen wahrzunehmen.

Netzbetreiber berichten, dass sie mit einer **großen Anzahl an Netzanschlussbegehren** konfrontiert sind. Viele Anträge betreffen aktuell private Ladesäulen im Depot. Aber auch andere Bereiche der Energiewende, wie PV-Anlagen oder Wärmepumpen, erfordern Aufmerksamkeit und Personalkapazitäten. **Lange Lieferzeiten für Hardware** z.B. für Trafos werden von den Netzbetreibern als Hemmnis angegeben. Der Fokus in der technischen Entwicklung bei Ladesäulenherstellen liegt aktuell auf der **Entwicklung von leistungsstärkeren Ladesäulen**, um eine Reduzierung der Ladezeiten zu erreichen. Das Ziel laut Herstellern ist es, die Ladesäulen möglichst vielseitig einsetzbar zu machen, um verschiedene Ladeszenarien mit einer Ladesäule abdecken zu können.

02.03.02 INVESTITIONSVORHABEN DER VERSCHIEDENEN STAKEHOLDER

In den kommenden Jahren werden voraussichtlich viele verschiedene Unternehmen in den Aufbau von E-Lkw-Ladeinfrastruktur selbst und die dazugehörige restliche Infrastruktur investieren wollen, wobei sich die Herausforderungen und Anreize gegebenenfalls unterscheiden. Im Folgenden wurde der Fokus auf Investoren in Form von Mineralölunternehmen, Energieunternehmen, Netzbetreibern, Lkw produzierende Unternehmen (OEM) und Ladesäulenhersteller gelegt, deren aktuelle Situation und Investitionsvorhaben in den Stakeholder-Interviews erfragt wurden.

Mineralölunternehmen befinden sich in einem Wandel ihres bestehenden Geschäftsmodells, da der Verkauf von fossilem Kraftstoff für Lkw stetig abnehmen wird. Dementsprechend groß sind **die Anreize in eine E-Ladeinfrastruktur zu investieren**, um ein klimafreundliches und zukunftsträchtiges Geschäftsmodell etablieren zu können. Diverse Unternehmen haben bereits öffentlich Ziele für den Aufbau von E-Ladeinfrastruktur verkündet, gleichermaßen wurde in den Interviews angemerkt, dass große Investitionen in Ladeinfrastruktur für die nächsten Jahre eingeplant werden.

Gleichzeitig investieren **Netzbetreiber** bereits in den Ausbau der benötigten Infrastruktur für den flächendeckenden Ausbau von E-Ladestationen. Die damit verbundenen langwierige Ge-

nehmigungsverfahren werden jedoch von vielen Marktteilnehmern und auch von der Bundesregierung im Masterplan Ladeinfrastruktur 2 als Herausforderung erkannt und sollen verbessert werden. Aus Sicht des Netzbetreibers würden Förderungen Anreize für einen schnelleren Ausbau setzen, sie sehen dies als zentrale Voraussetzung für eine langfristige Investitionsplanung an.

Um den Absatz von E-Lkw künftig weiter zu steigern, haben die großen **Lkw-Hersteller** ihre Kräfte gebündelt und versuchen den Engpass bei E-Ladesäulen gemeinsam zu beheben. Mehrere Lkw-Produzenten steigen selbst in den Markt der E-Ladestationen ein und installieren eigenständig oder in Kooperation mit anderen Interessensgruppen Schnellladestationen.

Als Unterstützung zu den Investitionsvorhaben der Stakeholder reagierte die **Bundesregierung** auf den Engpass bei E-Ladestationen mit einem öffentlichen **Masterplan Ladeinfrastruktur** [7]. Darin werden verschiedene Ansätze beschrieben, um den Ausbau der Ladeinfrastruktur in Deutschland schnell voranzutreiben. Der Ausbau außerhalb des initialen Netzes soll durch finanzielle Unterstützung des Bundes incentiviert werden, beispielsweise durch Fördermaßnahmen für die Lkw-Ladeinfrastruktur auf Betriebsgeländen, an Umschlagpunkten, in Gewerbegebieten, an Ladehubs und an Flächen neben den Bundesfernstraßen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Engpass von E-Ladestationen für Lkw von vielen verschiedenen Interessensgruppen erkannt wurde und an dem Ausbau gearbeitet wird. Da viele verschiedene Stakeholder an dem Ausbau beteiligt sind, ist eine Kooperation wichtig, um ein einheitliches und einfaches Ladesystem zu etablieren (z.B. gleiche Stecker-/ Lade-/ und Bezahlsysteme), damit das Laden eines E-Lkw so unkompliziert und effizient wird wie das Betanken eines Lkw mit fossilem Kraftstoff. Eine übergeordnete Koordination des Bundes durch die interministerielle Steuerungsgruppe Ladeinfrastruktur (ISLa) soll eine effektive Umsetzung des Ausbauplans ermöglichen [7].

02.03.03 ROADMAP UND PROGNOSEN DER VERSCHIEDENEN STAKEHOLDER

Die befragten Logistikunternehmen planen laut eigenen Angaben **bis 2030 ca. 45% – 60% ihrer Flotte zu elektrifizieren** und zwischen **2038 und 2045 eine komplette Umstellung auf emissionsfreie Lkw vorzunehmen**. Zeitnah wird dabei hauptsächlich auf den Umstieg auf batterie-elektrische Fahrzeuge gesetzt, da sich diese Technologie als vorteilhaft bezüglich Kosten und Effizienz erweist und die Annahme besteht, dass ein bedarfsgerechtes Ladenetz verfügbar sein wird. Es wurde angegeben auf diese Technologie zu setzen, da diese ein bereits vorhandenes Anwendungsfeld hat und es nur wenige, im Einzelfall zu betrachtende Ausnahmefälle (z.B. Transport von Gefahrgut, sehr lange Fahrstrecken) gibt.

Logistikunternehmen planen eigene Ladeinfrastruktur an ihren Standorten (Depots, Terminals etc.) aufzubauen. Die Pläne werden jedoch oftmals durch mangelnden Platz, lange Genehmigungsverfahren, langwierige Bearbeitung der Netzanschlussbegehren oder eine geringe Planbarkeit verzögert. Um den großen zukünftigen Bedarf zu decken, sind zahlreiche Logistikunternehmen grundsätzlich bereit auch eine semi-öffentliche Ladeinfrastruktur mit Mitbewerbern aufzubauen.

Investoren berichteten, dass sie in den nächsten Jahren vermehrt E-Ladestationen an Hauptverkehrspunkten wie z.B. Häfen und Autobahnen aufbauen und deren Leistung schrittweise

erhöhen wollen, um die notwendige Verkürzung der Ladezeit zu erreichen. Die Alternative Fuels Infrastructure Regulation (AFIR)-Richtlinie mit der Anforderung von maximal 60 km Abstand zwischen den Ladestationen im TEN-V-Netz **wird als Startpunkt angesehen**, eine **schrittweise Verkleinerung der Abstände an Hauptverkehrsachsen wird jedoch erwartet**. Sobald der MCS-Standard definiert ist, wollen Investoren MCS und auch CCS-Laden (für ältere E-Lkw Modelle, Übernachtladen etc.) an allen Ladestationen anbieten. Investoren berichten von konkreten Plänen, **mehrere tausend Ladestationen bis 2030 aufzubauen**.

Das Ziel der OEM ist, ihre CO_2-Emissionen bis 2030 circa zu halbieren, die Herstellung und **Weiterentwicklung ihrer batteriebetriebenen Lkw** nimmt als zentrale Maßnahme zur Erreichung dieser Ziele eine **hohe Priorität** an. Probleme bei der Elektrifizierung sehen die OEM nur für einen sehr kleinen Anteil der Fahrzeuge, z.B. im Fernverkehr mit sehr langen Fahrstrecken. Die Hersteller streben in den nächsten Jahren (bis 2025/26) eine **Erweiterung der Reichweite auf bis zu 500 km** an und bis spätestens 2030 sollen E-Lkw-Neuzulassungen mit dem MCS-Standard ausgestattet sein, was vor allem für die Elektrifizierung des Fernverkehrs von Vorteil sein wird. Produktionskapazitäten werden von den OEM nicht als Hindernis für den E-Lkw-Hochlauf wahrgenommen.

Netzbetreiber planen laut ihren Interviewaussagen einen stetigen und langfristigen Ausbau des öffentlichen Netzes. Die **großen Netzbetreiber sind mit einer Bedarfsplanung für zukünftige Netzanschlüsse beschäftigt**, für viele kleine Netzbetreiber ist dies jedoch derzeit kaum möglich. Auch die Beschleunigung der Prozesse zur Bearbeitung der Netzanschlussbegehren durch entsprechende Digitalisierungsmaßnahmen oder Automatisierung ist finanziell meist nur von großen Netzbetreibern zu bewältigen. Die Netzbetreiber erwarten eine **steigende Zahl an Anträgen für Hochspannungsanschlüsse**, welche komplexe Genehmigungsverfahren und Baumaßnahmen mit sich bringen und deshalb 5 – 10 Jahre in Anspruch nehmen können.

Ladesäulenhersteller sehen die Produktion von Ladesäulen als keinen wesentlichen Engpass im Ausbau der Ladeinfrastruktur, die Nachfrage nach Schnellladesäulen nehmen sie wahr und arbeiten daran, ihr nachzukommen.

02.03.04 DIE EINSATZ- UND LADESZENARIEN VON E-LKW

Die Einsatz- und Ladeszenarien der E-Lkw bestimmen maßgeblich den Bedarf einer öffentlichen E-Ladeinfrastruktur für den Schwerlastverkehr. Die Logistikunternehmen beschreiben den heutigen Einsatz ihrer E-Lkw mit Fahrten im Regional- und Werksverkehr, um nicht auf die öffentliche Ladeinfrastruktur angewiesen zu sein. Zukünftig planen die Unternehmen, den Einsatz auf längere Fahrstrecken z.B. im Fernverkehr auszubauen, wodurch der **Bedarf an öffentlichen Ladepunkten deutlich ansteigen wird**. Die Logistikunternehmen berichten von sehr unterschiedlichen Voraussetzungen für die Installation von E-Ladestationen im eigenen Depot. Grundsätzlich planen die Logistiker besonders in den nächsten Jahren ca. 90 – 100 % der benötigten Ladestopps im Regionalverkehr mit Depotladen abdecken zu können, bis eine öffentliche Ladeinfrastruktur aufgebaut ist. Manche Logistikunternehmen sind jedoch durch Platzmangel oder rechtliche Einschränkungen deutlich mehr auf öffentliches Laden angewiesen. Die Logistiker berichten, dass sie viele Ladestopps durch Schnelladen in den Lenk- und Ruhepausen der Lkw-Fahrer abbilden wollen, gleichzeitig sollen auch Übernachtladestopps

im Fernverkehr genutzt werden. Außerdem planen fast alle Logistiker die Zeit beim Be- und Entladen der Lkw oder bei Schichtwechseln für das Laden zu nutzen, wenn an den Standorten die Installation von Ladesäulen aus Platz bzw. Genehmigungsgründen möglich ist. Diese Ladestopps dauern meist zwischen ca. 30 Minuten und einer Stunde, was den Einsatz von Schnellladesäulen erfordert.

Investoren sehen in ihren Prognosen ein **durchschnittliches Verhältnis der Ladestopps von 50 – 60 % Depotladen und 40 – 50 % öffentliches Laden im Jahr 2030**, wobei die laut den Interviewpartnern stark von den Entwicklungen in den nächsten Jahren abhängig sind. Investoren sehen im Moment eine verstärkte Nutzung des Depotladens und einen Wechsel zum öffentlichen Laden bis 2030. Eine ähnliche Einschätzung bezüglich des Ladeverhaltens und dessen zeitlicher Entwicklung wurde von Fahrzeugherstellern, Ladesäulenherstellern und Netzbetreibern berichtet. Die Interessensgruppen sind sich einig, dass der **MCS-Standard notwendig** sein wird, um die Ladestopps im Fernverkehr an die gesetzlich festgelegten Lenkpausen (45 Minuten) als Ladezeit anzupassen. Die öffentliche Ladeinfrastruktur sollte nach Ansicht der OEM idealerweise an die Fahrrouten der E-Lkw angepasst werden.

02.03.05 ANFORDERUNGEN AN DIE ÖFFENTLICHE LADEINFRASTRUKTUR

Alle beteiligten Interviewpartner sehen die **flächendeckende öffentliche Ladeinfrastruktur als einen entscheidenden Faktor im Hochlauf der E-Lkw-Flotte** an, da viele E-Lkw Einsatzszenarien auf öffentliches Laden angewiesen sind. Die Logistikunternehmen sehen momentan einen besonderen Bedarf im Ausbau der Ladeinfrastruktur in Industriegebieten, da dort momentan die meisten E-Lkw (im Regional- und Verteilverkehr) im Einsatz sind. Sobald E-Lkw vermehrt auch im Fernverkehr zum Einsatz kommen, sehen die Logistiker auch den Ausbau in Autobahnnähe als notwendig an.

In den Interviews berichten die Investoren, dass sie große Investitionen von mehreren hundert Millionen Euro planen, um den Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur zu beschleunigen. Trotz der finanziellen Möglichkeiten sehen sich die Unternehmen mit Herausforderungen im Aufbau von E-Ladestationen und einer oftmals **schwer kalkulierbaren Wirtschaftlichkeit** konfrontiert. Die Fahrzeughersteller, wie auch andere Stakeholder, sehen das Megawatt-Laden als wichtigen Baustein an, um schnelleres Laden und eine Vereinheitlichung der Ladesysteme zu gewährleisten. Für die Standortauswahl der öffentlichen Ladestationen wünschen sich die OEM, dass die bekannten Fahrrouten von Diesel-Lkw berücksichtigt werden, um eine optimale Standortwahl zu ermöglichen.

Die Netzbetreiber äußerten, dass sie komplexe Abhängigkeiten auf das öffentliche Netz zukommen sehen, wenn gewisse Leistungen (Spitzenlasten an Ladestationen) übertragen bzw. ein Hochspannungsnetzanschlüsse installiert werden soll. Ladesäulenhersteller betonten in den Interviews, dass eine **hohe Verfügbarkeit an Ladestationen einen ausschlaggebenden Punkt für den E-Lkw-Hochlauf** darstellt.

02.03.06 HERAUSFORDERUNGEN BEIM AUSBAU DER LADEINFRASTRUKTUR

Die Interviewpartner haben einige Herausforderungen im Ausbau einer E-Ladeinfrastruktur genannt, die einen schnellen Hochlauf von E-Lkw behindern könnten. Gleichzeitig haben die

Stakeholder auch **mögliche Maßnahmen beschrieben, um die Herausforderungen bewältigen** zu können.

Die Logistikunternehmen, Netzbetreiber und Ladesäulenhersteller berichten von einem **erheblichen Flächenbedarf für E-Ladestationen**, unter anderem da die Ladezeiten im Vergleich zu Diesel-Lkw-Tankstopps erheblich länger sind und somit mit längeren Aufenthalten gerechnet wird. Zusätzlich führt die Installation von E-Ladestationen zu einem Engpass bei Parkplätzen, da im Durchschnitt etwa 1,5 Lkw-Parkplätze für die Erweiterung durch eine E-Ladesäule eingeplant werden müssen. Die Unternehmen würden auch eine Option zur Reservierung oder Buchung von Ladezeiten begrüßen, um die Planbarkeit ihrer Ladestopps zu verbessern.

Die Investoren in E-Ladeinfrastruktur sehen momentan Herausforderungen im **Beschaffen von Flächen in der Nähe der Autobahn** und müssen oftmals auf umliegende Gewerbegebiete etc. ausweichen. Die Investoren berichten von **Verzögerungen im Aufbau von Ladestationen durch langwierige Prozesse** für den Netzanschluss, da ein Netzanschlussbegehren mit mehreren Monaten bis Jahren Bearbeitungszeit verbunden ist. Meist wird deswegen das Begehren vor Vertragsunterzeichnung durchgeführt, da es entscheidend für die Wirtschaftlichkeit der Ladestation ist. Zu hohe Netzanschlusskosten führen vermehrt zur Absage von Projekten abgesagt und verursacht somit unnötige Ressourcenbindungen bei den Investoren wie den Netzbetreibern.

Die Investoren befürchten, dass bei einer zunehmenden Leistungssteigerung vermehrt E-Ladestationen an das Hochspannungsnetz angeschlossen werden müssen, was eine Anschlussdauer von 5 bis 10 Jahren erfordert. Dabei stehen sie vor der Herausforderung hoher Investitionskosten, einem sich ständig verändernden Strompreismarkt und einer unsicheren wirtschaftlichen Gesamtlage, die den Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur erschweren.

Die Fahrzeughersteller sehen Engpässe im Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur voraus, insbesondere aufgrund der langsamen Netzanschlüsse der E-Ladestationen. Die OEM befürchten, dass lange Warteschlangen an den Ladestationen einen negativen Einfluss auf das Image der öffentlichen Ladeinfrastruktur haben könnten. Die Netzbetreiber fordern die Investoren auf, sich möglichst frühzeitig in den Planungsprozess einzubringen, um Verzögerungen bei der Inbetriebnahme von E-Ladestationen durch Netzanschlussprozesse zu vermeiden.

02.03.07 MÖGLICHE FÖRDERUNGEN ZUR UNTERSTÜTZUNG DES HOCHLAUFS

Die Interviewpartner wurden auch zu möglichen Förderungen der öffentlichen Hand im Hinblick auf den Ausbau der öffentlichen E-Ladeinfrastruktur befragt. Alle Interessensgruppen haben die **Entscheidung zur Mautreduktion für emissionsfreie Lkw begrüßt** und sehen darin einen wichtigen Anreiz zum Umstieg auf E-Lkw. Die Logistikunternehmen haben den **Wunsch nach Vorteilen für E-Lkw** geäußert, um die Transformation der Flotten für Unternehmen attraktiver und wirtschaftlicher zu machen, z.B. eine 24-h-Fahrerlaubnis für E-Lkw in Städten. Generell wünschen sich die Logistikunternehmen klare regulatorische Vorgaben, um eine bestmögliche Planbarkeit in dem vorherrschenden dynamischen Umfeld zu erreichen. Durch den großen Preisdruck in der Branche könnte der Umstieg auf E-Lkw nur durch Förderungen von E-Lkw Käufen, den Netzanschlusskosten oder dem Strompreis zu bewältigen sein, berichten die Unternehmen.

Die Investoren würden Förderungen begrüßen, die die **hohen Anfangsinvestitionen in die E-Ladeinfrastruktur abfedern** und somit eine **bessere Planbarkeit der Wirtschaftlichkeit** potenzieller E-Ladestationen ermöglichen. Um dem Platzproblem entgegenzuwirken, haben einige Unternehmen vorgeschlagen, dass Länder und Kommunen ihre eigenen Flächen überprüfen und gegebenenfalls für die Installation von E-Ladestationen zur Verfügung stellen könnten. Die Investoren wünschen sich eine beschleunigte Bearbeitung der Netzanschlussbegehren sowie einen vorausschauenden Ausbau des öffentlichen Stromnetzes zu strategisch wichtigen Standorten für E-Ladestationen. Die Netzbetreiber entgegnen dem Argument, dass sie eine **Absicherung durch die öffentliche Hand** haben müssten, um den **vorausschauenden Netzausbau betreiben** zu können, da dies normalerweise anfragenbezogene Arbeiten sind.

Die Fahrzeughersteller sehen die **Schließung der Kostenschere zwischen E-Lkw und Diesel-Lkw** als notwendig an, um den Hochlauf der E-Lkw voranzutreiben. Vor allem die Kosten für Fernverkehr E-Lkw werden als hoch eingeschätzt, bei denen eine Kostenparität durch CO_2-Bepreisung oder Subventionen forciert werden könnte. Von der Politik wünschen sich die OEM schnelle Entscheidungen, um den E-Lkw Hochlauf zu beschleunigen.

02.03.08 ZUSAMMENFASSUNG DER INTERVIEWS

Insgesamt herrscht Konsens unter allen Stakeholdern, dass der batterieelektrische Lkw unter den emissionsfreien Antrieben als bevorzugte Antriebsform angesehen wird. Um dessen Hochlauf zu ermöglichen, sind sich alle befragten Interessensgruppen einig, dass ein zügiger Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur erforderlich ist. Die idealen Standorte der öffentlichen Ladestationen sieht man in der Nähe von Verkehrsknotenpunkten, Industriegebieten und Umschlagplätzen. Eine Vielzahl der Stakeholder sieht einen Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur nicht nur entlang der Autobahnen, sondern auch im Bereich des Regional- und Nahverkehrs als wichtig an. Der MCS-Standard wird von allen Interessensgruppen als wichtiger nächster Schritt im Hochlauf der E-Lkw gesehen, da er die Ladezeit deutlich reduzieren und den Ladevorgang vereinheitlichen wird.

Herausforderungen im Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur sehen die Interviewpartner zum einen im Netzanschluss, welcher durch komplexe und langwierige Genehmigungsverfahren aktuell als einer der größten Hindernisse für den schnellen Hochlauf beschrieben wird. Der Prozess des Netzanschlussbegehrend muss aus Sicht der Interessensgruppen dringend vereinfacht und beschleunigt werden. Des Weiteren wurde in den Gesprächen oft auf das Platzproblem hingewiesen, das im Zusammenhang mit E-Ladestationen auftritt. Es wurde festgestellt, dass Lkw-Parkplätze inkl. Ladestationen etwa 150 % der Fläche im Vergleich zu herkömmlichen Lkw-Parkplätzen beanspruchen. Die Akquise neuer geeigneter Flächen, insbesondere in der Nähe von Autobahnen, gestaltet sich nach Angaben der Interviewpartner als herausfordernd. Eine weitere Sorge ist die schwierige Planbarkeit der Ladeszenarien, die durch Reservierungsmöglichkeiten für Ladeslots reduziert werden könnten. Unterstützung erhoffen sich die Interessensgruppen vor allem in Form von Förderungen in der Anschaffung der Fahrzeuge, im Netzanschluss und/oder Strompreis oder durch eine CO_2-Bepreisung. Ebenfalls sind klare regulatorische Vorgaben und schnelle politische Entscheidungen von den Stakeholdern erwünscht, um die Planungssicherheit für die kommenden Jahre zu gewährleisten und einen möglichst schnellen Hochlauf zu ermöglichen.

03. BEDARFS- UND STANDORTANALYSE FÜR ÖFFENTLICHE LADEINFRASTRUKTUR FÜR E-LKW

Ziel dieses Analyseschritts ist eine Prognose für den flächendeckenden Ausbau der Ladeinfrastruktur für schwere Nutzfahrzeuge (entsprechend der Klassen N2, N3 mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 3,5 Tonnen) in Baden-Württemberg. Ziel ist es, den Bedarf an öffentlicher Ladeinfrastruktur für die Zieljahre 2027, 2030 und 2035 zu ermitteln und geeignete Standorte dafür zu identifizieren. Die Arbeiten umfassen die Bedarfsanalyse und -projektion entsprechend den Klimaschutzzielen des Landes Baden-Württemberg, den Abgleich von dem Bedarf mit gesetzlich vorgeschriebenen Mindestvorgaben an Ladeinfrastruktur für E-LKW sowie die Identifikation und Bewertung von Standorten für die Ladebedarfe im Regional- und Fernverkehr. Finales Ergebnis der Aufgabe ist ein Stufenkonzept, das ein bedarfsgerechtes Netz an Standorten für die Zieljahre aufzeigt bzw. Fernstraßensektoren und Landkreise mit Engpässen hinsichtlich Standortpotenzialen identifiziert. Das Ergebnis kann öffentlicher Hand, Netzbetreibern und Investoren als Ausgangsbasis zur Planung des Ladeinfrastrukturausbaus dienen.

03.01 BEGRIFFSERKLÄRUNGEN

In diesem Abschnitt sollen zentrale Begriffe der folgenden Bedarfs- und Standortanalyse definiert werden. Im Folgenden wird zwischen einer Sattelzugmaschine (SZM) und einem Lastkraftwagen (Lkw) unterschieden:

- **Eine Sattelzugmaschine (SZM) ist ein Kraftfahrzeug für den Transport von Sattelaufliegern** und stellt ein kurzes Lkw-Fahrgestell dar. Ein Gespann aus SZM und Sattelauflieger wir auch als Sattelzug bezeichnet und stellt die hier betrachtete Alternative zum Lkw dar. Sattelzugmaschinen sind zwei- oder dreiachsige Kraftfahrzeuge, die mit zwei- oder dreiachsigen Sattelanhängern zu fünf- oder sechsachsigen Sattelzügen kombiniert werden können, für die ein Gesamtgewicht von 40 Tonnen zulässig ist (beim Transport von 40 Fuß ISO-Containern im kombinierten Verkehr ist ein Gesamtgewicht von 44 Tonnen zulässig) [8].
- **Lastkraftwagen** vereint die sonstigen Nutzfahrzeuge für Gütertransport in unterschiedlicher Größe und Gestaltung. Im Unterschied zur SZM umfasst ein Lkw einen fest verbauten Aufbau zum Tragen der Last. Lastkraftwagen existieren je nach Bauart mit unterschiedlichen zulässigen Gesamtgewichten, entsprechend der vom Kraftfahrtbundesamt bereitgestellten Statistik entfallen mehr als vier Fünftel der in Baden-Württemberg zugelassenen Lastkraftwagen auf die N1-Klasse mit zulässigem Gesamtgewicht unter 3,5 Tonnen. Da der Fokus dieser Analyse auf den Klassen N2 und N3 liegt, bezeichnen Lkw im Folgenden Lastkraftwagen mit zulässigem Gesamtgewicht über 3,5 Tonnen. Die Zulassungszahlen in Baden-Württemberg zeigen für dieses Segment eine fast gleichmäßige Verteilung – 53% der Lkw gehören zur N2-Klasse mit zulässigem Gesamtgewicht zwischen 3,5 und 12 Tonnen und 47% sind der N3-Klasse zuzuordnen mit zulässigem Gesamtgewicht von über 12 Tonnen [9].

Die folgenden Begriffe werden in Bezug auf E-Ladeinfrastruktur definiert:

- **Ein Ladestopp** bezeichnet eine Fahrunterbrechung, um die Batterien eines E-Fahrzeugs zu laden.
- **Ein Ladepunkt** ist eine Einrichtung, an der zur gleichen Zeit ein einzelnes E-Fahrzeug geladen werden kann.
  Ladestation/ Ladesäule bezeichnet eine Einrichtung, die mehrere, üblicherweise ein bis drei Ladepunkte bietet und es ermöglicht, mehrere elektrische Fahrzeuge gleichzeitig aufzuladen.

In der Analyse wird zudem zwischen unterschiedlichen Einsatz- und Ladeszenarien unterschieden:

- **Depotladen** bezeichnet das Laden von E-Lkw auf Firmengelände an privater Ladeinfrastruktur.
- **Öffentliches Laden** beschreibt Ladevorgänge an öffentlich zugänglichen Ladepunkten, die grundsätzlich allen Betreibern von E-Lkw offensteht.
- **Zwischenladen** beschreibt Ladevorgänge, die in kurzer Zeit (ca. 30 – 90 Minuten) zum Zwischenladen durchgeführt werden, beispielsweise während der gesetzlich vorgeschriebenen Lenkpausen des Fahrpersonals.
- **Übernachtladen** bezeichnet das Laden während der langen Ruhezeiten des Fahrpersonals (mindestens acht Stunden) und wird häufig während der Nacht durchgeführt, sodass die Batterie auch bei niedriger Ladeleistung vollständig aufgeladen werden kann.
- **Beim Regionalverkehr** handelt es sich um Fahrten mit einer Strecke von **bis zu 150 Kilometern** zwischen Start- und Zielort.
- **Im Fernverkehr** handelt es sich um Fahrten mit einer Strecke von **mehr als 150 Kilometern** zwischen Start- und Zielort.

03.02 AUFSTELLUNG VON BEDARFSANALYSEN

In den nächsten Jahren wird ein schrittweiser Hochlauf der E-Mobilität im Schwerlastverkehr einen steigenden Bedarf an öffentlicher Ladeinfrastruktur mit sich bringen. Der Bedarf wird zeitlich ansteigen und lokal stark variieren. In den Experteninterviews wurde mehrfach die Planungsunsicherheit in Bezug auf die Verfügbarkeit von öffentlicher Ladeinfrastruktur erwähnt, die auch den Hochlauf verlangsamen könnte. Die dargestellte Bedarfsanalyse modelliert den Hochlauf des elektrifizierten Schwerlastverkehrs und prognostiziert somit den lokalen Bedarf an E-Ladeinfrastruktur in den Zieljahren 2027, 2030 und 2035.

03.02.01 ZIELSETZUNG

Die Bedarfsanalyse hat das Ziel den **lokalen Bedarf an Ladeinfrastruktur für E- Lkw** in Baden-Württemberg zu ermitteln, der durch den ansteigenden Schwerlastverkehr und die Elektrifizierung der Flotte erwartbar steigen wird. Das Modell prognostiziert die zu erwartenden Ladestopps mit einer Unterscheidung in Zwischenladestopps mit einer Dauer von bis zu einer Stunde, Übernachtladestopps von ca. 8 Stunden und Depotladestopps in den Zieljahren 2027,

2030 und 2035. Zudem wurde eine Unterscheidung der Zwischenladestopps für den Regionalverkehr und den Fernverkehr vorgenommen, da der lokale Bedarf im Fernverkehr an den Hauptverkehrsachsen auftritt und im Regionalverkehr auf alle Verkehrsstraßen verteilt ist.

03.02.02 DATEN UND METHODIK

Für die Modellierung werden **Daten des Güterverkehrsaufkommens (in km)** vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) in Baden-Württemberg aus dem Jahre 2019 verwendet und mit Hilfe der Langzeitprognose des BMDV, die Fahrleistung im Güterverkehr in den Zieljahren 2027, 2030 und 2035 bestimmt [10]. Die prognostizierte Entwicklung des Güterverkehrsaufkommens für die Zieljahre ist in Tabelle 1 dargestellt. Die Fahrleistung wird anhand von Daten des Kraftfahrtbundesamtes (KBA) in die Kategorien Lkw und SZM unterteilt [11]. Die Anzahl der Fahrzeuge in den beiden Kategorien Lkw und SZM wird anhand der Daten des BMDV zu der durchschnittlichen Jahresfahrleistung eines Lkw bzw. einer SZM pro Jahr bestimmt [12].

03.02.02.01 VERKEHRSENTWICKLUNG

Der Hochlauf des Anteils an E-Fahrzeugen mit der Unterscheidung in Lastkraftwagen und Sattelzugmaschinen basiert auf Berechnungen der Gutachter Trimode Transport Solutions in Abstimmung mit dem Verkehrsministerium Baden-Württemberg unter wissenschaftlicher Begleitung der Universität Stuttgart und der Firma PTV. Dabei werden zwei verschiedene Hochläufe verwendet:

- Ein **Zielszenario**, das den Hochlauf widerspiegelt, der benötigt wird, um die gesetzlichen Klimaschutzziele zu erreichen, und wiederum mithilfe verschiedener Instrumente (z.B. preislicher Anreize durch eine Anhebung des CO2-Preises, einem Wegfall von Hemmnissen bei der Ladeinfrastruktur) erzielt werden kann.
- Ein **Mindestszenario** spiegelt den Hochlauf wider, der möglich ist, wenn zumindest keine Hemmnisse bei der Ladeinfrastruktur existieren, andere Instrumente zur Flottenumstellung aber ausbleiben.

Die Anteile der E-Lkw an der gesamten Flotte in den beiden Hochlauf-Szenarien sowie die entsprechenden absoluten Fahrzeugzahlen sind in Tabelle 1 dargestellt. Hierbei ist anzumerken, dass für die Modellierung der Hochläufe Lkw ab 7,5 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht betrachtet wurden. In dieser Analyse werden nur Lkws der Klassen N2 und N3 betrachtet ab einem zulässigen Gesamtgewicht von 3,5 Tonnen. Vergleicht man die Hochläufe im Ziel und Mindestszenario mit weiteren publizierten Prognosen wird deutlich, dass diese Szenarien vergleichsweise hohe Flottenanteile für die Zieljahre beinhalten und von einem vergleichsweise ambitionierten Hochlauf ausgehen. Generell ist anzunehmen, dass leichtere Fahrzeuge einen schnelleren Hochlauf erfahren könnten, da Batteriekapazitäten und Reichweiten besser zu den Einsatzszenarien der leichteren Lkw passen. Die Unterscheidung zwischen SZM und Lkw bei der Modellierung des Hochlaufs ist sinnvoll, um der unterschiedlichen Einsatzdauer und dem durchschnittlichen Fahrzeugalter Rechnung zu tragen. SZM weisen eine deutlich höhere Jahreslaufleistung auf als Lkw [9] und ebenso ist das Fahrzeugalter der zugelassenen SZM geringer. Die durchschnittlichen, in der Hochlaufmodellierung angenommen Lebensdauern von

SZM und Lkw sind in guter Deckung mit den Zulassungsstatistiken für SZM und Lkw der Klassen N2 und N3. Aus diesen Gründen werden für diese Analyse die oben diskutierten Hochlaufszenarien herangezogen.

Tabelle 1: Die Entwicklung des Güterverkehrs in den Zieljahren (Daten des BMDV) und die entsprechend den Hochlaufszenarien prognostizierte Anteile der E-Fahrzeuge (Daten des Verkehrsministeriums Baden-Württemberg) sowie absolute Fahrzeugzahlen sind dargestellt.

Jahre	Entwicklung Güterverkehr	E-SZM, Mindestszenario	E-Lkw, Mindestszenario	E-SZM, Zielszenario	E-Lkw, Zielszenario
2023	100 %	0 (0 %)	90 (0 %)	0 (0 %)	90 (0 %)
2027	106,6 %	2.790 (6 %)	5.530 (6 %)	3.580 (8 %)	7.610 (8 %)
2030	111,6 %	11.180 (24 %)	17.740 (17 %)	15.580 (34 %)	25.260 (24 %)
2035	119,9 %	31.870 (64 %)	51.000 (46 %)	39.680 (80 %)	65.520 (59 %)

Die prognostizierte Anzahl der E-Fahrzeuge in den Zieljahren wird genutzt, um die **Anzahl der E-Fahrzeuge im Regional- und Fernverkehr** zu bestimmen. Dazu werden KBA-Daten des Verkehrsaufkommens zu den Fahrleistungen der Lastkraftwagen und Sattelzugmaschinen [11] und die durchschnittliche Jahresfahrleistung der Lkw und SZM des BMDV [13] herangezogen. Fahrzeuge mit einer maximalen Fahrstrecke vom Start zum Zielort unter 150 km werden dem Regionalverkehr und alle anderen Fahrzeuge dem Fernverkehr zugeordnet. Ein Großteil der Fahrzeuge, nämlich ca. 88 % der Lastkraftwagen und ca. 47 % der Sattelzugmaschinen, verkehren im Regionalverkehr. Im Fernverkehr kommen vor allem Sattelzugmaschinen zum Einsatz (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Das Verhältnis der Fahrzeuge im Regional- und Fernverkehr in den Kategorien Lkw und SZM.

	Regionalverkehr	Fernverkehr
Lastkraftwagen (Lkw)	88 %	12 %
Sattelzugmaschine (SZM)	47 %	53 %

03.02.02.02 LADESZENARIEN

Die Ladeszenarien repräsentieren das **durchschnittliche tägliche Ladeverhalten eines E-Fahrzeuges** mit der Unterteilung in Fahrzeugtyp und durchschnittliche Fahrstrecke. Die Ladeszenarien für den Regional- und Fernverkehr werden aus den Prognosen der Stakeholder in den Interviews und veröffentlichten Studien der Association des Constructeurs Européens d'Automobiles (ACEA) und des Öko-Instituts e.V. [14] [15] bestimmt und sind in Tabelle 3 dargestellt. Im Regionalverkehr geht man von einer geringeren täglichen Fahrstrecke als die maximale Reichweite des E-Lkw aus, wodurch mit einem nächtlichen Ladevorgang im Depot zu

rechnen ist. Bei einem Regionalverkehr-Lkw wird ca. ein öffentlicher Ladestopp alle fünf Tage angenommen und eine Sattelzugmaschine im Regionalverkehr mit einem Ladestopp alle drei Tage an öffentlichen Ladestationen. Die Stakeholder haben in den Interviews berichtet, dass sie auch im Regionalverkehr von öffentlichen Lademöglichkeiten ausgehen. Es ist davon auszugehen, dass E-Fahrzeuge im Regionalverkehr keine Nachtladestopps an öffentlichen Ladestationen durchführen, da sie nachts im eigenen Depot laden können.

Im Fernverkehr wird mit längeren Fahrstrecken als die maximale Reichweite des E-Lkw gerechnet und somit wird davon ausgegangen, dass diese **E-Lkw täglich einen Zwischenladestopp** an einer öffentlichen Ladestation durchführen werden, z.B. in der gesetzlich vorgeschriebenen Lenk- und Ruhezeit. Im Fernverkehr wird auch ca. ein **Nachtladestopp** während der Schlafpause an jedem dritten Tag angenommen. Der E-Lkw im Fernverkehr wird vor Beginn der Fahrt im Depot vollgeladen, so dass mit ca. vier Depotladestopps pro Woche bei sechs Einsatztagen gerechnet wird.

Tabelle 3: Ladeszenarien für Zwischenladestopps, Nachtladestopps und Depotladestopps im Regional- und Fernverkehr.

	Zwischenladestopps pro Tag und E-Lkw	Übernachtladestopps pro Tag und E-Lkw	Depotladestopps pro Tag und E-Lkw
Regionalverkehr – Lkw	0,2	0,0	1,0
Fernverkehr – Lkw	1,0	0,33	0,67
Regionalverkehr – SZM	0,3	0,0	1,0
Fernverkehr – SZM	1,0	0,33	0,67

Aus den prognostizierten Ladestopps wurde der **Bedarf an Ladepunkten** abgeleitet [15]. Dabei wurden vier Zwischenladestopps pro Tag und pro CCS-Ladepunkt bzw. acht Zwischenladestopps pro Tag an einem MCS-Ladepunkt angenommen. Es wird mit 1,5 Übernachtladestopps pro Tag gerechnet, da die Ladepunkte teilweise auch untertags in langen Lenk- und Ruhepausen genutzt werden. Bei der Modellierung wurden alle installierten Ladepunkte vor 2030 für das Zwischenladen als CCS-Standard (vier Ladevorgänge pro Tag) und ab 2030 mit MCS-Standard (acht Ladevorgänge pro Tag) angenommen. Der Hochlauf des Bedarfs an Ladepunkten unter Berücksichtigung des Technologiefortschritts ist in Abbildung 1 abgebildet.

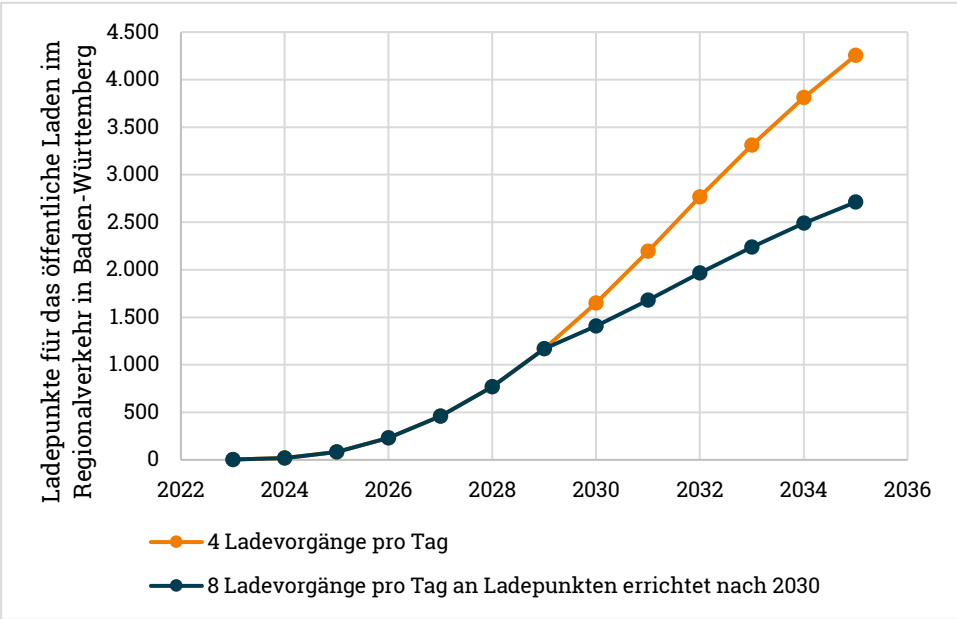


Abbildung 1: Anzahl der öffentlichen Ladepunkte im Regionalverkehr unter Berücksichtigung von 4 Ladevorgängen pro Tag (blau) bzw. der Installation von MCS-Ladesäulen ab 2030, womit 8 Ladevorgänge pro Ladepunkt ermöglicht werden. Der berücksichtigte Technologiefortschritt lässt den Bedarf an Schnelladepunkten ab 2030 weniger stark ansteigen.

03.02.02.03 METHODIK ZUR BERECHNUNG VON DEPOTLADEPUNKTEN

Aus der Prognose der Ladestopps für das Depotladen wird der Bedarf für Depotladepunkte berechnet. Dafür werden die möglichen Ladestopps pro Tag an einem Ladepunkt im Verteilzentrum oder beim Zielkunden bestimmt. Die wichtigsten Parameter zur Bestimmung der Ladestopps pro Tag und Ladepunkt sind:

- Auslastung von Laderampen im Verteilzentrum oder beim Zielkunden
- Energiemenge und Ladeleistung bei einem durchschnittlichen Ladestopp
- Anteil der Lkws im 1-Schicht, 2-Schicht und 3-Schichtbetrieb
- Anteil der Ladestopps im Depot bzw. im Verteilzentrum oder beim Zielkunden

Die Zeit des Be- und Entladevorganges an der Laderampe kann zum Laden eines E-Lkws genutzt werden. Dazu wird über die Energiemenge und einer angenommenen **durchschnittlichen Ladeleistung von 100 kW bis 2030 und 200 kW ab 2030** die Dauer eines Ladestopps mit einer **Ladung von 70 % der Batteriekapazität** berechnet. Aus einer Umfrage unter Logistikunternehmen ist eine durchschnittliche **Auslastung der Laderampen zur Tageszeit (6:00 bis 22:00) von 50 %** ermittelt worden, die zu einer Anzahl an Ladestopps pro Ladepunkt pro Tag in den Zieljahren bis 2030 bzw. ab 2030 führt (siehe Tabelle 4). Daraus wurde abgeleitet, dass für einen E-Lkw an Laderampen beim Be- und Entladen beim Zielkunden im Regionalverkehr durchschnittlich 5,7 (bis 2030) bzw. 11,4 (ab 2030) Ladestopps pro Ladepunkt und im Fernverkehr bzw. bei einer SZM im Regionalverkehr 2,9 (bis 2030) bzw. 5,7 (ab 2030) Ladestopps pro Tag und Ladepunkt möglich sind.

Tabelle 4: Annahmen zur Bestimmung der Ladestopps pro Ladepunkt pro Tag bei Ladesäulen während des Be- und Entladevorganges an einer Laderampe im Verteilzentrum bzw. beim Zielkunden.

Einsatztyp	Energiemenge Depotladen (kWh)	Dauer Ladestopp bis 2030 (h)	Dauer Ladestopp ab 2030 (h)	Auslastung zur Tageszeit (%)	Ladestopps pro Tag bis 2030	Ladestopps pro Tag ab 2030
Regionalverkehr Lkw	140	1,40	0,70	50%	5,7	11,4
Fernverkehr Lkw	280	2,80	1,40	50%	2,9	5,7
Regionalverkehr SZM	280	2,80	1,40	50%	2,9	5,7
Fernverkehr SZM	280	2,80	1,40	50%	2,9	5,7

Im privaten Depot der Logistikunternehmen können Ladevorgänge vor allem zur Nachtzeit bzw. während des Schichtwechsels durchgeführt werden. Die Annahmen zur Umrechnung der Depotladestopps sind in Tabelle 5 dargestellt. Der Anteil der E-Lkws im 1-Schicht, 2-Schicht bzw. 3-Schichtbetrieb wurde mittels Umfragen unter Logistikunternehmen in Baden-Württemberg bestimmt. Bei einem 1- Schichtbetrieb im Depot stehen nur die Ladevorgänge zur Nachtzeit zur Verfügung, während im 2- Schichtbetrieb auch die Ladestopps zum Schichtwechsel möglich sind. Bei einem 3-Schichtbetrieb sind zweimal die Ladestopps im Schichtwechsel für das Laden im Depot nutzbar. Aus den Interviews kam hervor, dass 90 % (Regionalverkehr) bzw. 70 % (Fernverkehr) der Ladestopps im privaten Depot und 10 % (Regionalverkehr) bzw. 30 % (Fernverkehr) beim Be- und Entladen im Verteilzentrum bzw. beim Zielkunden durchgeführt werden.

Tabelle 5: Annahmen zum Depotladen nach Fahrzeugtyp bezüglich der durchschnittlichen Ladestopps im Schichtwechsel bzw. zur Nachtzeit und Anteil der 1-, 2- bzw. 3-Schichtbetriebs und der Anteil der Ladestopps im Depot bzw. beim Be- und Entladen beim Zielkunden zur Bestimmung der Ladestopps pro Tag und pro Ladepunkt im Depot.

Einsatztyp	Ladestopps Schichtwechsel	Ladestopps zur Nachtzeit	Anteil 1-Schichtbetrieb	Anteil 2-Schichtbetrieb	Anteil 3-Schichtbetrieb	Anteil Ladestopps im Depot	Anteil Ladestopps Zielkunde
Regionalverkehr Lkw	1,0	1,75	40%	50%	10%	90%	10%
Fernverkehr Lkw	0,5	1,75	45%	45%	10%	70%	30%
Regionalverkehr SZM	1,0	1,75	40%	50%	10%	90%	10%
Fernverkehr SZM	0,5	1,75	45%	45%	10%	70%	30%

Daraus ergeben sich folgende durchschnittliche Depotladestopps pro Tag und pro Ladepunkt in den Jahren bis 2030 bzw. ab 2030 für die unterschiedlichen Einsatzszenarien der E-Lkws (siehe Tabelle 6). Es werden 2,2 bis 2,6 Ladestopps pro Tag und pro Ladepunkt prognostiziert, die sich ab 2030 auf 2,4 bis 3,0 Ladetopps erhöhen.

Tabelle 6: Die durchschnittlichen Depotladestopps pro Tag und pro Ladepunkt in den Jahren bis 2030 bzw. ab 2030 für die unterschiedlichen Einsatzszenarien der E-Lkws.

Einsatztyp	Depotladestopps pro Tag pro Ladepunkt bis 2030	Depotladestopps pro Tag pro Ladepunkt ab 2030
Regionalverkehr Lkw	2,6	3,0
Fernverkehr Lkw	2,2	3,0
Regionalverkehr SZM	2,3	2,4
Fernverkehr SZM	2,2	3,0

03.02.02.04 LOKALISIERUNG DER LADESTOPPS

Der **lokale Bedarf** an Ladestopps wird anhand von Daten der europäischen Datenplattform Eurostat [16] für das Güterverkehrsaufkommen (Startpunkt und Zielpunkt) sowie die durchschnittliche Distanz der Lkw-Fahrten pro Landkreis modelliert. Die Anzahl der Fahrten pro Landkreis wird genutzt, um die erwarteten Depotladestopps in ganz Baden-Württemberg auf die jeweiligen Landkreise umzulegen. Für die öffentlichen Schnellladestopps im Regionalverkehr wird die Anzahl der Fahrten mit der durchschnittlichen Fahrdistanz gewichtet, um die Ladestopps auf die Landkreise zu verteilen. Somit werden für jeden Landkreis in Baden-Württemberg eine Anzahl an Depotladestopps und Schnellladepunkte im Regionalverkehr für die Zieljahre berechnet (siehe Tabelle 20 und Tabelle 21).

Die **Zwischenladestopps im Fernverkehr und die Übernachtladestopps** werden mit Hilfe von Lkw-Routen aus der „Truck-Stop Locations“ Studie des Fraunhofer ISI [17] auf die **Hauptverkehrsachsen in Baden-Württemberg** umgelegt. Dabei werden jene Lkw-Routen extrahiert, die entweder ihren Start- bzw. Zielort in Baden-Württemberg haben oder ein Teil der Route über die Schnellstraßen in Baden-Württemberg führt. Lkw-Fahrten mit einer absolvierten Distanz von über 150 km an dem untersuchten Standort werden für das Zwischenladen im Fernverkehr und über 400 km für das Übernachtladen im Fernverkehr berücksichtigt. Dadurch werden nur Fahrten berücksichtigt, die einen reellen Bedarf für ein Zwischenladen an dem Standort besitzen. Die Liniendicke der Grafiken stellt den lokalen Bedarf (Bedarfsdichte) an E-Ladepunkten dar und ist auf den maximalen Bedarf in dem jeweiligen Sektor der Hauptverkehrsachsen angepasst. Die Anzahl der Ladestopps und die Ladepunkte wurden auf die zweite Stelle vor dem Komma (Zehnerstelle) gerundet, um keine scheinbare Genauigkeit der modellierten Werte zu erzeugen.

03.02.02.05 ENERGIEBEDARF

Der Energiebedarf entstehend durch den Hochlauf der E-Fahrzeuge im Güterverkehr wird aus der Anzahl der Ladestopps berechnet. **Die durchschnittlich geladene Energiemenge** wird für E-Lkw und E-Sattelzugmaschinen im Regional- bzw. Fernverkehr berechnet mit Hilfe der Batteriegröße des Fahrzeuges und der Annahme, dass ein gewisser Anteil der Batterie bei

einem durchschnittlichen Ladevorgang aufgeladen wird. Dieser Anteil ist im Zwischenladen geringer als im Übernachtladen, da weniger Zeit für den Ladevorgang zur Verfügung steht und trotz höherer Ladeleistung die abgegebene Energiemenge geringer ist. Daraus ergeben sich die durchschnittlichen Energiemengen für das Zwischenladen, Übernachtladen und Depotladen für die vier unterschiedlichen Einsatzszenarien (siehe Tabelle 7). Die Energiemenge berücksichtigt auch die durchschnittliche tägliche Fahrleistung eines E-Lastkraftwagens bzw. einer E-Sattelzugmaschine.

Tabelle 7: Annahmen zu Batteriegröße, prozentuellem Anteil des Aufladevorganges der Batterie und die daraus resultierende abgegebene Energiemenge pro Ladevorgang. Die Werte werden für Zwischenladen und Übernachtladen bestimmt, wie auch für die Einsatzszenarien Regionalverkehr und Fernverkehr für Lastkraftwagen (Lkw) und Sattelzugmaschinen (SZM).

Einsatztyp	Batteriegröße	Aufladen Zwischenladen (% der Batterie)	Aufladen Übernachtladen (% der Batterie)	Energiemenge Zwischenladen	Energiemenge Übernachtladen	Energiemenge Depotladen
Regionalverkehr Lkw	200 kWh	20 %	50 %	60 kWh	100 kWh	100 kWh
Fernverkehr Lkw	400 kWh	30 %	70 %	120 kWh	280 kWh	280 kWh
Regionalverkehr SZM	400 kWh	25 %	70 %	100 kWh	280 kWh	280 kWh
Fernverkehr SZM	400 kWh	30 %	70 %	120 kWh	280 kWh	280 kWh

03.02.03 ERGEBNISSE

Die Bedarfsanalyse wurde für die zwei vorgestellten Hochlaufszenarien durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den beiden folgenden Abschnitten dargestellt.

03.02.03.01 ZIELSZENARIO

In diesem Szenario des Verkehrsministeriums Baden-Württemberg wurden Klimaschutzmaßnahmen wie z.B. die **Einführung einer CO_2-Steuer** berücksichtigt, um die **Klimaziele** im Verkehrssektor für Baden-Württemberg zu erreichen. In dem **Zielszenario wird mit einem schnelleren Hochlauf der E-Lkw als im Mindestszenario** (siehe Abschnitt 03.02.03.02) gerechnet.

Die Ladestopps für Baden-Württemberg sind in Abbildung 2 und die absoluten Werte für die Zieljahre sind in Tabelle 8 dargestellt. Die Modellierung zeigt einen **täglichen Bedarf von mehr als 150.000 Ladestopps im Jahr 2035**, wovon ca. 56.000 Ladestopps an öffentlichen Ladepunkten prognostiziert werden.

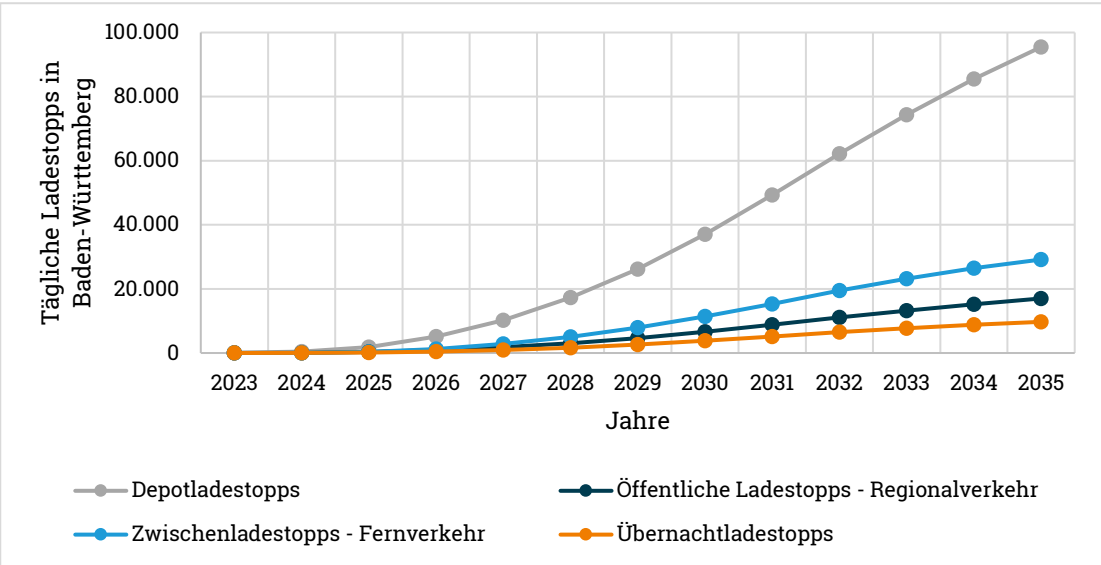


Abbildung 2: Hochlauf der Depotladestopps, öffentlichen Ladestopps Regionalverkehr, Zwischenladestopps Fernverkehr und der Übernachtladestopps Fernverkehr in Baden-Württemberg.

Tabelle 8: Tabellarische Darstellung der prognostizierten täglichen Ladestopps für das Depotladen, öffentliche Laden im Regionalverkehr, Zwischenladen im Fernverkehr und Übernachtladen im Zielszenario. Die modellierten Angaben der Ladestopps sind auf die Zehnerstelle gerundet.

Zieljahre	Depotladestopps	Ladestopps Regionalverkehr	Zwischenladestopps Fernverkehr	Übernachtladestopps
2027	10.250	1.830	2.840	950
2030	37.040	6.600	11.400	3.800
2035	95.470	17.020	29.170	9.720

Die Depotladepunkte werden durch die Depotladestopps (Tabelle 8) und die durchschnittliche Anzahl an Ladestopps pro Tag und pro Ladepunkt bestimmt (siehe Tabelle 6).

Die Verteilung der Depotladepunkte (siehe Abbildung 3) anhand der Eurostat-Daten zeigt einen **erhöhten Bedarf in der Region Stuttgart, wie auch im Ortenaukreis**. Die Depotladepunkte nehmen entsprechend dem Hochlauf von z.B. 12 (2027) bis zu 110 (2035) in Baden-Baden mit dem niedrigsten Bedarf bzw. von 240 (2027) bis 2.005 (2035) im Landkreis Ludwigsburg mit dem höchsten Bedarf zu. Die prognostizierten Depotladepunkte pro Landkreis sind in Tabelle 20 dargestellt. Die **Depotladepunkte in Baden-Württemberg werden sich somit von 2027 bis 2035 ca. verachtfachen.**

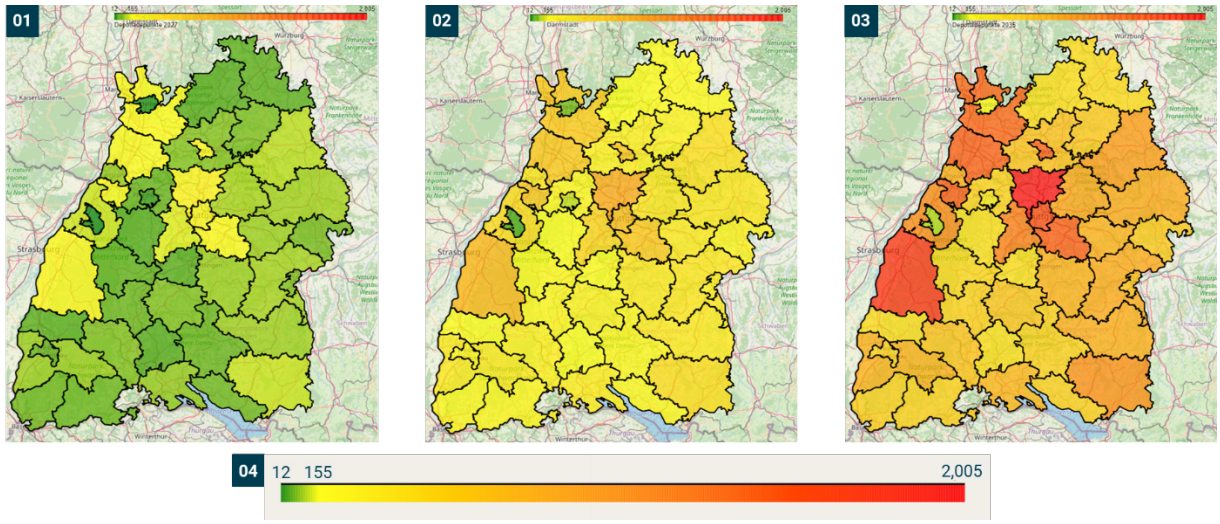


Abbildung 3: Darstellung der Depotladepunkte pro Landkreis für das Zielszenario in den Zieljahren 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03). Die Ladepunkte sind durch eine logarithmische Farbskala von 12 (min.) bis 2.005 (max.) Ladepunkten pro Landkreis dargestellt (04).

Die Ladestopps an öffentlichen Ladepunkten wurden anhand des Faktors der durchschnittlichen Ladevorgänge pro Tag an Zwischenladepunkten (vier bzw. acht Ladevorgänge an Ladepunkten, die vor bzw. nach 2030 errichtet wurden) und Übernachtladepunkten (1,5 Ladevorgänge pro Tag) ermittelt. Der **Bedarf des öffentlichen Ladens** im Regionalverkehr wird mittels des Güterverkehrsaufkommens unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Fahrdistanz auf die Landkreise umgelegt. Abbildung 4 zeigt die Landkreise mit einer logarithmischen Farbskala für die Zieljahre 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03). Baden-Baden mit dem niedrigsten Bedarf wächst von 2 (2027) bis 14 Ladepunkten (2035), der Ortenaukreis mit dem größten Bedarf nimmt von 29 (2027) auf 170 Ladepunkte im Jahr 2035 zu. Die prognostizierten öffentlichen Ladepunkte im Regionalverkehr pro Landkreis sind in Tabelle 21 dargestellt.

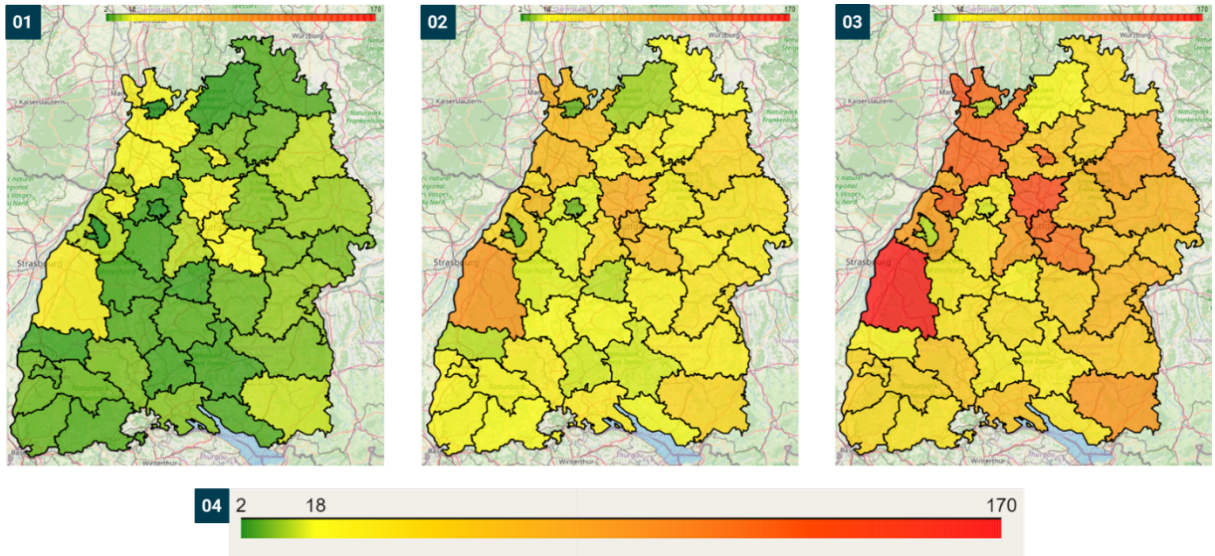


Abbildung 4: Darstellung der öffentlichen Ladepunkte im Regionalverkehr pro Landkreis für das Zielszenario in den Zieljahre 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03). Die Ladepunkte sind mit einer logarithmischen Farbskala von 2 (min.) bis 170 (max.) Ladepunkte pro Landkreis dargestellt (04).

Der Bedarf an öffentlichen Ladepunkten in Baden-Württemberg in den Zieljahren ist in Tabelle 9 quantifiziert. **Die Schnelladepunkte im Regional- bzw. Fernverkehr versechsfachen sich von 2027 bis 2035**, während die **Zunahme im Übernachtladen ca. das Zehnfache** beträgt. Dieser Unterschied lässt sich durch die Berücksichtigung von MCS-Ladesäulen im Schnelladen ab 2030 begründen, wodurch der relative Bedarfsanstieg bei öffentlichen Zwischenladepunkten geringer ausfällt als im Übernachtladen. Dennoch lässt sich der große Bedarf an E-Ladepunkten im Schwerlastverkehr in den nächsten Jahren erkennen.

Der Bedarf an **13.840 öffentlichen Ladepunkten und 34.750 privaten bzw. halböffentlichen Ladepunkten im Depot bzw. beim Zielkunden** zeigt ein Verhältnis **von ca. 30 % der Ladepunkte im öffentlichen Raum** und **70 % im privaten Depot bzw. beim Zielkunden in den Zieljahren**.

Tabelle 9: Die öffentlichen Ladepunkte-Regionalverkehr, Zwischenladen Fernverkehr, die Übernachtladepunkte, die Summe der notwendigen öffentlichen Ladepunkte sowie die Anzahl der Depotladepunkte im Zielszenario für die Zieljahre 2027, 2030 und 2035. Die Angaben der Ladepunkte sind auf die Zehnerstelle gerundet.

Zieljahre	**2027**	**2030**	**2035**
Öffentliche Ladepunkte-Regionalverkehr	460	1.410	2.710
Zwischenladepunkte-Fernverkehr	710	2.410	4.630
Übernachtladepunkte - Fernverkehr	630	2.530	6.480
Summe der notwendigen öffentlichen Ladepunkte	**1.800**	**6.350**	**13.820**
Depotladepunkte	**4.340**	**14.420**	**34.750**

Die Zwischenladepunkte im Fernverkehr werden mittels des Güterverkehrsaufkommens mit einer Fahrdistanz von mindestens 150 km an den entsprechenden Verkehrsabschnitten der Hauptverkehrsachsen umgelegt. Die Liniendicke in Abbildung 5 illustriert Güterverkehrsaufkommen an den Hauptverkehrsachsen. Zusätzlich wird die modellierte Anzahl der Ladepunkte pro Verkehrsabschnitt (Abschnitte zwischen zwei orangen Kreuzen) dargestellt. Die Modellierung zeigt einen **erhöhten Bedarf an Zwischenladepunkten entlang des TEN-V Kernnetzes** und einen geringeren Bedarf entlang des TEN-V Gesamtnetzes. Der **Bedarf versechsfacht sich insgesamt von 2027 bis 2035** für das Zwischenladen im Fernverkehr.

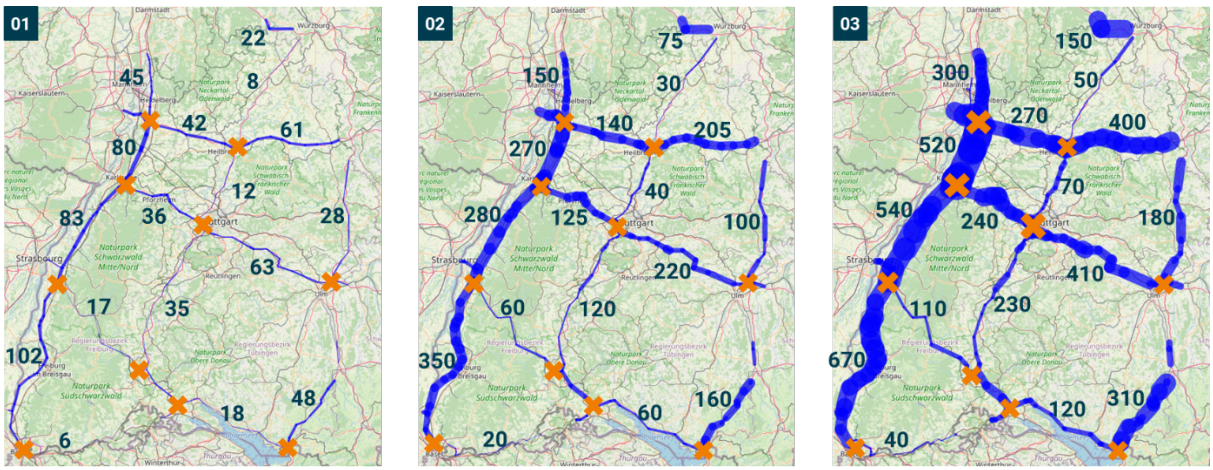


Abbildung 5: Die Verteilung der Zwischenladepunkte im Fernverkehr (Fahrdistanzen größer 150 km) an den Hauptverkehrsachsen. Die Dicke der Linie entspricht dem Bedarf an Ladepunkten und die Zahlen an den Hauptverkehrsachsen entsprechen den Ladepunkten für die Verkehrsabschnitte in den Zieljahren 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03).

Die öffentlichen Ladepunkte mit einer geringeren Leistung für Übernachtladestopps werden ebenfalls mit den Truck-Routen auf die Hauptverkehrsachsen umgelegt. **Die zurückgelegte Fahrdistanz an dem untersuchten Abschnitt muss mindestens 400 km betragen**, um in der Bedarfsmodellierung berücksichtigt zu werden. Abbildung 6 stellt den Bedarf an Übernachtladepunkten an den Hauptverkehrsachsen in den Zieljahren dar.

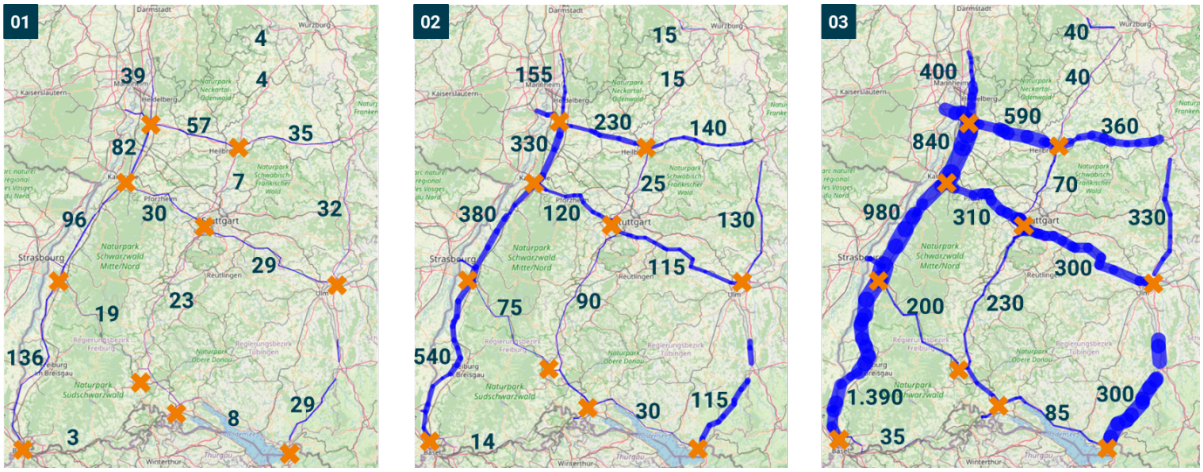
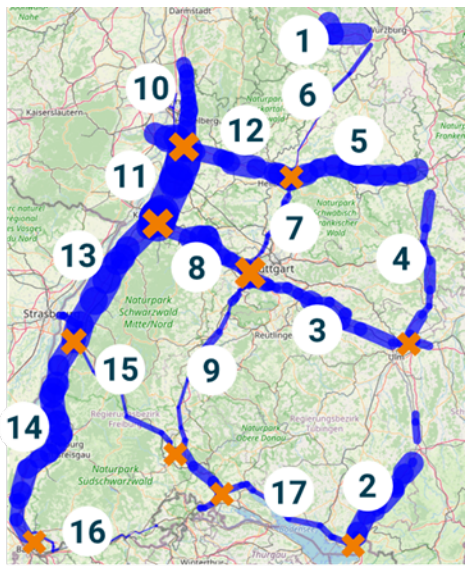


Abbildung 6: Die Verteilung der Übernachtladepunkte (Fahrdistanzen größer 400 km) an den Hauptverkehrsachsen. Die Dicke der Linie entspricht dem lokalen Bedarf an Ladepunkten und die Zahlen an den Hauptverkehrsachsen entsprechen den Ladepunkten für die Verkehrsabschnitte in den Zieljahren 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03).

Tabelle 10: Bedarf an Ladepunkten in den Sektoren des Fernverkehrs (Zwischenladen und Übernachtladen kombiniert) für die Zieljahre 2027, 2030 und 2035 im Zielszenario. Die Nummern der Sektoren sind mit Hilfe der Darstellung auf der rechten Seite lokalisiert.

Sektor	Fernverkehr 2027	Fernverkehr 2030	Fernverkehr 2035
1	26	92	186
2	76	277	606
3	92	331	709
4	60	224	513
5	96	348	757
6	12	44	96
7	19	68	147
8	67	245	548
9	58	210	462
10	84	309	692
11	162	600	1.361
12	102	381	878
13	178	664	1.521
14	238	892	2.060
15	36	133	305
16	10	34	75
17	26	93	199



Die **verladene Energiemenge pro Tag und Ladeszenario** wurde ebenfalls berechnet. Die Abbildung 7 zeigt die großen Energiemengen, die für das Zwischenladen (Regional- und Fernverkehr), Übernachtladen und das Depotladen in den Zieljahren 2027, 2030 und 2035 notwendig werden. Auch ist der Hochlauf der E-Lkw gut aus den Energiemengen ableitbar, die sich **ca. Verzehnfachen von 2027 bis 2035 mit einem täglichen Energiebedarf von ca. 24 Gigawattstunden 2035 in Baden-Württemberg**. Das entspricht **ca. 12 % des Gesamtstrombedarfs von Baden-Württemberg** (angenommen 72 TWh Gesamtstrombedarf für 2019, [18]). Der modellierte Energiebedarf für den Regionalverkehr pro Landkreis ist in Tabelle 22 und der Energiebedarf für den Fernverkehr Tabelle 23 dargestellt.

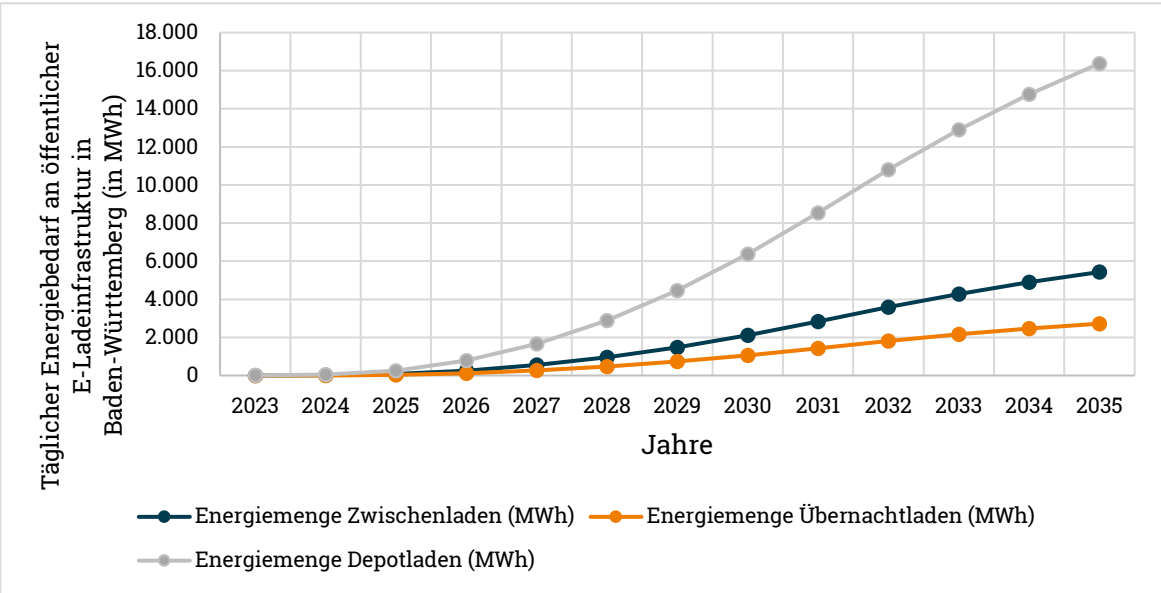


Abbildung 7: Die täglich benötigte Energiemenge im Zielszenario für das Zwischenladen, Übernachtladen und das Depotladen in MWh in den Zieljahren 2027, 2030 und 2035.

03.02.03.02 MINDESTSZENARIO

Das Mindestszenario ist mit dem Hochlauf an E-Lkw als **„Business as usual"-Szenario** berechnet. Die Grundannahme ist dabei, dass **alle Hemmnisse in Bezug auf die Ladeinfrastruktur wegfallen, aber weitere Instrumente und Maßnahmen zur Förderung von E-Lkw (z.B. CO_2-Preis) nicht genutzt werden**.

In diesem Szenario wird im Vergleich zum Zielszenario eine geringere Anzahl an E-Lkw in den Zieljahren prognostiziert. Die Berechnung der Ladestopps, Ladepunkte und die lokale Verteilung erfolgt identisch zum Zielszenario.

Die gesamten prognostizierten Ladestopps in Baden-Württemberg im Mindestszenario mit der der Unterteilung in Depotladen, Schnelladen im Regional- bzw. Fernverkehr und Übernachtladen ist in Abbildung 8 dargestellt. Der Anstieg der Ladestopps beträgt unabhängig vom Typ des Ladestopps **ca. das Zehnfache, wenn die Zieljahre 2027 und 2035 verglichen werden**. Insgesamt wird somit ein Bedarf an **mehr als 120.000 Ladestopps in Baden-Württemberg 2035 prognostiziert, wovon ca. 45.000 an öffentlichen Ladepunkten** durchgeführt werden.

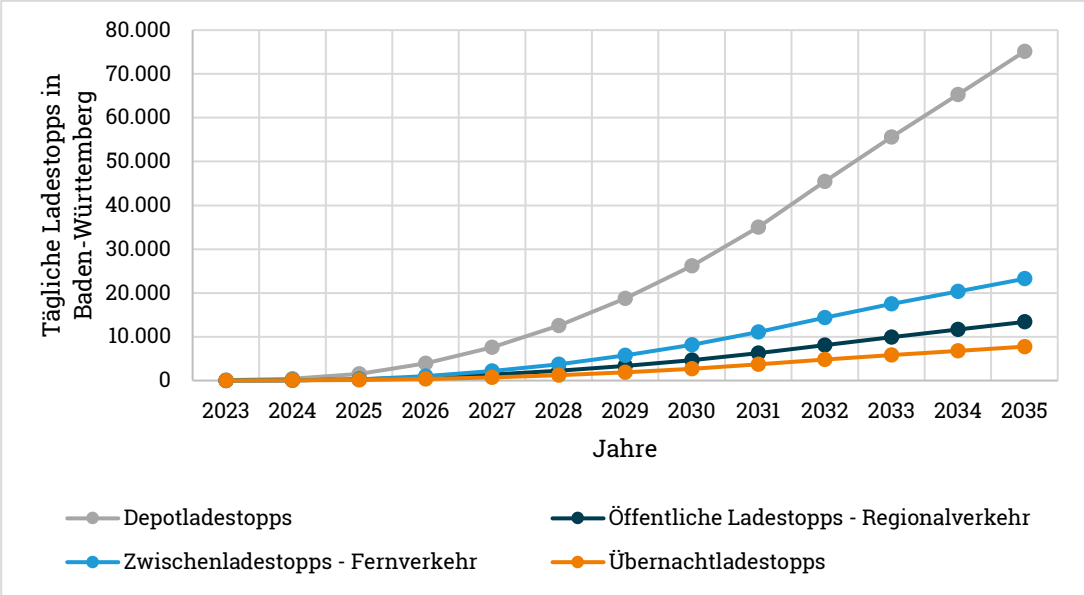


Abbildung 8: Der Hochlauf der Depotladestopps, öffentliche Ladestopps - Regionalverkehr und Zwischenladestopps - Fernverkehr und der Übernachtladestopps im Mindestszenario.

Tabelle 11: Tabellarische Darstellung der prognostizierten täglichen Ladestopps für das Depotladen, öffentliches Laden im Regionalverkehr, Zwischenladen im Fernverkehr und Übernachtladen im Mindestszenario. Die Angaben der Ladestopps sind auf die Zehnerstelle gerundet.

Ziel-jahre	Depotladestopps	Öffentliche Lade-stopps Regional-verkehr	Zwischenlade-stopps Fernver-kehr	Übernachtlade-stopps
2027	7.600	1.360	2.160	720
2030	26.210	4.670	8.130	2.710
2035	75.120	13.380	23.230	7.740

Die Verteilung der Depotladepunkte (siehe Abbildung 9) zeigt eine gleiche Verteilung des Bedarfs auf die Landkreise, jedoch mit einem geringeren Bedarf als in Abbildung 3 für das Zielszenario zu sehen ist. Der Landkreis Ludwigsburg mit dem größten Bedarf an Depotladepunkten wird ein Bedarf an 180 bzw. 1.570 Ladepunkte im Jahr 2027 bzw. 2035 vorhergesagt und somit **ca. 22 % weniger als im Zielszenario**. Die prognostizierten Depotladepunkte pro Landkreis sind in Tabelle 24 dargestellt.

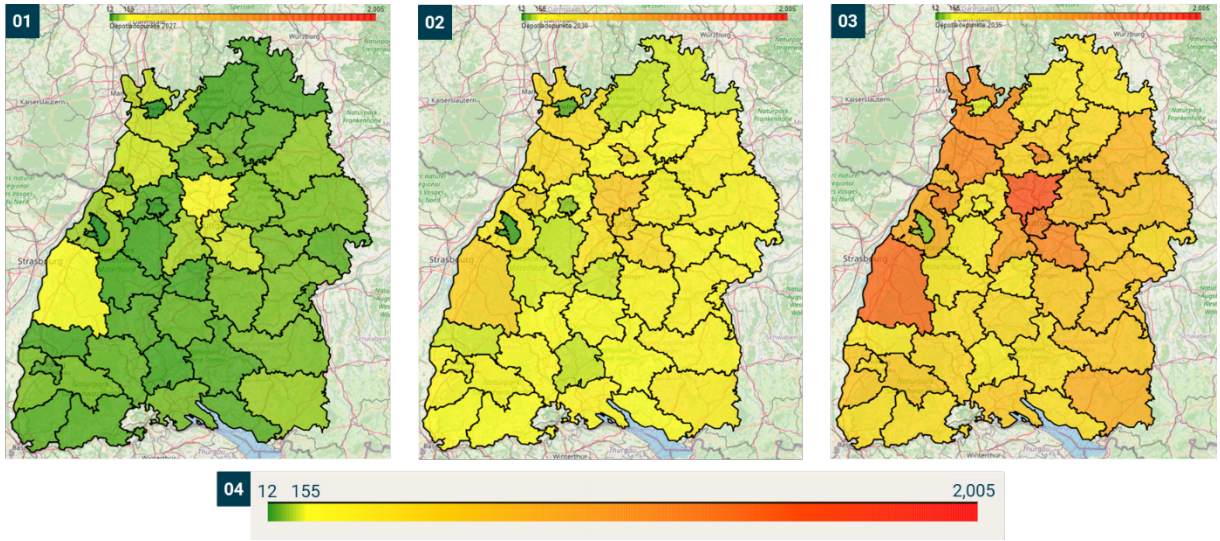


Abbildung 9: Darstellung der Depotladepunkte pro Landkreis für das Mindestszenario in den Zieljahren 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03). Die Ladepunkte sind mit einer logarithmischen Farbskala von 12 (min.) bis 2.005 (max.) Ladestopps pro Landkreis dargestellt (siehe 04).

Die lokale Verteilung der öffentlichen Ladepunkte im Regionalverkehr ist in Abbildung 10 dargestellt. Wie im Zielszenario sind die Landkreise Baden-Baden bzw. Ortenaukreis, die mit dem niedrigsten bzw. größten Bedarf an öffentlichen Ladepunkten für E-Lkw im Regionalverkehrs (unter 150 km Fahrdistanz). Die prognostizierten Ladepunkte pro Landkreis sind in Tabelle 25 dargestellt.

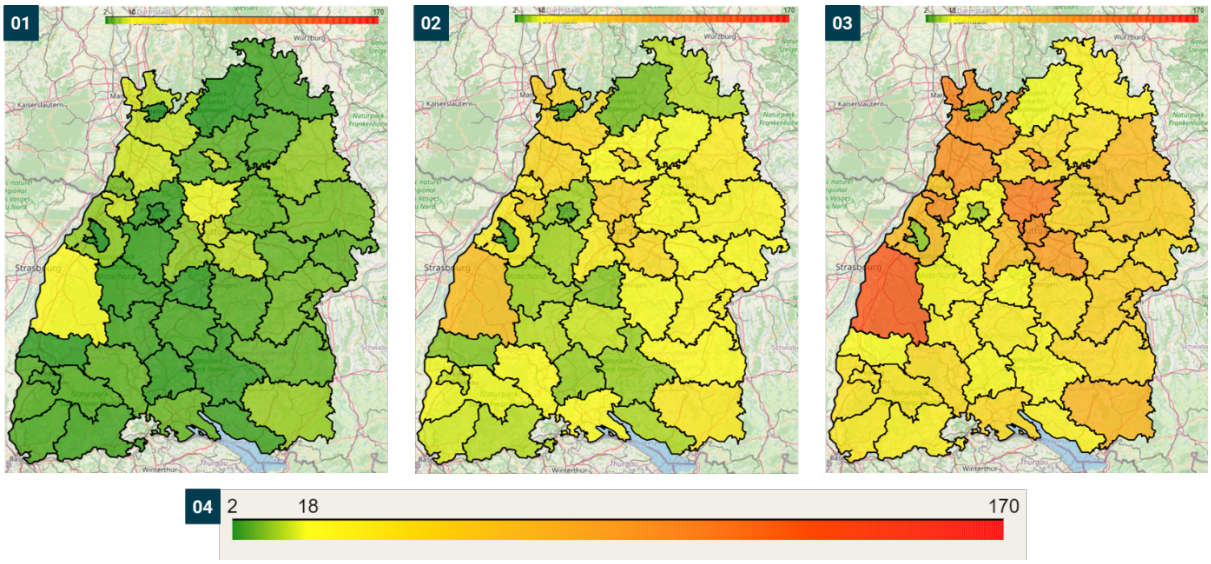


Abbildung 10: Darstellung der öffentlichen Ladepunkte im Regionalverkehr pro Landkreis für das Mindestszenario in den Zieljahre 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03). Die Ladepunkte sind mit einer logarithmischen Farbskala von 4 (min.) bis 330 (max.) Ladepunkte pro Landkreis dargestellt.

Das Verhältnis von öffentlich zugänglichen und privaten Ladepunkten ist in Tabelle 12 dargestellt. Die Bedarfsanalyse zeigt, dass **ca. 30 % der Ladepunkte im öffentlichen Raum** und somit **ca. 70 % der Ladepunkte im privaten Depot bzw. beim Zielkunden in den Zieljahren** entstehen werden.

Tabelle 12: Die öffentlichen Ladepunkte-Regionalverkehr, Zwischenladen Fernverkehr, die Übernachtladepunkte, die Summe der notwendigen öffentlichen Ladepunkte sowie die Anzahl der Depotladepunkte im Mindestszenario für die Zieljahre 2027, 2030 und 2035. Die Angaben der Ladepunkte sind auf die Zehnerstelle gerundet.

Zieljahre	2027	2030	2035
öffentliche Ladepunkte Regionalverkehr	340	1.000	2.090
Zwischenladepunkte-Fernverkehr	540	1.730	3.620
Übernachtladepunkte - Fernverkehr	480	1.810	5.160
Summe der notwendigen Ladepunkte	**1.360**	**4.540**	**10.870**
Depotladepunkte	**3.070**	**10.220**	**27.260**

Die lokale Verteilung der Zwischenladepunkte im Fernverkehr (Fahrdistanz größer als 150 km) an den Hauptverkehrsachsen ist in Abbildung 11 dargestellt. Die relative Verteilung der Ladepunkte ist ident wie im Zielszenario, jedoch sind **ca. 22 % weniger Ladepunkte prognostiziert als im Zielszenario für das Jahr 2035** (siehe Abbildung 5). Die Anzahl der Ladepunkte in den verschiedenen Sektoren für die Zieljahre 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03) ist in den Grafiken abgebildet. Die Anzahl aller Ladepunkte nimmt für das Mindestszenario **um das Siebenfache von 2027 bis 2035 zu mit den meisten Ladepunkten entlang des TEN-V Kernnetzes.**

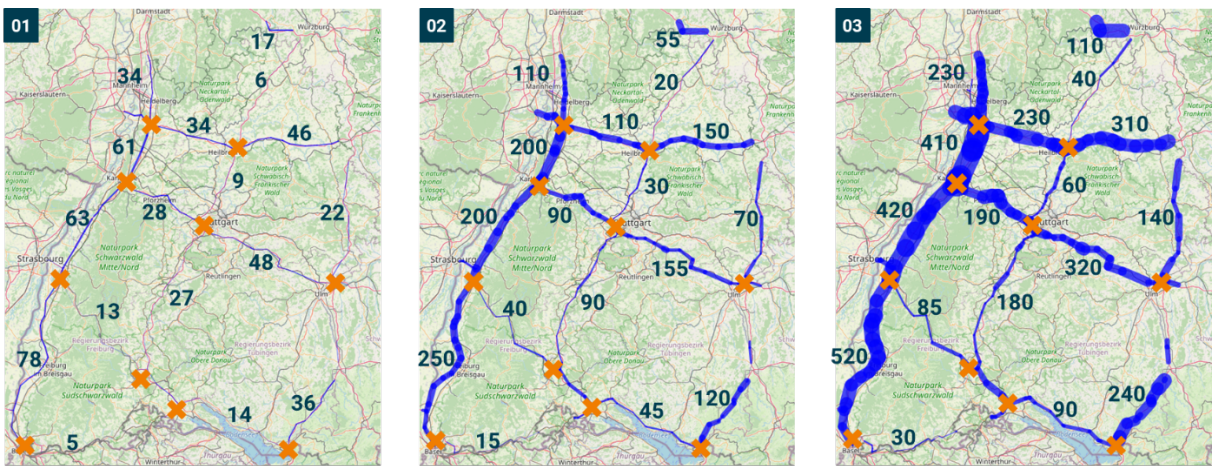


Abbildung 11: Die Verteilung der Zwischenladepunkte im Fernverkehr (Fahrdistanzen größer 150 km) an den Hauptverkehrsachsen. Die Dicke der Linie entspricht dem Bedarf an Ladepunkten für die Verkehrsabschnitte in den Zieljahren 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03).

Die Übernachtladepunkte im Mindestszenario sind mit Hilfe des Güterverkehrsaufkommense-benfalls auf die Hauptverkehrsachsen umgelegt. Abbildung 12 stellt die lokale Verteilung der Übernachtladepunkte an den Hauptverkehrsachsen für die untersuchten Zieljahre dar.

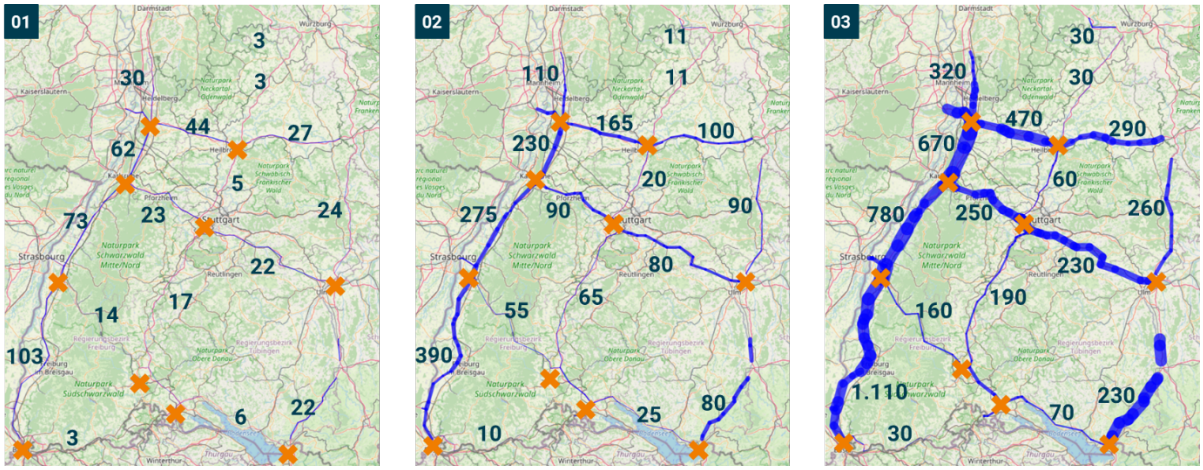
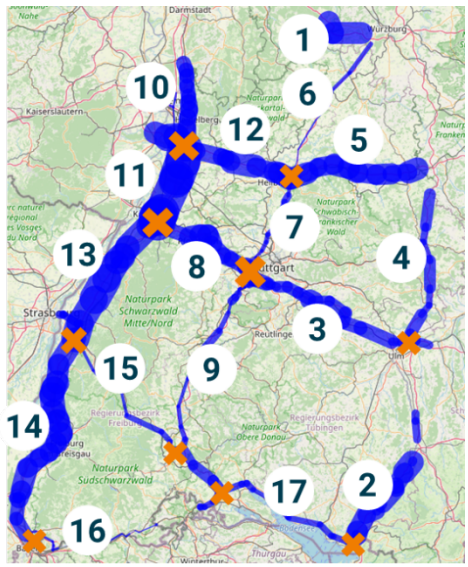


Abbildung 12: Die Verteilung der Übernachtladepunkte (Fahrdistanzen größer 400 km) an den Hauptverkehrsachsen. Die Dicke der Linie entspricht dem lokalen Bedarf an Ladepunkten und die Zahlen an den Hauptverkehrsachsen entsprechen den Ladepunkten für die Verkehrsabschnitte in den Zieljahren 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03).

Tabelle 13: Bedarf an Ladepunkten in den Sektoren des Fernverkehrs (Zwischenladen und Übernachtladen kombiniert) für die Zieljahre 2027, 2030 und 2035 im Mindestszenario. Die Nummern der Sektoren sind mit Hilfe der Darstellung auf der rechten Seite lokalisiert.

Sektor	Fernverkehr 2027	Fernverkehr 2030	Fernverkehr 2035
1	20	66	146
2	58	199	478
3	70	237	558
4	46	161	406
5	73	249	597
6	9	32	75
7	14	48	116
8	51	175	433
9	44	150	364
10	64	221	547
11	123	429	1.076
12	77	272	695
13	136	475	1.203
14	181	638	1.631
15	27	95	241
16	7	25	59
17	20	67	157



Die prognostizierte verladene Energiemenge in den Zieljahren 2027, 2030 und 2035 für die unterschiedlichen Ladeszenarien ist in Abbildung 13 dargestellt. **Dabei verzehnfacht sich die Energiemenge von den Zieljahren 2027 bis 2035 und mit einer Gesamtenergiemenge von mehr als 19 Gigawattstunden.** Die Energiemenge entspricht **ca. 10 % des heutigen Gesamtstrombedarfs von Baden-Württemberg.** Davon gehen ca. 67 % der Energiemenge auf Ladevorgänge im Depot und ca. 33 % an öffentlichen Ladepunkten. Der modellierte Energiebedarf für den Regionalverkehr (Depotladen und öffentliches Laden) pro Landkreis ist in Tabelle 26 und Tabelle 27 dargestellt.

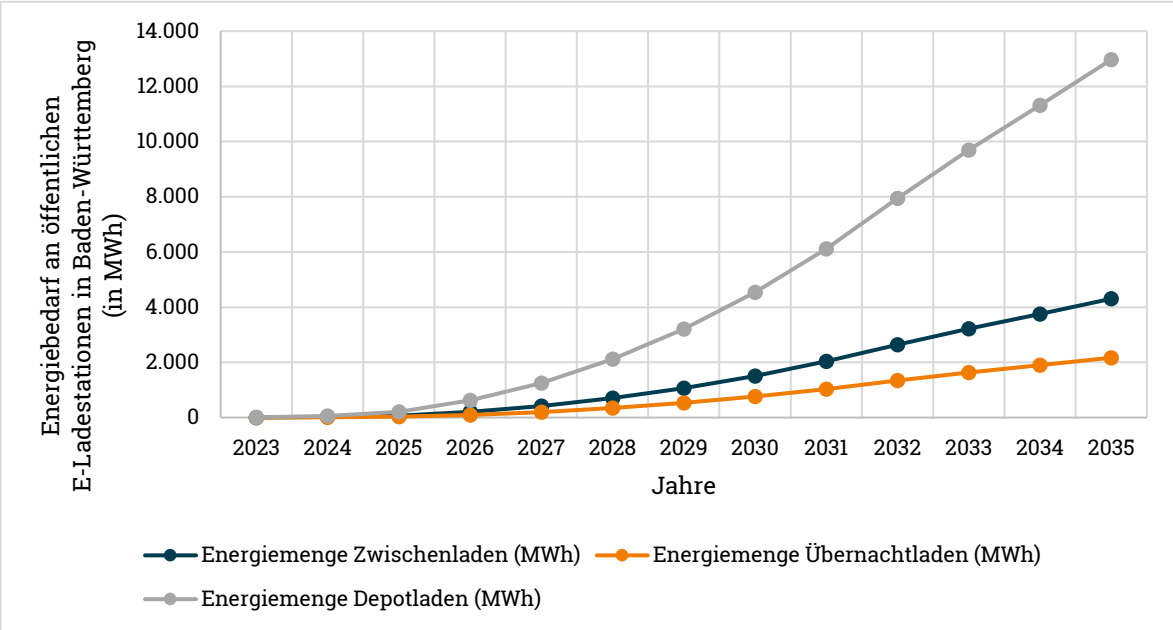


Abbildung 13: Die täglich verladene Energiemenge im Mindestszenario für das Zwischenladen, Übernachtladen und das Depotladen in MWh.

03.02.04 SCHLUSSFOLGERUNG UND DISKUSSION

Die Ergebnisse der Bedarfsanalyse zeigen einen **großen Bedarf an E-Ladepunkten für den Schwerlastverkehr** in den nächsten Jahren auf. Die Modellierung ergibt, dass ca. **60 % der Ladevorgänge im eigenen Depot und ca. 40 % an öffentlichen Ladestationen** abgehalten werden. Die zwei unterschiedlichen Szenarien, abhängig von den regulatorischen Rahmenbedingungen für den Hochlauf von E-Lkw, wird in beiden Fällen ein großer Bedarf an E-Ladepunkten für den Schwerlastverkehr entstehen. Besonders der Fernverkehr steigert den Bedarf an öffentlichen Zwischenlade- und Übernachtladepunkten, da die E-Fahrzeuge deutlich mehr auf öffentliche Ladeinfrastruktur angewiesen sind und seltener im eigenen Depot laden können. Um die Elektrifizierung des Schwerlastverkehrs nicht zu gefährden, muss ein **schneller Ausbau der Ladeinfrastruktur** erfolgen. Die regionale Verteilung des Bedarfs zeigt **Hotspots rund um die Hauptverkehrsachsen**, an denen der Aufbau der Ladeinfrastruktur intensiviert werden sollte, um den lokalen Bedarf auch decken zu können. Die Modellierung des Bedarfs wird in weiterer Folge auch für das Standortkonzept der E-Ladeinfrastruktur Verwendung finden, um mit geeigneten Standorten den prognostizierten Bedarf decken zu können.

03.03 MINDESTAUSSTATTUNG

Für die Analyse ist es wesentlich zu verstehen, ob die Ladebedarfe schon mittels des auf Basis aktueller Regulatorik vorgesehenen Ladeinfrastrukturaufbaus abgedeckt werden können oder ob, wann und wo zusätzlicher Bedarf entsteht. Mittels eines theoretischen Netzes an Ladeinfrastruktur soll **die Erfüllung der Vorgaben der Alternative Fuels Infrastructure Regulation (AFIR)-Richtline** [19] für Baden-Württemberg modelliert werden, um diese den im Abschnitt 03.02 bestimmten Bedarfen gegenüberstellen zu können. Zum Zeitpunkt der Studienerstellung sind die finalen Standorte zur Erfüllung der AFIR-Richtlinie noch nicht bekannt gegeben worden. Das Ergebnis stellt ein wichtiges Signal für öffentliche Hand und private Investoren dar, nämlich ob zusätzliche Anstrengung nötig ist und zusätzliches Investitions- und Marktpotenzial für den Aufbau von Ladeinfrastruktur besteht.

03.03.01 ZIELSETZUNG

Unabhängig von dem Bedarf an E-Ladestationen für Lkw sind die EU-Mitgliedsstaaten durch die AFIR-Richtline verpflichtet, eine **flächendeckende Ladeinfrastruktur für Lkw** aufzubauen. Die verpflichtenden Ziele sind für die Zieljahre 2025, 2027 und 2030 und jeweils für das Kern- und Gesamtnetz des Transeuropäischen Verkehrsnetzes (TEN-V) definiert.

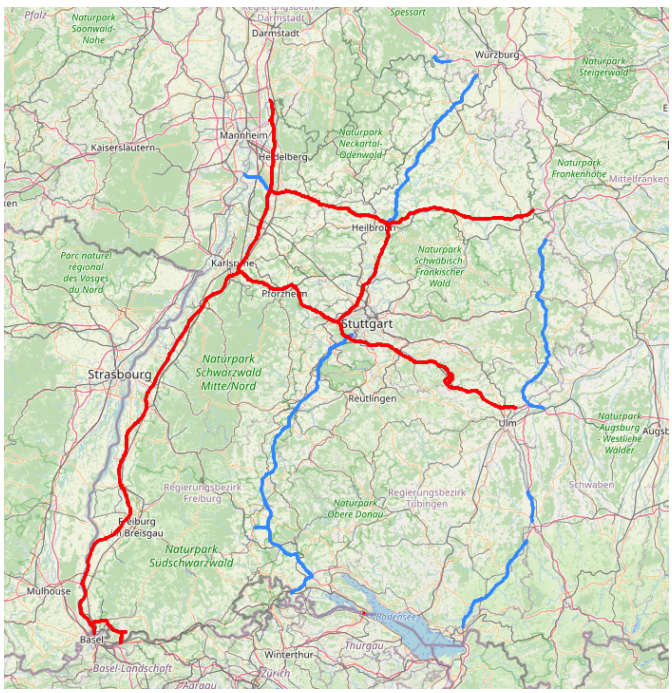


Abbildung 14: Das TEN-V-Kern- (rot) und Gesamtnetz (rot und blau) in Baden-Württemberg.

Zunächst müssen die Anforderungen nur auf einem prozentualen Anteil des jeweiligen Netzes erfüllt werden. Die Anforderungen werden nach und nach erhöht und müssen erst 2030 im ganzen Land erfüllt werden. Die Richtlinie schreibt eine an einem Standort vorhandene Gesamtleistung, die maximale Leistung, die von einer gewissen Menge an Ladepunkten am Standort erfüllt werden muss, sowie den maximalen Abstand zwischen Ladestationen vor.

Tabelle 14: Anforderungen aus der AFIR-Richtlinie für den Schwerlastverkehr. Die Angaben für die Gesamt- und Maximalleistung beziehen sich auf die einzelnen Standorte. Der maximale Abstand beschreibt die maximal zulässige Fahrtdistanz zur nächsten Ladestation je Fahrtrichtung. Die prozentuale Abdeckung gibt den Anteil des TEN-V-Kern- bzw. Gesamtnetzes an, für den die Ziele in dem jeweiligen Jahr erreicht werden müssen.

	TEN-V-Kernnetz			TEN-V-Gesamtnetz		
Zieljahr	**2025**	**2027**	**2030**	**2025**	**2027**	**2030**
Gesamtleistung	1400 kW	2800 kW	3600 kW	-	1400 kW	1500 kW
Maximalleistung (Anzahl x Leistung)	1 x 350 kW	2 x 350 kW	2 x 350 kW	-	1 x 350 kW	1 x 350 kW
Max. Abstand	120 km	120 km	60 km	-	120 km	100 km
Prozentuale Abdeckung	15 %	50 %	100 %	-	50 %	100 %

Die Analyse der Mindestausstattung soll dazu dienen, die minimale Anzahl an benötigten Standorten und Ladepunkten im Land Baden-Württemberg zu bestimmen, um die Vorgaben der AFIR-Richtline zu erfüllen. Da erst für das Jahr 2030 flächendeckende Vorgaben gegeben werden, wird für dieses Zieljahr eine landesweite Optimierung des Ladeinfrastruktur-Netzes hinsichtlich der folgenden Zielfunktion und Nebenbedingungen durchgeführt:

- Wahl einer minimalen Anzahl an Standorten zur Erfüllung der Voraussetzungen an die Abstände
- Priorisierung von Standorten, für die der Ausbau zum Erreichen der Gesamtleistung und der Ladepunkte mit Maximalleistung minimal ist.

Ziel dieser Optimierung für eine Mindestausstattung ist es, eine Möglichkeit zu schaffen, um den ermittelten Bedarf (siehe Abschnitt 03.02) mit einem minimalen, regulatorisch vorgesehenen Ausbau abzugleichen.

03.03.02 DATEN UND METHODIK

Als mögliche Standorte zur Erfüllung der AFIR-Richtlinie wurden **existierende Standorte mit Ladeinfrastruktur (LIS)** entsprechend des nationalen Ladesäulenregisters der Bundesnetzagentur [20] (8.228 Ladesäulenstandorte in Baden-Württemberg) als auch Park- und Rastanlagen verwendet, die aus OpenStreeMap (OSM) extrahiert wurden [21]. Auf diese Art soll eine Grundlage an Standorten erstellt werden, für die anzunehmen ist, dass zur Erfüllung der AFIR-Vorgaben bereits auf bestehende Infrastruktur aufgesetzt werden kann und damit eine Mindestausstattung ausgebaut anstatt neu aufgebaut werden kann. Ladesäulen des gleichen als auch unterschiedlicher Betreiber mit einem Abstand von max. 110 m werden zu einem Standort zusammengefasst und die Gesamtleistung und Maximalleistung für diesen Standort bestimmt. Zusätzlich zu diesen Standorten mit bestehender, fast ausschließlich für PKW ausgelegter Ladeinfrastruktur, werden zusätzlich 180 öffentliche Park- und Rastplätze entlang der Fernstraßen in BW aufgenommen (Abfrage über OSM [21]). Insgesamt werden also **6.546**

Kandidaten-Standorte für E-Lkw-Ladeinfrastruktur in Baden-Württemberg in Betracht gezogen. Das Straßennetz wird aus OSM entnommen und enthält keine Wohn-, Spiel- oder Privatstraßen.

Im ersten Schritt wird die Menge der Kandidatenstandorte auf jene reduziert, die innerhalb von 3 km Fahrstrecke von einer Autobahnabfahrt oder -auffahrt (Abfrage über OSM [21]) des Kern- bzw. Gesamtnetzes erreichbar und von Lkw anfahrbar sind. Um in der Auswahl der Standorte den erforderlichen maximalen Abstand entsprechen der AFIR-Richtlinie berücksichtigen zu können, wird eine Distanzmatrix berechnet, die für jeden potenziellen Standort die Fahrtdistanz zu allen anderen Kandidaten-Standorten enthält.

Im zweiten Schritt wird die Mindestausstattung zunächst für das Kernnetz unter einem heuristischen Ansatz optimiert. Ziel der Optimierung ist es, die Anzahl der Standorte, die für die Erfüllung der AFIR-Richtlinie ausgebaut werden sollen, zu minimieren, d.h. der Abstand zwischen den gewählten Ladestationen wird möglichst groß aber innerhalb der Grenzen des maximal zulässigen Abstands gewählt. Die entwickelte Heuristik priorisiert Standorte dabei entsprechend der folgenden Annahmen und Parameter:

- Aus den Stakeholderinterviews (siehe Abschnitt 02.03) ging hervor, dass der Netzanschluss häufig eine Hürde in der Errichtung von Ladeinfrastruktur darstellt, weswegen ein bereits vorhandener Netzanschluss mit den Parametern der Gesamt- und Maximalleistung in der Optimierung entsprechend gewichtet wird.
- Standorte mit einem besonders geringen Abstand zum TEN-V Kern- bzw. Gesamtnetz werden präferiert. So werden Standorte, direkt an der Autobahn vorgezogen gegenüber jenen, die Abfahrten und max. 3 km Anfahrt abseits der Autobahn erfordern. Dies entspricht den Anforderungen aus den Stakeholder-Konsultationen, die die Umsetzung der AFIR-Vorgaben insbesondere für die Ermöglichung des Fernverkehrs als notwendig angaben.

Um die Erfüllung der Vorgaben auch an den Grenzen zu benachbarten Bundesländern sicherzustellen, wurden dem Algorithmus Cluster an Kandidaten-Standorten in Grenznähe vorgegeben, aus denen mindestens ein Standort für das optimierte Netz gewählt werden musste.

Zur Ermittlung der Mindestausstattung am Gesamtnetz wird die gleiche Methodik angewandt, wobei die Standorte der Optimierung des Kernnetzes als Fixpunkte vorgegeben werden. Die Anforderungen an Kern- und Gesamtnetz unterscheiden sich um die Distanz zwischen Ladestationen (60 km im Kernnetz und 100 km im Gesamtnetz). Für die Abdeckung der Strecken des Gesamtnetzes, die nicht im Kernnetz enthalten sind (blau markierte Strecken in Abbildung 14), ändert sich das Vorgehen der Optimierung nur bezüglich des Parameters für den maximalen Abstand.

Tabelle 15: Anzahl der Standorte vor und nach der Optimierung zur Erfüllung der AFIR-Richtlinie mit der zusätzlichen Information, an wie vielen der Standorte bereits Ladeinfrastruktur (LIS) [19] vorhanden ist oder ob es sich um einen Park- bzw. Rastplatz ohne bestehende LIS handelt.

	Kernnetz			Gesamtnetz		
	LIS	Park- und Rastplätze	Gesamt	LIS	Park- und Rastplätze	Gesamt
Gruppierte Standorte innerhalb 3km Fahrtstrecke	292	32	324	390	31	421
Standorte nach Optimierung	18	7	25	24	11	35

03.03.03 ERGEBNISSE

Das Ergebnis der Optimierung (Tabelle 15) für die Mindestausstattung liefert **25 Standorte zur Erfüllung der AFIR-Vorgaben für das TEN-V-Kernnetz und 35 Standorte entsprechend für das TEN-V Gesamtnetz** in Baden-Württemberg. Von diesen 35 Standorten befindet sich an 24 Standorten bereits Ladeinfrastruktur und dementsprechend auch ein Netzanschluss, was den nötigen Ausbau der Standorte verringert im Vergleich zu den 11 Standorten ohne bereits vorhandene Ladeinfrastruktur.

Wichtig: Es ist anzumerken, dass das hier erzeugte Modell **einer theoretischen Auswahl von Standorten zur Erfüllung der AFIR-Richtlinie** entspricht. Es handelt sich nicht um eine Empfehlung von Standorten für den Ausbau. Es ist davon auszugehen, dass die durch die nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur und die NOW GmbH festgelegten Standorte nicht mit den hier modellierten Standorten übereinstimmen [15]. Vielmehr dient das modellierte Netz dem **Abgleich mit der Bedarfsanalyse**, um die Diskrepanz zwischen regulatorischer Mindestausstattung und modelliertem Ladebedarf zu ermitteln.

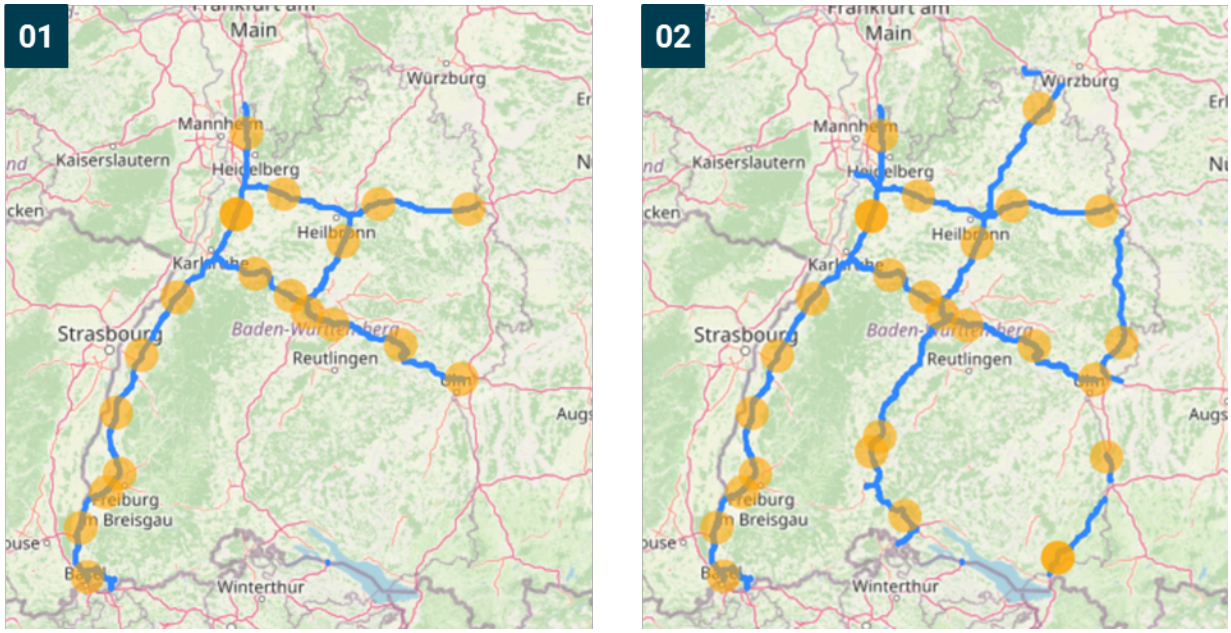


Abbildung 15: Visualisierung des optimierten Standortnetzes für das TEN-V Kernnetz (01) und das TEN-V Gesamtnetz (02) in Baden-Württemberg. Manche der ausgewählten und eingezeichneten Standorte (Park- und Rastanlagen) sind nur von einer Fahrtrichtung befahrbar, in diesen Fällen wir der Ausbau beider Seiten vorgesehen, sodass die Standorte doppelt gezählt sind.

Aus Tabelle 15 kann entnommen werden, dass an 24 Standorten der gewählten 35 Kandidaten schon Ladeinfrastruktur installiert ist und somit eine gewisse Netzanschluss-Verfügbarkeit gegeben ist. Für die verbleibenden 11 Standorte müsste ein Netzanschluss hergestellt werden. Im Median liegt die Maximalleistung der gewählten Standorte mit vorhandener Ladeinfrastruktur bei 300 kW und die Gesamtleistung bei 1200 kW. Nicht alle Standorte sind von beiden Seiten der Autobahn anfahrbar, insbesondere für Park- und Rastanlagen ist dies nicht der Fall. In diesen Fällen wurde der beidseitige Ausbau vorgesehen.

Um den Vergleich zu schaffen, inwiefern die bestimmten Bedarfe für die Zieljahre (siehe Abschnitt 03.02) mit der Mindestausstattung gedeckt werden, wird der Anteil der optimierten Standorte gemäß den Vorgaben der AFIR-Richtlinie zur prozentualen Abdeckung des TEN-V-Kern- bzw. Gesamtnetzes in Baden-Württemberg bestimmt. Ausgehend von diesen kann die Anzahl der in dem Zieljahr benötigten Ladepunkte berechnet werden. Für die Berechnung wird die erforderliche Gesamtleistung für das jeweilige Zieljahr herangezogen und es wird angenommen, dass abgesehen von der Menge an Ladepunkten, die eine Maximalleistung von 350 kW haben müssen, Ladepunkte mit einer Leistung von 250 kW errichtet werden. Die so ermittelte Anzahl an Ladepunkten pro Standort, die Gesamtzahl der für die Erfüllung der AFIR-Richtlinie benötigten Ladepunkte im Vergleich zum Bedarf kann Tabelle 16 entnommen werden.

Tabelle 16: Bedarf an Ladepunkten entsprechend der Optimierung der Mindestausstattung und der Bedarfsanalyse für Ziel- und Mindestszenario. Der Wert für das Jahr 2030 ergibt sich aus der Anzahl der optimierten Standorte, um den benötigten Ausbau zur Erfüllung der AFIR-Richtlinie zu minimieren. Die Anzahlen benötigter Standorte in den Jahren 2025 und 2027 ergeben sich durch die Vorgaben für die prozentuale Abdeckung des TEN-V-Kern- und Gesamtnetz in der AFIR-Richtlinie.

Zieljahre	2025	2027	2030
Ladepunkte pro Standort am Kernnetz	6	11	14
Ladepunkte pro Standort am Gesamtnetz	-	6	6
Anzahl benötigter Ladepunkte zur Erfüllung der AFIR	53	205	410
Bedarf an Zwischenladepunkten für das Zielszenario	87	710	2.410
Bedarf an Zwischenladepunkten für das Mindestszenario	77	540	1.730

Die Gegenüberstellung des Bedarfs mit den benötigen Ladepunkten zur Erfüllung der AFIR-Richtlinie in Tabelle 16 wird deutlich, **dass die Mindestausstattung zu keinem Zeitpunkt den Bedarf ausreichend decken kann**, weder für das Mindest- noch für das Zielszenario. Im **Jahr 2030 fehlen bereits mehr als 2.000 Ladepunkte** in Baden-Württemberg, um das Zielszenario zu erreichen.

03.03.04 SCHLUSSFOLGERUNG UND DISKUSSION

Die Mindestausstattung entsprechend der AFIR-Richtlinie im Jahre 2035 kann in Baden-Württemberg mit 35 Ladestationen erfüllt werden. Entsprechend der Optimierung wäre lediglich der Aufbau von 11 Ladestationen an Standorten ohne bereits vorhandene Ladeinfrastruktur notwendig, sowie der Ausbau von 24 vorhandenen, aktuell für Pkw ausgestatteten Ladestationen. Ein Vergleich mit dem modellierten Bedarf an Ladeinfrastruktur zeigt eine **große Lücke zwischen Mindestausstattung und tatsächlichen Bedarf**. Um also den E-Lkw-Hochlauf des Zielszenarios zu erreichen, wird ein **weiterer Ausbau über das regulatorisch nötige Minimum hinaus nötig sein**. Dies wurde auch in den Experten-Interviews mehrfach erwähnt, dass die AFIR-Richtlinie bei den Stakeholdern als „Mindestanforderung“ interpretiert wird und nicht den erwarteten Bedarf decken kann. Die Analyse gibt folglich das klare Signal, dass mit den aktuellen Vorhaben zur Umsetzung der AFIR-Richtlinie, Bedarfe nicht langfristig gedeckt werden. Vielmehr ist eine weitere Anstrengung für den Aufbau öffentlicher Ladeinfrastruktur nötig. Ohne diese zusätzliche Anstrengung wird es kaum möglich, einen Flottenhochlauf entsprechend der Klimaschutzziele zu erreichen, andererseits ist es aber ebenso ein Signal, dass auch abseits der AFIR-Standorte [22] ein Aufbau von Ladeinfrastruktur für Investoren sehr lohnend sein kann.

03.04 STANDORTKONZEPT

In den Stakeholderinterviews wurde vermehrt die Herausforderung beschrieben, geeignete Flächen für E-Ladepunkte zu ermitteln. Das Standortkonzept soll potenzielle Standorte in Baden-Württemberg identifizieren, die für den Aufbau von E-Ladeinfrastruktur genutzt werden können, diese kategorisieren und deren Eignung für E-Ladeinfrastruktur bewerten. Dies soll der öffentlichen Hand, Netzbetreibern und Investoren als Basis für die Planung und Entscheidungen für den Aufbau von E-Lkw-Ladeinfrastruktur dienen. Durch einen Abgleich mit der Bedarfsanalyse ist es möglich, Regionen mit einem prognostizierten Engpass bzw. Überfluss an verfügbaren Flächen zu erkennen.

03.04.01 ZIELSETZUNG

Während für Pkw-Ladeinfrastruktur bereits ein engeres Netz an Ladepunkten besteht, ist die Lage bei Ladeinfrastruktur für E-Lkw anders. Pkw-Ladeinfrastruktur wird entsprechend des Bedarfs auch viel in Städten und als Service auf Parkplätzen im Einzelhandel angeboten. Standorte für Lkw-Ladeinfrastruktur sind dahingegen einerseits durch ein anderes geographisches Bedarfsaufkommen zu wählen, andererseits sind die Möglichkeiten zum Parken von Lkw auch eingeschränkt und z.B. dauerhaft nur auf ausgewiesenen Parkflächen, in Industrie-, Gewerbe- und Mischgebieten möglich.

Im Folgenden werden potenzielle Standorte für den Aufbau von E-Ladepunkten identifiziert. Dazu werden frei zugängliche Industrie- und Gewerbegebiete und für Lkw zugelassene Parkplätze als Grundmenge an Standorten verwendet. Um die Eignung des Standortes für E-Ladeinfrastruktur zu ermitteln, wird eine **multifaktorielle Analyse** vorgenommen. Die Voraussetzungen und Relevanz von Bewertungskriterien für Ladeinfrastrukturstandorte im Zwischenladen bzw. Übernachtladen sind verschieden, da z.B. die Aufenthaltsdauer im Übernachtladen deutlich größer ist und somit die Relevanz von Attraktionen wie z.B. eines Hotels in der Umgebung größer. Für Zwischenladeinfrastruktur ist dahingegen die Relevanz der verfügbaren Leistung größer und somit steigert ein nahegelegener Netzanschluss die Eignung des Standortes.

03.04.02 DATEN UND METHODIK

Für die Bestimmung der Grundmenge an Standorten, die für den Ausbau von Ladeinfrastruktur für den Schwerlastverkehr relevant sein können, werden über OSM [21] alle dort als **Lkw-Parkplatz, Industrie- und Gewerbegebiet gekennzeichneten Flächen** in Baden-Württemberg abgefragt. Ausgewiesene Lkw-Parkplätze befinden sich überwiegend entlang von Fernverkehrsstraßen, z.B. an Park- und Rastanlagen und an Infrastrukturen, die von Lkw angefahren werden, wie z.B. Umschlags-Hubs wie Güterbahnhöfen, Terminals im kombinierten Verkehr, Logistik-Zentren, und ähnlichem. Dabei sind eigens für Lkw ausgelegte Parkflächen (z.B. diagonale Parkplatze) angelegt. In Industrie- und Gewebegebieten können Lkw auf der Straße (unter Einhaltung der Vorgaben der StVO) parken, ohne dass es eigens ausgewiesene Parkflächen erfordert. Die Industrie- und Gewerbeflächen werden dementsprechend gefiltert, dass Flächen, für die in OSM lediglich beschränkter Zugang hinterlegt ist (z.B. Werksgelände, die nicht ohne Einfuhranmeldung zugänglich sind), nicht weiter berücksichtigt werden. Die auf diese Weise erzeugte **Grundmenge umfasst ca. 4.800 Standorte**.

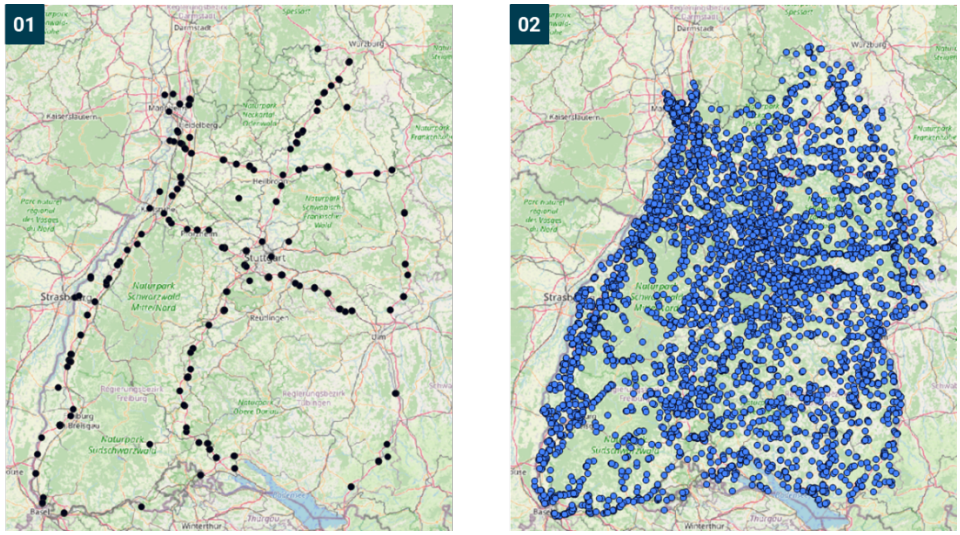


Abbildung 16: Visualisierung der Grundmenge an potenziellen Standorten mit 257 Lkw-Parkplätzen (01) und ca. 4.500 Gewerbe- und Industriegebieten (02).

Die Standorte werden mit Hilfe entsprechend der folgenden Kriterien für die Eignung zum Aufbau von Ladeinfrastruktur bewertet:

- Attraktivitätseigenschaften (Points of interest) in der nahen Umgebung
- Abstand zu Umschlagplätzen
- Größe der nutzbaren/ bebaubaren Fläche
- Abstand zum Umspannwerk (Approximation des Netzanschlussverfügbarkeit)
- Abstand zum TEN-V-Gesamtnetz

Auch in den Stakeholderinterviews sind diese Kriterien oftmals als wesentliche Voraussetzung oder als Attraktivitätsmerkmal für Standorte genannt worden. Die Attraktivität des Standorts bzw. dessen Umgebung ist relevant für die Qualität des Aufenthalts während eines Ladevorganges. Folgende Einrichtungen werden als relevant angesehen und für die Standortbewertung herangezogen:

- WC-Anlage
- Restaurant / Fast-Food-Restaurant
- Supermarkt / Kiosk
- Hotel
- Reparaturwerkstatt
- Autohof
- Rastanlage

Die Bewertung der Attraktivitätskriterien erfolgt auf binärer Basis. Das bedeutet, dass einem Standort eine Bewertung von eins in der entsprechenden Kategorie zugeordnet wird, wenn die Attraktion innerhalb eines definierten Radius vorhanden ist. Andernfalls wird eine Bewertung von null vergeben. Der Radius für die genannten Attraktionen wurde auf 500 m Luftlinie vom Zentrum des Standorts festgelegt, da angenommen wird, dass sie zu Fuß aufgesucht werden.

Als weiteres Kriterium wird die bebaubare Fläche berücksichtigt, da dies bestimmt, wie viele Ladepunkte installiert werden können, was ein wesentliches Kriterium für Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Investoren und damit für die Attraktivität des Standorts ist. Insbesondere für Industrie- und Gewerbeflächen ist dies ein wichtiger Schritt, da die Flächen z.T. bereits anderweitig genutzt sind (z.B. als Verkehrsfläche oder für Gebäude) und zudem nicht die komplette, im Bebauungsplan ausgewiesene Fläche der baulichen Nutzung zugeführt werden kann. Für Gewerbe- und Industriegebiete gibt §17 BauNVO für die Grundflächenzahl einen Orientierungswert von 0,8 an. Mittels OSM können die überbaute Fläche und Verkehrsflächen ermittelt und von der Gesamtfläche abgezogen werden. Für Industrie- und Gewerbegebiete wird die bebaubare Fläche als Differenz zwischen der bereits überbauten Fläche und einer Obergrenze beim 0,8-fachen der Gesamtfläche bestimmt. Es wird davon ausgegangen, dass der tatsächlich für den Ausbau von Ladeinfrastruktur nutzbare Anteil der bebaubaren Flächen sehr gering ist, weshalb **1 % der bebaubaren Fläche für Industrie- und Gewerbegebiete und 50 % der Fläche von Parkplätzen** als potenzielle Fläche zur Errichtung von E-Ladeinfrastruktur berücksichtigt wird. Hierbei wird davon ausgegangen, dass ein wesentlicher Anteil der aktuellen LKW-Parkplatzfläche zukünftig für die Errichtung von LKW-Parkfläche mit Ladeinfrastruktur nutzbar ist. Eine vollständige Berücksichtigung der Fläche in der Modellierung führt allerdings zur Überschätzung des Potenzials, da auch Fläche für die Betankungsinfrastruktur für weitere alternative Antriebstechnologien oder für die Nutzung als klassische Parkfläche in Frage kommt. Ein Wert von 50 % wurde daher für die Modellierung als realistischer Wert festgelegt. In Industrie- und Gewerbegebieten wird davon ausgegangen, dass ein wesentlicher Teil der Flächen bereits genutzt sind und auch unbebaute Flächen auf Grundstücken nicht direkt zur Verfügung stehen für die Errichtung von Ladeinfrastruktur. Vielmehr ist davon auszugehen, dass bisher ungenutzte Grundstücke für die Errichtung von E-Lkw-Ladeinfrastruktur in Frage kommen oder genutzte Grundstücke dieser neuen Nutzung zugeführt werden. Diese relevanten Flächen machen nur einen sehr geringen Anteil der gesamten Fläche aus, weshalb in der Modellierung ein Wert von 1 % der nicht bebauten und bebaubaren Fläche als Potenzialfläche berücksichtig wurde. Für Industrie- und Gewerbegebiete mit vergleichbar vielen noch nicht genutzten Flächen fällt die Größe der Potenzialfläche also größer aus als für solche, in denen keine freien Grundstücke mehr verfügbar sind.

Die benötigte Fläche für einen E-Ladepunkt wird mit 100 m^2 angenommen, dabei wird ein Platzbedarf von ca. 150 % eines Lkw-Stellplatzes für einen E-Ladepunkt berücksichtigt [23]. Standorte mit weniger als 100 m^2 bebaubarer Fläche werden folglich ab diesem Schritt nicht weiter berücksichtigt. Abbildung 18 zeigt ein Histogramm, für die Errichtung welcher Anzahl von Ladepunkten sich der Standort eignet. Es wird deutlich, dass der Großteil der Standorte Potenzial für einen Ladepunkt besitzt. Generell eignen sich 75 % der Standorte lediglich für 1 – 5 E-Ladepunkte. Etwa 14 % der Standorte besitzen ein Potenzial für mehr als 10 Ladepunkte. Allerdings ist hier anzumerken, dass große Gewerbe- und Industrieflächen in OSM oftmals in mehrere, kleine Teilflächen zerlegt werden, sofern diese durch bspw. Bundes- oder Kreisstraßen durchschnitten werden (z.B. Industriegebiet Hulb in Abbildung 17).

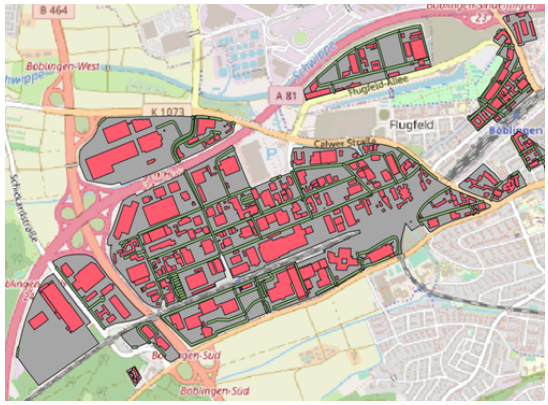


Abbildung 17: Beispielhafte Darstellung des Industriegebietes Hulb (grau) mit den extrahierten Gebäudeflächen (rot) und den Straßen (grün).

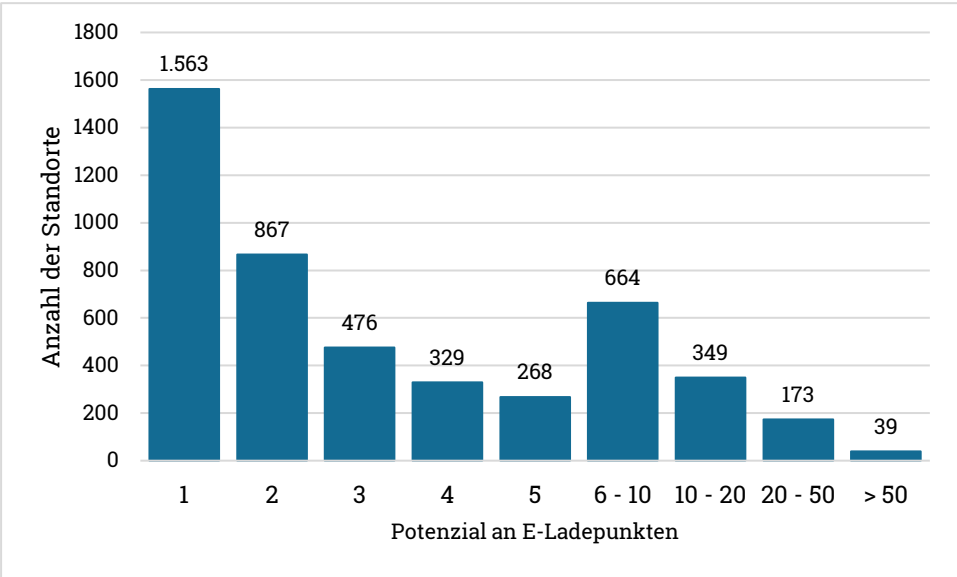


Abbildung 18: Anzahl der Standorte mit der verfügbaren Fläche für die Anzahl an Ladepunkten.

Für die Bewertung der Standorte wird die **Größe der bebaubaren Fläche** linear in die Bewertung berücksichtigt. Außerdem fließt der Anteil der bebaubaren Fläche an der Gesamtfläche des Gebiets ein. Dieser Anteil dient als Einschätzung der Bebauungsdichte am Standort. Die beiden Faktoren tragen mit gleichem Gewicht gemeinsam 20 % zur Gesamtbewertung bei.

Ein sehr wichtiger Faktor zur Bewertung der Standorte stellt der **Abstand zum Netzanschluss** dar. Dieser kann die Kosten des Aufbaus von Ladeinfrastruktur sehr stark beeinflussen. Da keine direkten Daten zur Distanz zum nächsten Netzanschluss bzw. der noch verfügbaren Kapazität vorliegen, wurde gemeinsam mit Netzbetreibern ein Vorgehen abgestimmt und die Netzverfügbarkeit über die Luftliniendistanz zum nächsten Umspannwerk approximiert. Die Umspannwerke für Hochspannung (Spannungen größer als 100 kV) bzw. für Mittelspannung (30 – 60 kV) können über OSM abgefragt werden [21]. Auch hier erfolgt die Bewertung linear bis zu einem maximalen Abstand von 10 km. Die Umspannwerke mit Spannungen größer 100

kV werden stärker gewichtet, da die Ladeleistungen von mehreren Megawatt für das Zwischenladen einen Hochspannungsanschluss erfordern. Da aus den Stakeholderinterviews hervorging, dass der Netzanschluss häufig die größte Hürde in der Aufstellung eigener Ladeinfrastruktur darstellt, wird dieser mit einer hohen Relevanz gewichtet. Den Anteil, mit der die einzelnen Kriterien in die Bewertung eingehen, kann aus Tabelle 17 entnommen werden.

Des Weiteren werden die Standorte nach ihrem Abstand zu relevanten Umschlagplätzen und Verladestandorten bewertet. Hierbei werden folgende Orte berücksichtigt:

- Flughäfen
- Güterbahnhöfe
- Häfen
- Industriegebiete

Auch hier erfolgt die Bewertung binär. Die Bewertung nach dem Abstand zu diesen Orten erfolgt mit einer maximalen Distanz von 3 km Luftlinie vom Zentrum der Standorte. Die Relevanz der Umschlagplätze ist für die Ladeszenarien im Regionalverkehr bzw. im Fernverkehr unterschiedlich, was sich in deren Gewichtung widerspiegelt (siehe Tabelle 17).

Für Ladeszenarien im Fernverkehr ist auch die **Distanz zur nächsten Autobahnauffahrt** von Bedeutung. Die Distanz geht in der Bewertung ebenfalls als Luftlinie ein. Für das Zwischenladeszenario im Fernverkehr wird eine maximale Distanz von 1 km angenommen, für das Übernachtladeszenario 3 km. In diesem Fall erfolgt die Bewertung linear, sodass Standorte in direkter Nähe zu einer Auf- oder Abfahrt des TEN-V-Netzes besser bewertet sind als Standorte mit höherer Entfernung zum TEN-V-Netz. Standorte, die sich nicht innerhalb der für die Distanz zum TEN-V-Netz festgelegten Obergrenze befinden, werden in dieser Kategorie mit 0 bewertet. Die bestmögliche Bewertung ist 1. Es ist zu beachten, dass Standorte, trotz einer größeren Distanz zur nächsten Autobahnauffahrt dennoch eine gute Bewertung für die Ladeszenarien im Fernverkehr erhalten können, sofern sie die anderen Kriterien (Attraktionen, Umschlagsplätze, Fläche, Netzanschluss) besonders gut erfüllen. Standorte, die eine Distanz von mehr als 10 km zur nächsten Autobahnauffahrt aufweisen, werden allerdings unabhängig ihrer Eignung in den weiteren Kriterien nicht für Ladeszenarien Fernverkehr berücksichtigt. Für den Regionalverkehr fließt das Kriterium der Distanz zum TEN-V-Netz nicht mit in die Bewertung ein.

Tabelle 17: Auflistung der Bewertungskriterien mit dem kritischen Abstand bei binären Bewertungskriterien und der Gewichtung der Kategorie mit der Unterscheidung in öffentliches Laden Regionalverkehr, Zwischenladen Fernverkehr und Übernachtladen Fernverkehr.

Kategorie	Kritischer Abstand	Gewicht öffentliches Laden Regionalverkehr	Gewicht Zwischenladen Fernverkehr	Gewicht Übernachtladen Fernverkehr
Attraktionen	**500 m**	**22 %**	**18 %**	**20 %**
WC-Anlage	500 m	7 %	4 %	4 %
Restaurant (+ Fast Food)	500 m	3 %	3 %	3 %
Hotel/ Motel	500 m	2 %	1 %	3 %
Supermarkt, Kiosk	500 m	5 %	3 %	3 %
Reparaturwerkstatt Auto	500 m	2 %	1 %	2 %
Rastanlage	500 m	2 %	4 %	3 %
Autohof	500 m	2 %	4 %	3 %
Umschlagsplätze	**3.000 m**	**28 %**	**12 %**	**10 %**
Industriegebiete	3.000 m	7 %	4 %	4 %
Güterbahnhof	3.000 m	7 %	3 %	2 %
Hafen	3.000 m	7 %	3 %	2 %
Flughafen	3.000 m	7 %	3 %	2 %
Abstand TEN-V Gesamtnetz	**-**	**0 %**	**20 %**	**20 %**
Flächenverfügbarkeit		**20 %**	**20 %**	**20 %**
% verfügbare Fläche	-	10 %	10 %	10 %
Absolut verfügbare Fläche	-	10 %	10 %	10 %
Abstand zu Umspannwerken		**30 %**	**30 %**	**30 %**
Umspannwerk für Hochspannung (> 100 kV)	10.000 m	20 %	20 %	15 %
Umspannwerk für Mittelspannung (30 – 60 kV)	10.000 m	10 %	10 %	15 %
Summe		**100 %**	**100 %**	**100 %**

Die Gesamtbewertung entspricht einem Wert zwischen null und eins und aus ihr lässt sich für jedes Ladeszenario ein Ranking der Standorte für die Ladeszenarien Schnelladen Regionalverkehr, Zwischenladen Fernverkehr und Übernachtladen Fernverkehr ableiten. Jeder Standort erhält eine Bewertung für jedes der drei Ladeszenarien, und das priorisierte Szenario wird anhand der besten Platzierung in den Ranglisten der Szenarien festgelegt. Dies ist für die

folgende Analyse der Bedarfsdeckung pro Fernstraßensektor und Landkreis und für die Analyse des Aufwuchses an Ladestandorten entsprechend einem Stufenkonzept (siehe Abschnitt 03.05) relevant.

03.04.03 ERGEBNISSE

Wie beschrieben erhält **jeder Standort einen Gesamtscore pro Ladeszenario** und wird dem **besten Szenario** zugeordnet. Wenn z.B. ein Standort den besten Rang für das Szenario öffentliches Laden Regionalverkehr erhält, wird er diesem primär zugeordnet. Auf diese werden ca. 1.300 Standorte dem Zwischenladen Fernverkehr, 1.200 dem Übernachtladen Fernverkehr und ca. 2.100 dem öffentlichen Laden im Regionalverkehr zugeordnet (siehe Tabelle 18). Die Anzahl möglicher Ladepunkte in Baden-Württemberg zeigen ein großes Potenzial für E-Ladeinfrastruktur auf.

Tabelle 18: Zuordnung der Standorte und der sich daraus ergebenden Anzahl an Ladepunkten für die Annahme einer nutzbaren Fläche von 1 % in Industrie- und Gewerbegebieten und 50 % der Parkplätze für den Aufbau von Lkw-Ladeinfrastruktur.

	Öffentliches Laden Regionalverkehr	Zwischenladen Fernverkehr	Übernachtladen Fernverkehr
Anzahl Standorte	**3.006**	**779**	**949**
Anzahl Parkplätze	35	171	54
Anzahl Industriegebiete	2.971	608	895
Gesamtzahl potenzieller Ladepunkte	**14.079**	**5.483**	**5.855**
Ladepunkte Parkplätze	349	2.811	1.049
Ladepunkte Industriegebiete	13.730	2.672	4.806

Die geographische Verteilung der Parkplatzstandorte (schwarz) und der Standorte in Gewerbe- und Industriegebieten (blau) ist in Abbildung 19 dargestellt. Durch die multifaktorielle Bewertung und dem Ausschlusskriterium bezüglich der Distanz werden die potenziellen Standorte abseits der Hauptverkehrsachsen nahezu ausschließlich dem Regionalverkehr zugeordnet (siehe Abbildung 19.01). Die Standorte nahe an den Hauptverkehrsachsen werden priorisiert den Fernverkehrsszenarien zugeordnet durch die hohe Relevanz des Abstandes zum TEN-V-Gesamtnetz. Darüber hinaus werden Standorte mit einem geringen Abstand zu großen Umspannwerken eher dem Zwischenladen zugeordnet bzw. Standorte mit nahegelegenen Hotels etc. dem Übernachtladen.

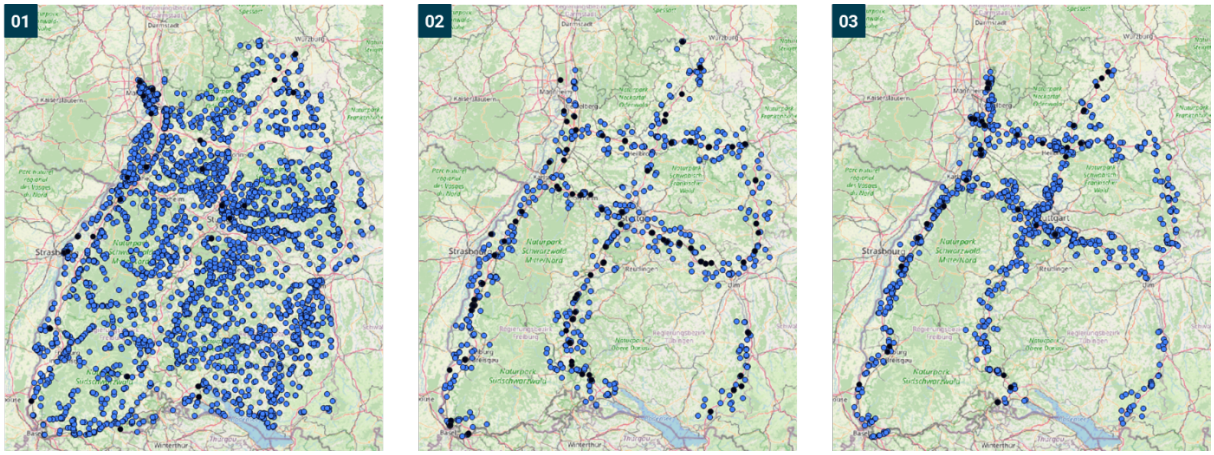


Abbildung 19: Visualisierung der Parkplätze (schwarz) und Industriegebiete (blau) mit der Zuordnung für öffentliches Laden Regionalverkehr (01), Zwischenladen Fernverkehr (02) und Übernachtladen Fernverkehr (03).

zeigt die durchschnittlich erreichten Bewertungen in den verschiedenen Kategorien durch die den unterschiedlichen Szenarien zugeordneten Standorte. Es wird deutlich, dass Standorte mit einer größeren Fläche vermehrt dem Szenario Zwischenladen Fernverkehr zugeordnet werden. Die Attraktivität der Standorte (Hotel, Restaurant etc.) ist hingegen im Zwischenladen Fernverkehr weniger relevant, da die Ladezeit kurz ausfällt und somit Attraktionen in der Umgebung von geringerer Relevanz für die Aufenthaltsqualität sind. Der Abstand zum TEN-V-Netz ist für den Regionalverkehr nicht bewertungsrelevant.

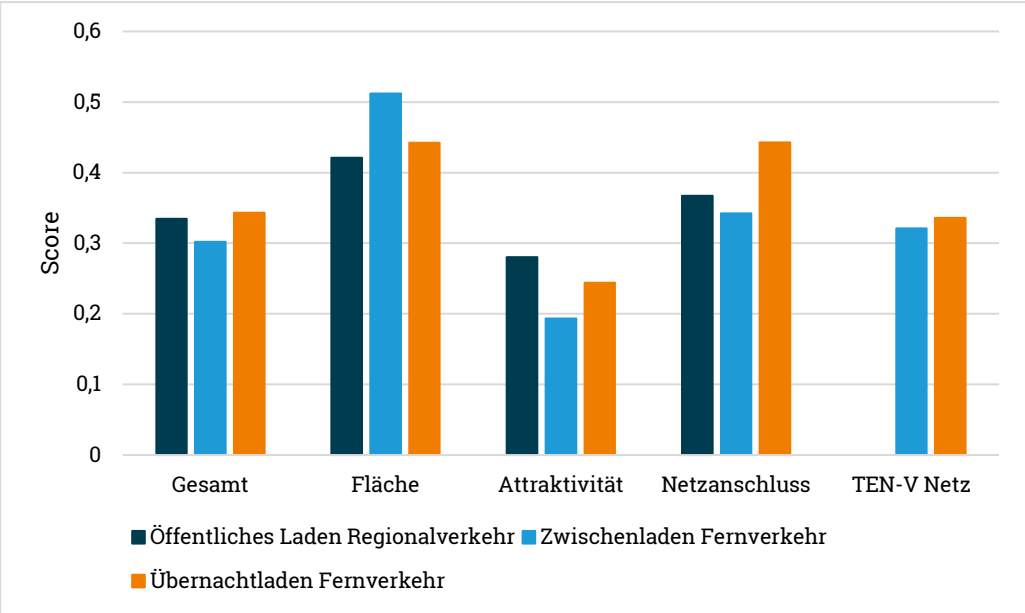


Abbildung 20: Durchschnittliche Bewertung der Standorte mit der Zuordnung zu den Szenarien öffentliches Laden Regionalverkehr (dunkelblau), Zwischenladen Fernverkehr (blau) und Übernachtladen Fernverkehr (orange).

Das Potenzial der Standorte zur Installation von E-Ladeinfrastruktur ist durch deren verfügbare Fläche definiert. Dieses Potenzial ist für die Standorte mit der Unterteilung in die drei Lades-

zenarien in Abbildung 21 dargestellt. Eine Vielzahl von Standorten haben lediglich Flächenpotenzial für die Errichtung eines Ladepunkts. Die Anzahl von Standorten nimmt mit der Anzahl potenzieller Ladepunkte ab. Dies lässt vermuten, dass nur wenige Standorte Potenzial für einen großen Ladehub mit vielen Ladepunkten besitzen. Wobei auch hier wieder anzumerken ist, dass große Gewerbegebiete in OSM oftmals als 5-10 oder sogar mehr Einzelflächen hinterlegt sind, wenn diese durch größere Straßen durchschnitten sind. Die Bewertung der Standorte steigt mit der Größe der Standorte, da die hohe Gewichtung der verfügbaren Fläche (10 % der Gesamtgewichtung) hier ins Gewicht fällt. Für besonders große Standorte mit mehr als 50 potenziellen Ladepunkten zeigt sich allerdings wieder ein Abfall des Gesamtscore für Zwischenladen und Übernachtladen im Fernverkehr, da diese Standorte oftmals eine größere Distanz zum TEN-V-Gesamtnetz aufweisen. Dies zeigt, dass Standorte mit großem Potenzial für den Aufbau von E-Ladeinfrastruktur auch in abseits der direkten Nähe zum TEN-V-Netz zu finden sind und im Falle von Engpässen in der Bedarfsdeckung herangezogen werden sollten.

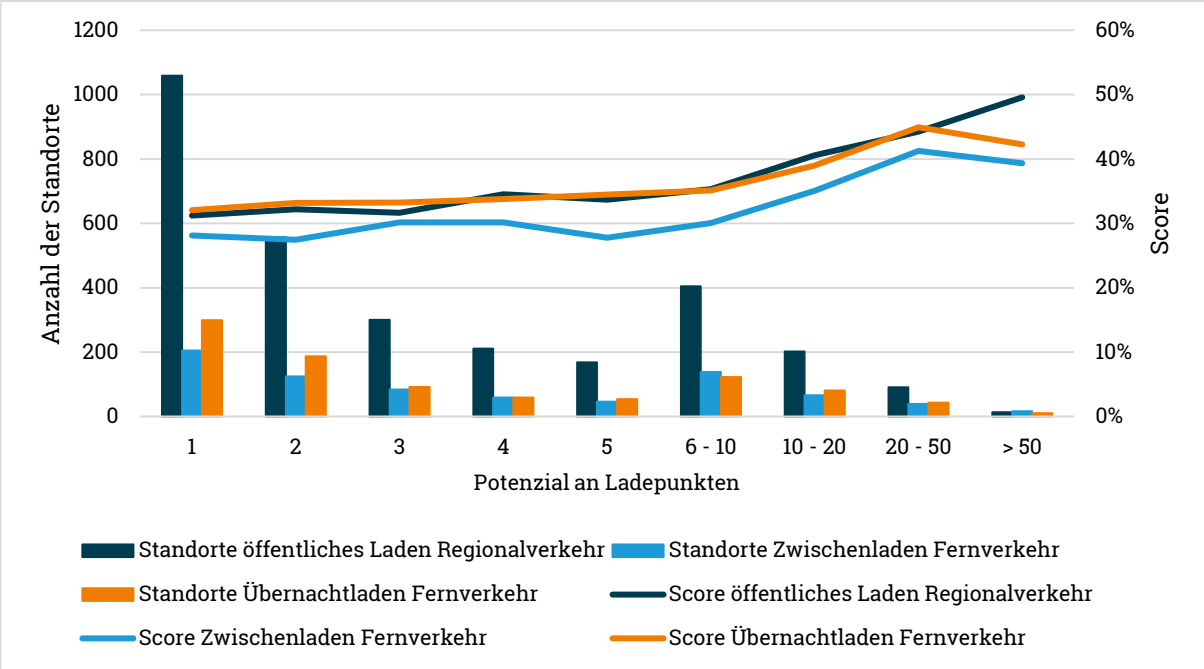


Abbildung 21: Anzahl der Standorte sowie durchschnittliche Score der Standorte für öffentliches Laden Regionalverkehr (dunkelblau), Zwischenladen Fernverkehr (blau) und Übernachtladen Fernverkehr (orange).

03.04.04 SCHLUSSFOLGERUNG UND DISKUSSION

Insgesamt lässt sich eine große Menge an Standorten identifizieren, die als Lkw-Parkplatz oder als Industrie- und Gewerbegebiet für den Aufbau von E-Lkw-Ladeinfrastruktur geeignet sind. Die Bewertung der Standorte wird für die unterschiedlichen Ladeszenarien vorgenommen, um somit die Standorte dem am besten geeigneten Ladeszenario aus öffentliches Laden Regionalverkehr, Zwischenladen Fernverkehr bzw. Übernachtladen Fernverkehr zuzuordnen. Die **priorisierten Standorte für den Fernverkehr befinden sich an den Hauptverkehrsachsen**, während die **Standorte für Ladeszenarien im Regionalverkehr sich auch in ländlichen Gebieten** befinden. Das Flächenpotenzial für die Errichtung von E-Ladepunkten für den Regionalverkehr ist höher als jenes für Ladestandorte für den Fernverkehr, da sich die in

der Nähe der Hauptverkehrsachsen identifizierten Standorte als flächenmäßig kleiner herausstellen. Die erarbeitete Standortbewertung wird im Stufenkonzept genutzt, um für die Zieljahre eine lokale Gegenüberstellung von Bedarf und Potenzial für die Ladeszenarien zu ermöglichen und eine Priorisierung der Standorte für den Ausbau in den Zieljahren zu erstellen.

03.05 STUFENKONZEPT

03.05.01 ZIELSETZUNG

Basierend auf den in der Bedarfsanalyse (siehe Kapitel 03.02) ermittelten Bedarfen an Ladeinfrastruktur für den Schwerlastverkehr und den im Standortkonzept analysierten Potenzialstandorten (siehe Kapitel 03.04) wird **ein schrittweiser Ausbau der Landeinfrastruktur in Form eines Stufenkonzepts** skizziert. Ziel hierbei ist zu ermitteln in welchen lokalen Regionen in Baden-Württemberg der Bedarf an öffentlicher Ladeinfrastruktur für die jeweiligen Ladeszenarien (öffentliches Laden Regionalverkehr, Zwischenladen Fernverkehr und Übernachtladen Fernverkehr) in den Zieljahren 2027, 2030 und 2035 gedeckt werden kann bzw. wo es **perspektivisch zu möglichen Engpässen bzgl. Flächenverfügbarkeiten** kommen kann.

03.05.02 DATEN UND METHODIK

Die Umsetzung des Stufenkonzepts basiert ausschließlich auf den in den der Bedarfsanalyse und dem Standortkonzept erhobenen Daten und ermittelten Prognosen. Dabei wurden sowohl das Zielszenario als auch das Mindestszenario analysiert und in beiden Fällen der Technologiefortschritt durch flächendeckenden Einsatz von MCS-Ladesäulen für Zwischenladeszenarien ab 2030 berücksichtigt.

Konzeptionell wird dabei unter folgenden Annahmen und Rahmenbedingungen vorgegangen:

- Die für das jeweilige Ladeszenario bestgereihten Standorte, d.h. mit dem höchsten Score und besten Rang, werden zuerst ausgebaut
- Wird ein Standort für den Ausbau zugeordnet, dann wird er vollständig ausgebaut entsprechend den lokalen Flächenkapazitäten
- Es werden so viele Standorte zugeordnet, bis die Bedarfe im Zieljahr zumindest gedeckt gegebenenfalls aber auch überdeckt werden

Die Zuordnung der Standorte erfolgt etappenweise, zunächst für das Zieljahr 2027, und aufbauend für die weiteren Zieljahre 2030 und 2035.

Durch dieses laufende Auffüllen des Bedarfs durch die bestbewerteten Standorte, erhält man also die Mindestanzahl an auszubauenden Standorten pro Fernstraßensektor bzw. Landkreis, die Anzahl der dadurch entstehenden neuen Ladepunkte oder die Information, dass wenn alle verfügbaren Standorte ausgebaut werden, der Bedarf nicht gedeckt werden kann.

Um die verfügbaren Standorte und das mögliche Potenzial möglichst umfassend zu nutzen und auch jene Standorte für den Ausbau einzuplanen die, aufgrund lokaler Gegebenheiten, weniger attraktiv für die einzelnen Ladeszenarien sind, werden weitere iterative Analysen betrachtet:

- Jenen Autobahnsektoren, deren Bedarf an Ladeinfrastruktur für das Zwischenladen im Fernverkehr nicht gedeckt werden können, werden zusätzliche Standorte zugeordnet, die nicht für das öffentliche Laden im Regionalverkehr oder das Übernachtladen benötigt werden, wenn diese die Mindestanforderungen für die Eignung für das Zwischenladen im Fernverkehr erfüllen, d.h. weniger als 10 km von TEN-V-Kernnetz entfernt sind, und den jeweiligen Fernstraßensektoren zugeordnet sind
- Jenen Autobahnsektoren, deren Bedarf an Ladeinfrastruktur für das Übernachtladen im Fernverkehr nicht gedeckt werden können, werden weitere Standorte zugeordnet, die besonders gut für das Zwischenladen im Fernverkehr geeignet sind und dem den jeweiligen Fernstraßensektoren zugeordnet sind, wodurch eine Doppelnutzung dieser Standorte für beide Ladeszenarien unterstellt wird
- Jenen Autobahnsektoren, deren Bedarf an Ladeinfrastruktur für das Übernachtladen im Fernverkehr auch unter der Berücksichtigung von Doppelnutzungen nicht gedeckt werden können, werden zusätzliche Standorte zugeordnet, die nicht für das öffentliche Laden im Regionalverkehr benötigt werden

Dieses iterative Betrachtung der Standortpotenziale steht im Einklang mit der allgemeinen Einschätzung der Stakeholder, dass der Bedarf an Standorten hoch sein wird und auch nicht optimale Flächen und Standorte für den Ausbau genutzt werden müssen und, dass aufgrund der geringen Anzahl an Flächen in der Nähe der Autobahn Ladepunkte an optimalen Standorten sowohl für das Zwischenladen als auch das Übernachtladen genutzt werden, insbesondere sobald sich der MCS-Standard durchgesetzt hat und mehr Ladezyklen pro Tag und Ladepunkte abgebildet werden können.

03.05.03 ERGEBNISSE

Die Ergebnisse des Stufenkonzepts liefern sowohl im **Mindest- als auch im Zielszenario eine grundsätzliche gute Abdeckung des Bedarfs**. Für den Regionalverkehr werden sowohl im Zielszenario als auch im Mindestszenario die Bedarfe bis 2027 und 2030 in allen Landkreisen ausreichend abgedeckt (siehe Tabelle 19). Für das Zielszenario sind einzig in Pforzheim bis 2035 geringfügige Engpässe zu erkennen, die allerdings als marginal angesehen werden können. Des Weiteren lässt sich erkennen, dass sich mit einem **avisierten vollständigen Ausbau der Standorte gesamtheitlich sogar eine Überdeckung des Bedarfs bis 2035** erreichen lassen könnte. Dies ist insbesondere im Hinblick auf den über 2035 hinaus erwarteten weiteren Anstieg des Bedarfs an Ladeinfrastruktur für den Regionalverkehr bedeutend. Für die Deckung des ermittelten Bedarfs im Jahr 2035 im Zielszenario würden entsprechend des Stufenkonzepts ca. 415 der ermittelten Potenzialstandorte benötigt, was nur ca. 14 % der für das öffentliche Laden im Regionalverkehr grundsätzlich geeigneten Standorte ausmacht. Während jene Standorte, die zur Abdeckung des Bedarfs im Jahr 2027 im Zielszenario benötigt werden, durchschnittlich Potenzial für ca. 12 Ladepunkte haben, beträgt der Durchschnitt 2035 nur noch ca. 7 Ladepunkte. Dies zeigt insbesondere, dass für das öffentliche Laden im Regionalverkehr **jene Standorte gemäß Standortkonzept priorisiert wurden, die große Flächenpotenziale aufweisen** und andererseits, dass ein Großteil der attraktiven Standorte eher klein dimensioniert ist, woraus abgeleitet werden kann, dass, um den Bedarf mit attraktiven Standorten abdecken zu können, perspektivisch auch kleine Standorte bzw. Industriegebiete mit mehreren Flächenabschnitten berücksichtigt werden müssen.

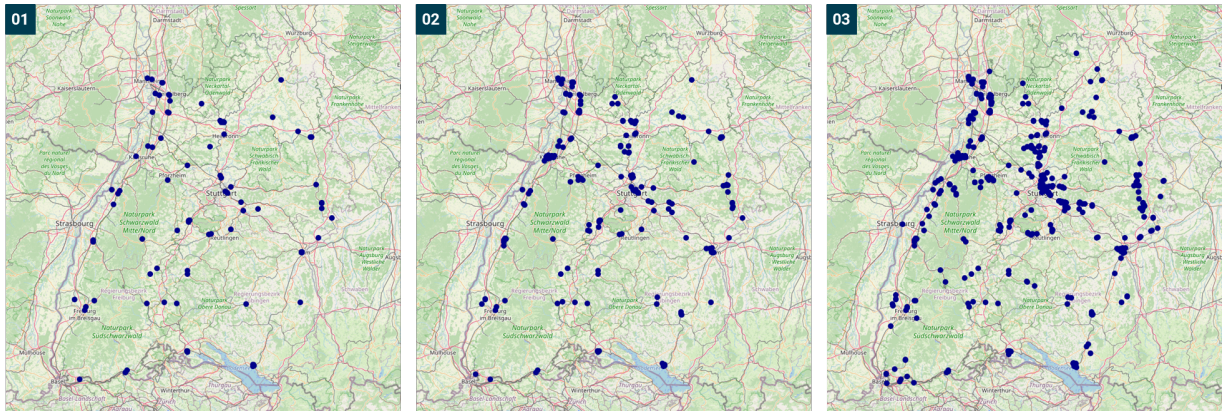


Abbildung 22: Standorte öffentliches Laden Regionalverkehr im **Zielszenario** 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03).

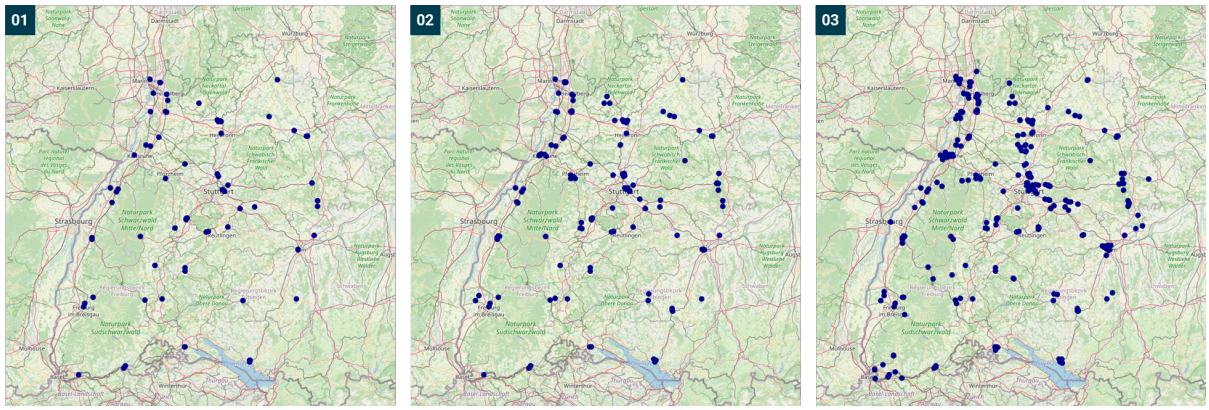


Abbildung 23: Standorte öffentliches Laden Regionalverkehr im **Mindestszenario** 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03).

Für das **Zwischenladen im Fernverkehr** zeichnet sich im Gegensatz dazu ein **höherer Flächenengpass bis 2035** ab. Wie in den Abbildung 24 und 25 und Tabelle 19 ersichtlich gibt es einige Regionen und Fernstraßensektoren deren Bedarf allein durch die für den Fernverkehr infrastrukturell am besten geeigneten Standorte potenziell nicht gedeckt werden können, während andere ein deutlich höheres Potenzial als Bedarf aufweisen. Der im Zielszenario sehr hohe Bedarf an Ladepunkten für das Zwischenladen im Fernverkehr benötigt bis 2035 den Ausbau von ca. 430 Standorten entsprechend dem Stufenkonzept (siehe Tabelle 19). Zusätzlich lässt sich erkennen, dass die ausschließliche Nutzung von Park- und Rastplätzen auf Autobahnen und Schnellstraßen nicht ausreichen wird, um den lokalen Bedarf, z.B. in der Region um Karlsruhe, decken zu können. Unter Berücksichtigung von Standorten, die initial nur suboptimal für das Zwischenladen im Fernverkehr geeignet sind und für das öffentliche Laden im Regionalverkehr bzw. Übernachtladen nicht benötigt werden, lässt sich der Bedarf im Zielszenario im Jahr 2035 lokal knapp decken. Dies und die Erkenntnis, dass ca. 55% der identifizierten Potentialstandorte benötigt werden, um den Bedarf zu decken, unterstützen die Einschätzung der Stakeholder und Marktteilnehmer, dass **insbesondere Autobahn- und Schnellstraßen- und Autobahnnetz ein schneller Ausbau vorangetrieben** werden und **entsprechende Flächen bereitgestellt** werden müssen.

Tabelle 19: Ergebnisse des Stufenkonzeptes bezüglicher der initialen Zuordnung von Standorten für die Zieljahre 2027, 2030 und 2035, sowie der erweiterten Analyse durch Doppelnutzung und Nutzung zusätzlicher anderer Standorte zur Bedarfsdeckung an Ladepunkten (LP).

Zieljahr	2027	2030	2035
Regionalverkehr – Zielszenario			
Bedarf an Ladepunkten	459	1.409	2.711
Anzahl d. Standorte (kumuliert)	89	195	415
Anzahl potenzieller Ladepunkte	1.021	1.839	3.191
Anzahl d. Landkreise ohne Bedarfsdeckung	**0**	**0**	**1 (6 LP)**
Regionalverkehr – Mindestszenario			
Bedarf an Ladepunkten	339	1.001	2.090
Anzahl d. Standorte (kumuliert)	73	157	306
Anzahl potenzieller Ladepunkte	868	1.496	2.716
Anzahl d. Landkreise ohne Bedarfsdeckung	**0**	**0**	**1 (3 LP)**
Zwischenladen Fernverkehr – Zielszenario			
Bedarf an Ladepunkten	710	2.411	4.633
Anzahl d. Standorte (kumuliert)	56	212	482
Anzahl potenzieller Ladepunkte	1.083	2.542	4.028
Anzahl d. Sektoren ohne Bedarfsdeckung	**0**	**2 (82 LP)**	**8 (744 LP)**
Anzahl zusätzlicher Standorte durch Nutzung von Standorten für Regionalverkehr oder Übernachtla-den	0	10	143
Anzahl potenzieller zusätzlicher Ladepunkte	0	91	767
Anzahl d. Sektoren ohne Bedarfsdeckung	**0**	**0**	**1 (18 LP)**
Zwischenladen Fernverkehr – Mindestszenario			
Bedarf an Ladepunkten	541	1.731	3.618
Anzahl d. Standorte (kumuliert)	43	147	361
Anzahl potenzieller Ladepunkte	924	2.085	3.417
Anzahl d. Sektoren ohne Bedarfsdeckung	**0**	**1 (10 LP)**	**5 (364 LP)**
Anzahl zusätzlicher Standorte durch Nutzung von Standorten für Regionalverkehr oder Übernachtla-den	0	1	68
Anzahl potenzieller zusätzlicher Ladepunkte	0	22	411
Anzahl d. Sektoren ohne Bedarfsdeckung	0	0	0
Übernachtladen Fernverkehr – Zielszenario			
Bedarf an Ladepunkten	631	2.533	6.482
Anzahl d. Standorte (kumuliert)	71	285	631
Anzahl potenzieller Ladepunkte	830	2.723	4.429
Anzahl d. Sektoren ohne Bedarfsdeckung	**2 (10 LP)**	**3 (90 LP)**	**10 (2122 LP)**
Anzahl d. Sektoren ohne Bedarfsdeckung trotz Doppelnutzung	**0**	**1 (39 LP)**	**3 (300 LP)**

Zieljahr	2027	2030	2035
Anzahl zusätzlicher Standorte durch Nutzung von Standorten für Regionalverkehr	0	4	25
Anzahl potenzieller zusätzlicher Ladepunkte	0	48	192
Anzahl d. Sektoren ohne Bedarfsdeckung	0	0	1 (114 LP)
Übernachtladen Fernverkehr – Mindestszenario			
Bedarf an Ladepunkten	481	1.807	5.162
Anzahl d. Standorte (kumuliert)	45	202	549
Anzahl potenzieller Ladepunkte	695	2.126	4.076
Anzahl d. Sektoren ohne Bedarfsdeckung	**2 (10 LP)**	**2 (58 LP)**	**8 (1180LP)**
Anzahl d. Sektoren ohne Bedarfsdeckung trotz Doppelnutzung	**0**	**1 (17 LP)**	**1 (78 LP)**
Anzahl zusätzlicher Standorte durch Nutzung von Standorten für Regionalverkehr	0	3	8
Anzahl potenzieller zusätzlicher Ladepunkte	0	37	79
Anzahl d. Sektoren ohne Bedarfsdeckung	**0**	**0**	**0**

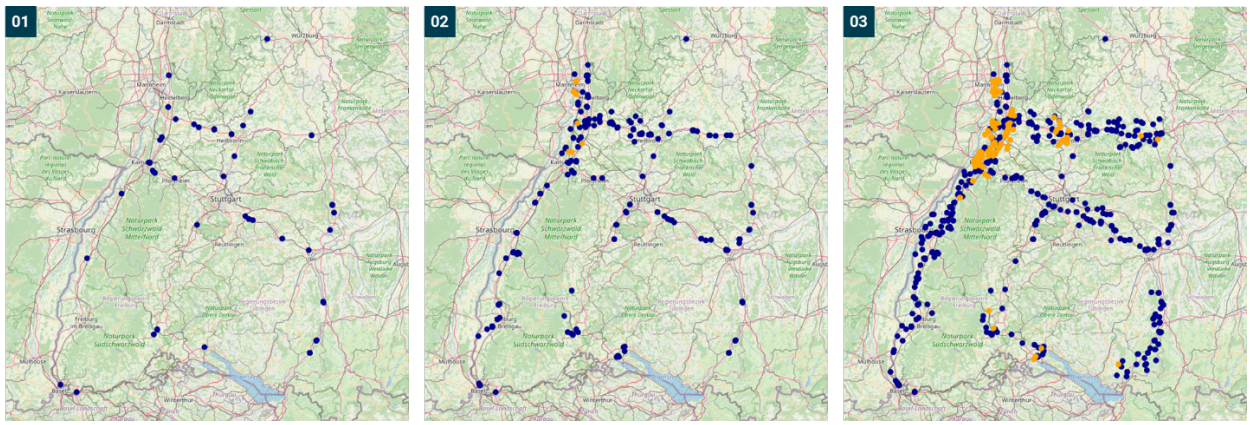


Abbildung 24: Standorte Zwischenladen Fernverkehr **Zielszenario** 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03) mit ursprünglich dem Szenario Zwischenladen Fernverkehr zugeordneten Standorten (blau) und nachgefüllten Standorten, die ursprünglich dem Szenario öffentliches Laden Regionalverkehr zugeordnet waren (orange).

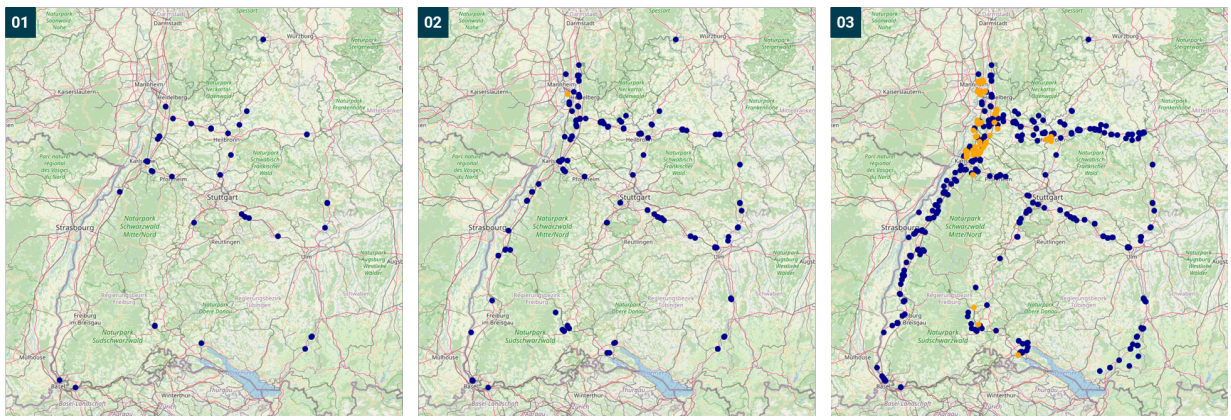


Abbildung 25: Standorte Zwischenladen Fernverkehr **Mindestszenario** 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03) mit ursprünglich dem Szenario Zwischenladen Fernverkehr zugeordneten Standorten (blau) und nachgefüllten Standorten, die ursprünglich dem Szenario öffentliches Laden Regionalverkehr zugeordnet waren (orange).

Betrachtet man den stufenweisen Ausbau an Ladeinfrastruktur für das Übernachtladen im Fernverkehr zur Abdeckung des Zielszenarios bis 2035 wird die Wichtigkeit der frühzeitigen **Flächenplanung und lokale Diskrepanz zwischen Bedarf und Potenzialstandorten weiter deutlich**. Die besonders geeigneten Standorte in der Nähe der Autobahnen und mit entsprechender Infrastruktur reichen bei weitem nicht um den lokalen Bedarf in den meisten Regionen abzudecken. Insbesondere auf der A5, mit den Fernstraßensektoren mit den höchsten Bedarfen, reichen die verfügbaren Standorte nicht aus (siehe Abbildung 26 und 27). Trotz der hohen Anzahl von ca. 630 gewählten Standorten, die über zwei Drittel, der dem Übernachtladen zugeordneten Standorte ausmachen, kann der **lokale Bedarf in 10 Fernstraßensektoren nicht gedeckt** werden (siehe Tabelle 19).

Wird berücksichtigt, dass optimale Standorte für das Zwischenladen im Fernverkehr gegebenenfalls auch für das Übernachtladen genutzt werden können, können gewissen Engpässe an Standorten und Flächen überwunden und der Bedarf Großteils abgedeckt werden. Werden zusätzlich weitere Standorte weiter abseits der Autobahn, die eigentlich für das öffentliche Laden im Regionalverkehr prädestiniert wären, oder weitere Standorte für das Zwischenladen im Fernverkehr für den Ausbau der Ladeinfrastruktur für das Übernachtladen herangezogen, können weitere Potenziale erschlossen werden.

Dies stützt die Vermutung der Stakeholder, dass der **bedarfsorientierte Ausbau von Ladeinfrastruktur entlang der Autobahn**, vor der langfristigen Herausforderungen der Verfügbarkeit geeigneter Flächen steht und eine entsprechende Planung und Anreizung frühzeitig zu beginnen.

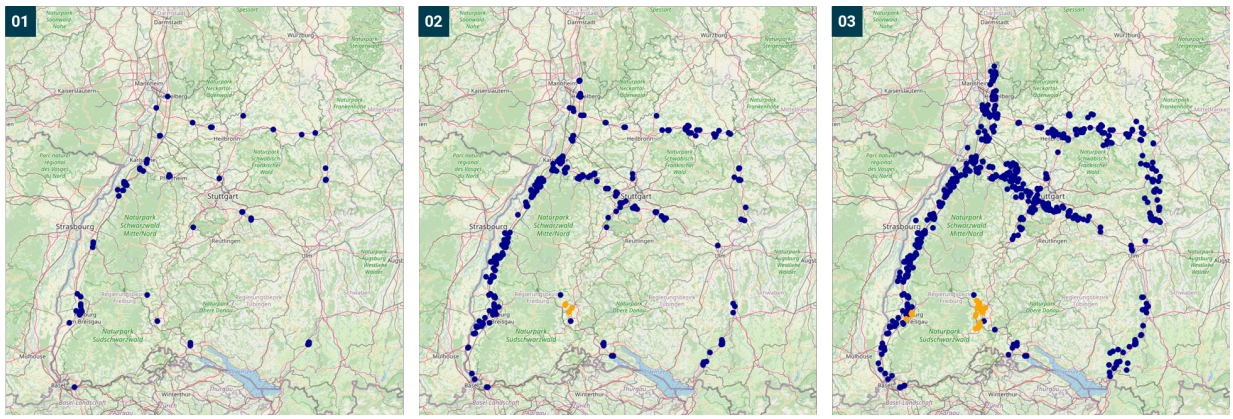


Abbildung 26: Standorte Übernachtladen Fernverkehr **Zielszenario** 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03) mit ursprünglich dem Szenario Übernachtladen Fernverkehr zugeordneten Standorten (blau) und nachgefüllten Standorten, die ursprünglich dem Szenario öffentliches Laden Regionalverkehr zugeordnet waren (orange).

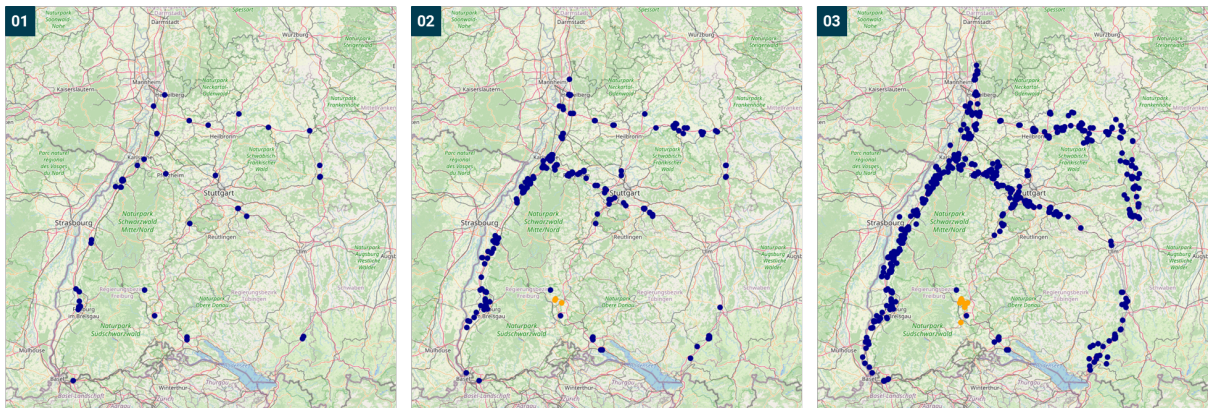


Abbildung 27: Standorte Übernachtladen Fernverkehr **Mindestszenario** 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03) mit ursprünglich dem Szenario Übernachtladen Fernverkehr zugeordneten Standorten (blau) und nachgefüllten Standorten, die ursprünglich dem Szenario öffentliches Laden Regionalverkehr zugeordnet waren (orange).

Betrachtet man die Standorte, die für den Ausbau von Ladeinfrastruktur eingeplant werden könnten, um den lokalen Bedarf zu decken, wird ersichtlich, dass insbesondere Standorte direkt auf oder in unmittelbarer Näher der Autobahnen benötigt werden, zusätzlich aber auch Industrie und Gewerbegebiete abseits davon benötigt werden. Insbesondere für das öffentliche Laden im Regionalverkehr wird augenscheinlich, dass viele eher kleine Standorte benötigt werden, um den Bedarf bis 2035 zu decken. Die wenigen großen Standorte in Autobahnnähe sind hingegen besonders wertvoll, um den Bedarf für das Zwischenladen und das Übernachtladen im Fernverkehr zu stützen.

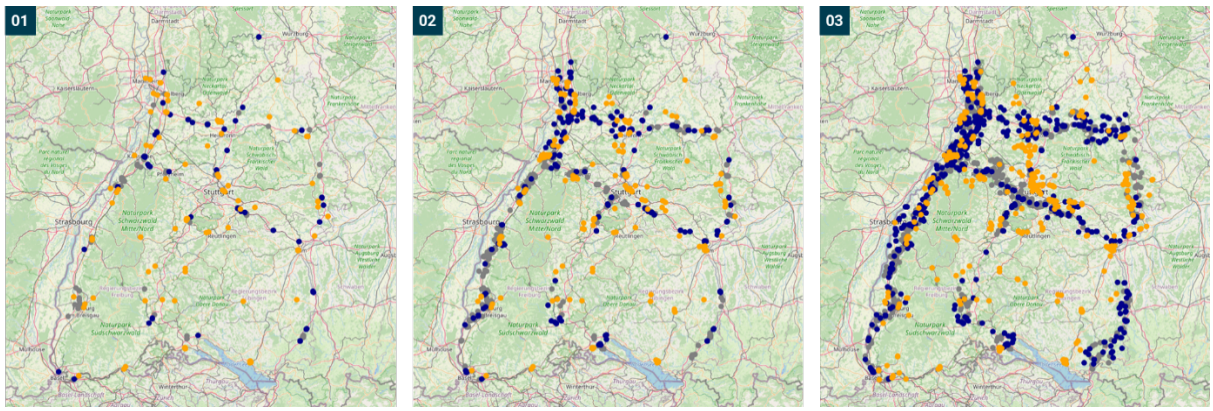


Abbildung 28: Die ausgewählten Standorte im **Zielszenario** 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03) mit der Unterteilung in öffentliches Laden Regionalverkehr (orange), Zwischenladen Fernverkehr (blau) und Übernachtladen Fernverkehr (grau).

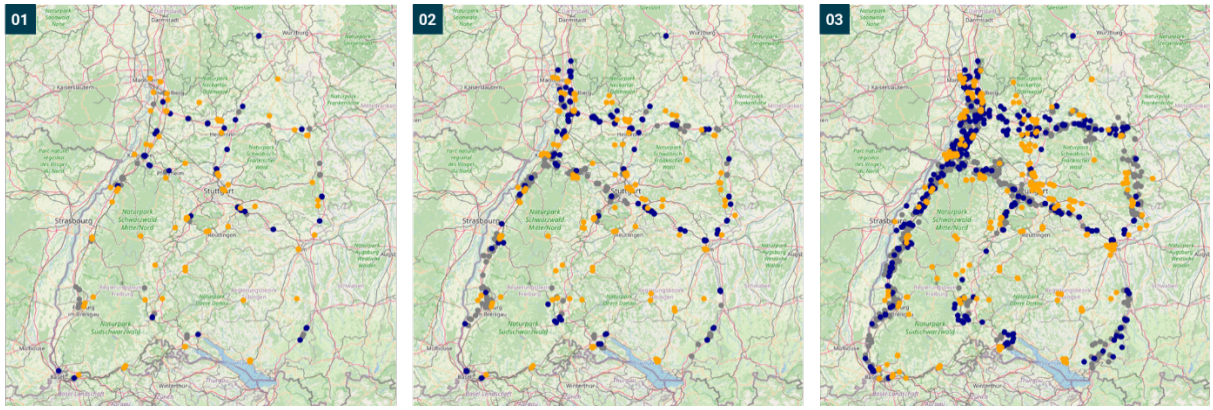


Abbildung 29: Die ausgewählten Standorte im **Mindestszenario** 2027 (01), 2030 (02) und 2035 (03) mit der Unterteilung in öffentliches Laden Regionalverkehr (orange), Zwischenladen Fernverkehr (blau) und Übernachtladen Fernverkehr (grau).

03.05.04 SCHLUSSFOLGERUNG UND DISKUSSION

Das Stufenkonzept für den Abgleich der lokalen Bedarfe für Ladeinfrastruktur für die unterschiedlichen Ladeszenarien und der lokalen Potenziale durch geeignete Standorte in Industrie- und Gewerbegebieten sowie Park- und Rastplätzen, zeigt die Handlungsbedarfe und nächsten Schritte für die strukturierte und bedarfsorientierte Planung der Ladeinfrastruktur für den elektrifizierten Schwerlastverkehr auf. Grundsätzlich gibt es **ausreichende Flächenpotentiale damit der Bedarf in den Zieljahren 2027, 2030 und 2035 gedeckt** werden kann. Gleichzeitig gibt es einzelne Regionen in Baden-Württemberg für die aufgrund des **erwarteten hohen Bedarfs mit Flächenengpässen zu rechnen** ist. Zudem wird die Wahrnehmung der Stakeholder bestätigt, dass insbesondere die Standorte **auf oder in der unmittelbaren Nähe der Autobahnen** nicht ausreichen werden, um den besonders auf öffentliche Ladeinfrastruktur angewiesenen Fernverkehr entsprechend zu versorgen. Große Standorte abseits der Autobahn, aber mit ausreichendem Potenzial, um die vielseits geforderten Lade-Hubs zu errichten, sind prioritär zu behandeln und können den Grundpfeiler für den flächendeckenden Ausbau bilden.

04. APPENDIX

04.01 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abkürzung	Definition
ACEA	Europäischer Automobilherstellerverband
AFIR	Verordnung über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
CCS	Combined Charging System, kombiniertes Ladesystem
EUROSTAT	Statistische Amt der Europäischen Union
KBA	Kraftfahrtbundesamt
LIS	Ladeinfrastruktur
LNG	Liquified natural gas, Flüssigerdgas
LP	Ladepunkt
MCS	Megawatt Charging System, Megawatt-Ladesystem
N2	Europäische Lkw-Klasse mit 3,5 t – 12 t Gesamtgewicht
N3	Europäische Lkw-Klasse mit mehr als 12 t Gesamtgewicht
NLL	Nationalen Leitstelle Ladeinfrastruktur
OEM	Original Equipment Manufacturer, Fahrzeughersteller
OSM	OpenStreetMap
StVO	Straßenverkehrsordnung
TEN-V	Transeuropäische Verkehrsnetze
VM-BW	Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg

04.02 TABELLEN

Tabelle 20: Modellierte Anzahl an Depotladepunkten **im Zielszenario** pro Landkreis in den Zieljahren 2027, 2030 und 2035.

Stadt-/ Landkreis	Depotladepunkte 2027	Depotladepunkte 2030	Depotladepunkte 2035
Alb-Donau-Kreis	99	346	834
Baden-Baden	13	45	109
Landkreis Biberach	96	334	805
Landkreis Böblingen	138	482	1.161
Bodenseekreis	65	226	546
Landkreis Breisgau-Hoch-schwarzwald	93	325	783
Landkreis Calw	50	174	419
Landkreis Emmendingen	52	183	440
Enzkreis	61	213	513
Landkreis Esslingen	170	594	1.431
Freiburg im Breisgau	59	206	497
Landkreis Freudenstadt	57	198	477
Landkreis Göppingen	94	328	790
Heidelberg	21	74	177
Landkreis Heidenheim	70	245	591
Landkreis Heilbronn	165	577	1.391
Heilbronn	79	275	662
Hohenlohekreis	72	251	605
Landkreis Karlsruhe	171	598	1.441
Karlsruhe	91	317	765
Landkreis Konstanz	88	307	739
Landkreis Lörrach	65	226	544
Landkreis Ludwigsburg	239	832	2.005
Main-Tauber-Kreis	53	186	449
Mannheim	156	543	1.309
Neckar-Odenwald-Kreis	50	175	421
Ortenaukreis	208	725	1.747
Ostalbkreis	99	344	830
Pforzheim	35	122	293
Landkreis Rastatt	127	443	1.067
Ravensburg	123	430	1.035
Rems-Murr-Kreis	103	360	869
Landkreis Reutlingen	94	328	789
Rhein-Neckar-Kreis	163	570	1.373
Landkreis Rottweil	63	218	525
Landkreis Schwäbisch Hall	114	397	956

Stadt-/ Landkreis	Depotladepunkte 2027	Depotladepunkte 2030	Depotladepunkte 2035
Schwarzwald-Baar-Kreis	76	265	639
Landkreis Sigmaringen	63	218	526
Stuttgart	182	636	1.532
Landkreis Tübingen	52	180	435
Landkreis Tuttlingen	50	176	423
Ulm	75	263	634
Landkreis Waldshut	64	223	537
Zollernalbkreis	76	265	638

Tabelle 21: Modellierte Anzahl an öffentlichen Ladepunkten **im Zielszenario** für den Regionalverkehr (Fahrstrecke kleiner 150 km) pro Landkreis in den Zieljahren 2027, 2030 und 2035.

Stadt-/ Landkreis	Öffentliche Ladepunkte 2027	Öffentliche Ladepunkte 2030	Öffentliche Ladepunkte 2035
Alb-Donau-Kreis	11	34	66
Baden-Baden	2	7	14
Landkreis Biberach	9	29	56
Landkreis Böblingen	14	42	81
Bodenseekreis	6	18	34
Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald	8	25	48
Landkreis Calw	6	17	33
Landkreis Emmendingen	5	14	27
Enzkreis	6	17	33
Landkreis Esslingen	18	57	109
Freiburg im Breisgau	7	20	39
Landkreis Freudenstadt	5	17	32
Landkreis Göppingen	10	30	57
Heidelberg	2	8	15
Landkreis Heidenheim	9	28	55
Landkreis Heilbronn	20	61	117
Heilbronn	9	28	54
Hohenlohekreis	8	25	48
Landkreis Karlsruhe	21	63	121
Karlsruhe	12	36	70
Landkreis Konstanz	10	30	57
Landkreis Lörrach	7	22	43
Landkreis Ludwigsburg	24	72	139
Main-Tauber-Kreis	6	19	37
Mannheim	22	67	129
Neckar-Odenwald-Kreis	4	12	23

Stadt-/ Landkreis	Öffentliche Lade-punkte 2027	Öffentliche Lade-punkte 2030	Öffentliche Lade-punkte 2035
Ortenaukreis	29	88	170
Ostalbkreis	12	36	69
Pforzheim	3	8	16
Landkreis Rastatt	14	44	85
Ravensburg	15	45	88
Rems-Murr-Kreis	10	31	59
Landkreis Reutlingen	8	26	49
Rhein-Neckar-Kreis	20	60	116
Landkreis Rottweil	6	19	37
Landkreis Schwäbisch Hall	14	44	84
Schwarzwald-Baar-Kreis	9	28	54
Landkreis Sigmaringen	5	16	31
Stuttgart	20	62	119
Landkreis Tübingen	5	14	27
Landkreis Tuttlingen	5	16	31
Ulm	11	32	62
Landkreis Waldshut	6	19	37
Zollernalbkreis	7	21	41

Tabelle 22: **Modellierter täglicher Energiebedarf (in Megawattstunden) im Zielszenario** verursacht durch das Depotladen und das öffentliche Laden im Regionalverkehr pro Landkreis in den Zieljahren 2027, 2030 und 2035.

Stadt-/ Landkreis	Energiebedarf 2027 (MWh)	Energiebedarf 2030 (MWh)	Energiebedarf 2035 (MWh)
Alb-Donau-Kreis	43	166	426
Baden-Baden	9	35	90
Landkreis Biberach	37	141	362
Landkreis Böblingen	54	206	530
Bodenseekreis	23	86	222
Landkreis Breisgau-Hoch-schwarzwald	32	121	310
Landkreis Calw	22	83	213
Landkreis Emmendingen	18	68	174
Enzkreis	22	83	212
Landkreis Esslingen	72	276	708
Freiburg im Breisgau	26	99	254
Landkreis Freudenstadt	21	82	211
Landkreis Göppingen	38	144	370
Heidelberg	10	37	95
Landkreis Heidenheim	36	138	354

Stadt-/ Landkreis	Energiebedarf 2027 (MWh)	Energiebedarf 2030 (MWh)	Energiebedarf 2035 (MWh)
Landkreis Heilbronn	78	297	762
Heilbronn	36	136	350
Hohenlohekreis	32	122	314
Landkreis Karlsruhe	80	307	789
Karlsruhe	46	177	454
Landkreis Konstanz	38	145	372
Landkreis Lörrach	28	108	277
Landkreis Ludwigsburg	92	352	904
Main-Tauber-Kreis	24	93	240
Mannheim	85	326	837
Neckar-Odenwald-Kreis	15	59	151
Ortenaukreis	113	430	1104
Ostalbkreis	46	174	447
Pforzheim	11	41	105
Landkreis Rastatt	56	214	549
Ravensburg	58	222	569
Rems-Murr-Kreis	39	150	385
Landkreis Reutlingen	33	124	320
Rhein-Neckar-Kreis	77	294	754
Landkreis Rottweil	25	94	241
Landkreis Schwäbisch Hall	56	213	548
Schwarzwald-Baar-Kreis	36	138	354
Landkreis Sigmaringen	20	78	200
Stuttgart	79	302	776
Landkreis Tübingen	18	69	176
Landkreis Tuttlingen	20	78	199
Ulm	41	157	404
Landkreis Waldshut	25	94	241
Zollernalbkreis	27	103	264

Tabelle 23: **Modellierter täglicher Energiebedarf im Zielszenario** (in Megawattstunden) verursacht durch das Zwischenladen und Übernachtladen im **Fernverkehr** pro Sektor der Hauptverkehrsachsen in den Zieljahren 2027, 2030 und 2035.

Sektor	Abschnitt an Hauptverkehrsachsen	Energiebedarf Fernverkehr 2027 (MWh)	Energiebedarf Fernverkehr 2030 (MWh)	Energiebedarf Fernverkehr 2035 (MWh)
1	A3 in Baden- Württemberg	12	50	127
2	A96 in Baden-Württemberg	35	140	359
3	A8 Kreuz Stuttgart bis Ulm Ost	43	171	437
4	A7 Kreuz Ulm bis Fichtenau	27	108	277

Sektor	Abschnitt an Hauptverkehrsachsen	Energiebedarf Fernverkehr 2027 (MWh)	Energiebedarf Fernverkehr 2030 (MWh)	Energiebedarf Fernverkehr 2035 (MWh)
5	A6 Kreuz Weinsberg bis Crailsheim	44	176	452
6	A81 Kreuz Weinsberg bis Würzburg West	6	23	59
7	A81 Dreieck Leonberg bis Kreuz Weinsberg	9	34	88
8	A8 Dreieck Karlsruhe bis Kreuz Stuttgart	30	121	310
9	A81 Kreuz Hegau bis Kreuz Stuttgart	26	106	271
10	A5 Kreuz Walldorf bis Hemsbach	38	152	389
11	A5 Dreieck Karlsruhe bis Kreuz Walldorf	73	292	747
12	A6 Kreuz Walldorf bis Kreuz Weinsberg	45	182	466
13	A5 Kreuz Offenburg bis Dreieck Karlsruhe	80	320	820
14	A5 Dreieck Weil am Rhein bis Kreuz Offenburg	106	426	1.089
15	B33 Kreuz Offenburg bis Dreieck Bad Dürrheim	16	64	165
16	A98 Dreieck Weil am Rhein bis Kreuz Hegau	4	18	45
17	A98 Kreuz Hegau bis Sigmarzell	12	48	123
Summe		**606**	**2.431**	**6.222**

Tabelle 24: Modellierte Anzahl an Depotladepunkten **im Mindestszenario** pro Landkreis in den Zieljahren 2027, 2030 und 2035.

Stadt-/ Landkreis	Depotladepunkte 2027	Depotladepunkte 2030	Depotladepunkte 2035
Alb-Donau-Kreis	74	245	654
Baden-Baden	10	32	86
Landkreis Biberach	71	237	631
Landkreis Böblingen	103	342	911
Bodenseekreis	48	160	428
Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald	69	230	614
Landkreis Calw	37	123	329
Landkreis Emmendingen	39	129	345
Enzkreis	45	151	403

Stadt-/ Landkreis	Depotladepunkte 2027	Depotladepunkte 2030	Depotladepunkte 2035
Landkreis Esslingen	126	421	1.122
Freiburg im Breisgau	44	146	390
Landkreis Freudenstadt	42	140	374
Landkreis Göppingen	70	232	620
Heidelberg	16	52	139
Landkreis Heidenheim	52	174	464
Landkreis Heilbronn	123	409	1.091
Heilbronn	58	195	519
Hohenlohekreis	53	178	475
Landkreis Karlsruhe	127	424	1.130
Karlsruhe	68	225	600
Landkreis Konstanz	65	217	579
Landkreis Lörrach	48	160	426
Landkreis Ludwigsburg	177	590	1.572
Main-Tauber-Kreis	40	132	352
Mannheim	116	385	1.026
Neckar-Odenwald-Kreis	37	124	331
Ortenaukreis	154	514	1.371
Ostalbkreis	73	244	651
Pforzheim	26	86	230
Landkreis Rastatt	94	314	837
Ravensburg	91	305	812
Rems-Murr-Kreis	77	256	681
Landkreis Reutlingen	70	232	619
Rhein-Neckar-Kreis	121	404	1.077
Landkreis Rottweil	46	155	412
Landkreis Schwäbisch Hall	84	281	750
Schwarzwald-Baar-Kreis	56	188	502
Landkreis Sigmaringen	46	155	413
Stuttgart	135	451	1.202
Landkreis Tübingen	38	128	341
Landkreis Tuttlingen	37	125	332
Ulm	56	187	498
Landkreis Waldshut	47	158	421
Zollernalbkreis	56	188	500

Tabelle 25: Modellierte Anzahl an Zwischenladepunkten **im Mindestszenario** für den Regionalverkehr (Fahrstrecke kleiner 150 km) pro Landkreis in den Zieljahren 2027, 2030 und 2035.

Stadt-/ Landkreis	Zwischenlade-punkte 2027	Zwischenlade-punkte 2030	Zwischenlade-punkte 2035
Alb-Donau-Kreis	8	24	51
Baden-Baden	2	5	11
Landkreis Biberach	7	21	43
Landkreis Böblingen	10	30	63
Bodenseekreis	4	13	26
Landkreis Breisgau-Hoch-schwarzwald	6	18	37
Landkreis Calw	4	12	25
Landkreis Emmendingen	3	10	21
Enzkreis	4	12	25
Landkreis Esslingen	14	40	84
Freiburg im Breisgau	5	14	30
Landkreis Freudenstadt	4	12	25
Landkreis Göppingen	7	21	44
Heidelberg	2	5	11
Landkreis Heidenheim	7	20	42
Landkreis Heilbronn	15	43	90
Heilbronn	7	20	42
Hohenlohekreis	6	18	37
Landkreis Karlsruhe	15	45	94
Karlsruhe	9	26	54
Landkreis Konstanz	7	21	44
Landkreis Lörrach	5	16	33
Landkreis Ludwigsburg	17	51	107
Main-Tauber-Kreis	5	14	28
Mannheim	16	48	99
Neckar-Odenwald-Kreis	3	9	18
Ortenaukreis	21	63	131
Ostalbkreis	9	25	53
Pforzheim	2	6	13
Landkreis Rastatt	11	31	65
Ravensburg	11	32	67
Rems-Murr-Kreis	7	22	46
Landkreis Reutlingen	6	18	38
Rhein-Neckar-Kreis	15	43	89
Landkreis Rottweil	5	14	29
Landkreis Schwäbisch Hall	11	31	65
Schwarzwald-Baar-Kreis	7	20	42
Landkreis Sigmaringen	4	11	24
Stuttgart	15	44	92
Landkreis Tübingen	3	10	21

Stadt-/ Landkreis	Zwischenlade-punkte 2027	Zwischenlade-punkte 2030	Zwischenlade-punkte 2035
Landkreis Tuttlingen	4	11	24
Ulm	8	23	48
Landkreis Waldshut	5	14	29
Zollernalbkreis	5	15	31

Tabelle 26: **Modellierter täglicher Energiebedarf in Megawattstunden (MWh) im Mindestszenario** verursacht durch das Depotladen und das öffentliche Laden im Regionalverkehr pro Landkreis in den Zieljahren 2027, 2030 und 2035.

Stadt-/ Landkreis	Energiebedarf 2027 (MWh)	Energiebedarf 2030 (MWh)	Energiebedarf 2035 (MWh)
Alb-Donau-Kreis	33	118	338
Baden-Baden	7	25	71
Landkreis Biberach	28	100	287
Landkreis Böblingen	41	147	419
Bodenseekreis	17	61	175
Landkreis Breisgau-Hoch-schwarzwald	24	86	245
Landkreis Calw	16	59	169
Landkreis Emmendingen	13	48	138
Enzkreis	16	59	168
Landkreis Esslingen	54	196	561
Freiburg im Breisgau	19	70	201
Landkreis Freudenstadt	16	58	167
Landkreis Göppingen	28	103	293
Heidelberg	7	26	75
Landkreis Heidenheim	27	98	281
Landkreis Heilbronn	58	211	603
Heilbronn	27	97	277
Hohenlohekreis	24	87	248
Landkreis Karlsruhe	60	218	625
Karlsruhe	35	126	360
Landkreis Konstanz	29	103	295
Landkreis Lörrach	21	77	219
Landkreis Ludwigsburg	69	250	716
Main-Tauber-Kreis	18	66	190
Mannheim	64	232	663
Neckar-Odenwald-Kreis	12	42	119
Ortenaukreis	85	306	874
Ostalbkreis	34	124	354
Pforzheim	8	29	83

Stadt-/ Landkreis	Energiebedarf 2027 (MWh)	Energiebedarf 2030 (MWh)	Energiebedarf 2035 (MWh)
Landkreis Rastatt	42	152	435
Ravensburg	44	157	450
Rems-Murr-Kreis	29	106	305
Landkreis Reutlingen	24	88	253
Rhein-Neckar-Kreis	58	209	597
Landkreis Rottweil	18	67	191
Landkreis Schwäbisch Hall	42	152	434
Schwarzwald-Baar-Kreis	27	98	280
Landkreis Sigmaringen	15	55	158
Stuttgart	59	215	615
Landkreis Tübingen	14	49	140
Landkreis Tuttlingen	15	55	158
Ulm	31	112	320
Landkreis Waldshut	18	67	191
Zollernalbkreis	20	73	209

Tabelle 27: **Modellierter täglicher Energiebedarf in Megawattstunden (MWh) im Mindestszenario** verursacht durch das Zwischenladen und Übernachtladen im **Fernverkehr** pro Sektor der Hauptverkehrsachsen in den Zieljahren 2027, 2030 und 2035.

Sektor	Abschnitt an Hauptverkehrsachsen	Energiebedarf Fernverkehr 2027 (MWh)	Energiebedarf Fernverkehr 2030 (MWh)	Energiebedarf Fernverkehr 2035 (MWh)
1	A3 in Baden-Württemberg	9	35	101
2	A96 in Baden-Württemberg	27	100	286
3	A8 Kreuz Stuttgart bis Ulm Ost	32	122	348
4	A7 Kreuz Ulm bis Fichtenau	21	77	221
5	A6 Kreuz Weinsberg bis Crailsheim	33	126	360
6	A81 Kreuz Weinsberg bis Würzburg West	4	16	47
7	A81 Dreieck Leonberg bis Kreuz Weinsberg	7	25	70
8	A8 Dreieck Karlsruhe bis Kreuz Stuttgart	23	86	247
9	A81 Kreuz Hegau bis Kreuz Stuttgart	20	75	216
10	A5 Kreuz Walldorf bis Hemsbach	29	109	310
11	A5 Dreieck Karlsruhe bis Kreuz Walldorf	55	208	595

Sektor	Abschnitt an Hauptverkehrsachsen	Energiebedarf Fernverkehr 2027 (MWh)	Energiebedarf Fernverkehr 2030 (MWh)	Energiebedarf Fernverkehr 2035 (MWh)
12	A6 Kreuz Walldorf bis Kreuz Weinsberg	35	130	371
13	A5 Kreuz Offenburg bis Dreieck Karlsruhe	61	229	653
14	A5 Dreieck Weil am Rhein bis Kreuz Offenburg	81	304	868
15	B33 Kreuz Offenburg bis Dreieck Bad Dürrheim	12	46	131
16	A98 Dreieck Weil am Rhein bis Kreuz Hegau	3	13	36
17	A98 Kreuz Hegau bis Sigmarzell	9	34	98
Summe		**461**	**1.735**	**4.955**

04.03 REFERENZEN

[1] NOW GmbH (Nationale Organisation Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie), „Marktentwicklung klimafreundlicher Technologien im schweren Straßengüterverkehr," 2022.

[2] Bundesminsiterium für Digitales u. Verkehr, „Klimafreundliche Nutzfahrzeuge," November 2022. [Online]. Available: https://www.klimafreundliche-nutzfahrzeuge.de/wp-content/uploads/2023/03/NEU_Fortschrittsbericht_Nfz_deutsch_.pdf.

[3] Amtsblatt der Europäischen Union, „Verordnung (EU) 2019/1242 des europäischen parlaments und des rates vom 20. Juni 2019 zur Festlegung von CO2-Emissionsnormen für neue schwere Nutzfahrzeuge und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 595/2009 und (EU) 2018/956 des Europäischen Parlaments u," 2019.

[4] A. Ahmad, Z. A. Khan, M. S. Alam und S. Khateeb, „A Review of the Electric Vehicle Charging Techniques, Standards, Progression and Evolution of EV Technologies in Germany," *Smart Science,* Bd. 6, Nr. 1, pp. 36-53, 2018.

[5] Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur, „Ladeinfrastruktur für Nutzfahrzeuge," o. J.. [Online]. Available: https://nationale-leitstelle.de/nutzfahrzeuge/. [Zugriff am 13 Oktober 2023].

[6] Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur, „Einfach E-Lkw Laden," 2023.

[7] Die Bundesregierung, „Masterplan Ladeinfrastruktur II der Bundesregierung," 2022.

[8] Council of the European Union, „Council Directive 96/53/EC of 25 July 1996 laying down for certain road vehicles circulating within the Community the maximum authorized dimensions in national and international traffic and the maximum authorized weights in international traffic," *Official Journal of the European Communities,* 1996.

[9] Kraftfahrt-Bundesamt, „Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeugsanhängern nach Zulassungsbezirken," Kraftfahrt-Bundesamt, Flensburg, 2023.

[10] I. Trimode, „Bundesministerium für Digitales und Verkehr," [Online]. Available: https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/prognose-berichtgleitende-langfrist-verkehrsprognose.pdf?__blob=publicationFile. [Zugriff am 19 Oktober 2023].

[11] Kraftfahrt-Bundesamt, „Verkehr deutscher Lastkraftfahrzeuge (VD) - Verkehrsaufkommen 2022," Kraftfahrt-Bundesamt, Flensburg, 2023.

[12] Kraftfahrtbundesamt, „Verkehr in Kilometern - Inländerfahrleistung (VK)," Kraftfahrtbundesamt, 2020.

[13] Bundesminsiterium für Digitales u. Verkehr, „Verkehr in Zahlen 2022/2023 (Excel-Version)," [Online]. Available: https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/verkehr-in-zahlen-2022-2023-xls.html. [Zugriff am 27 Oktober 2023].

[14] ACEA, 1 September 2022. [Online]. Available: https://www.esporg.eu/wp-content/uploads/2022/09/20220901-ACEA-Truck-Stop-Locations.pdf#:~:text=Heavy-

duty%20vehicles%20%28for%20regional%20delivery%29%20will%20have%20to,day%20%28during%20the%20night%29%20at%20public%20charging%20stations..

[15] Öko-Institut eV. StratES, „StratES - Szenarien für die Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs," Öko-Institut e.V., Berlin, 2023.

[16] eurostat, „eurostat," 9 November 2023. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/road_go_ta_rl__custom_8411535/default/table?lang=en.

[17] D. Speth, Dr. P. Plötz, „Truck Stop Locations in Europe," Fraunhofer ISI, Karlsruhe, 2021.

[18] Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, „Statistik-BW," 2021. [Online]. Available: https://www.statistik-bw.de/Presse/Pressemitteilungen/2021151.

[19] Europäische Union, „EUR-Lex," 13 September 2023. [Online]. Available: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32023R1804. [Zugriff am 15 December 2023].

[20] Bundesnetzagentur, 2023. [Online]. Available: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/E-Mobilitaet/Ladesaeulenkarte/start.html. [Zugriff am 07 November 2023].

[21] OSM contributors, „https://planet.osm.org," 2023. [Online]. Available: https://www.openstreetmap.org.

[22] NOW GmbH, „BMDV-Fachkonferenz Klimafreundliche Nutzfahrzeuge 2023," 16 November 2023. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=iepdtEqtyG0&t=15617s.

[23] Bundesamt für Straßenwesen, September 2017. [Online]. Available: https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/1787/file/V296_barrierefreies_ELBA_Final.pdf.