Megawatt-Laden im Lkw-Fernverkehr: Erste Erkenntnisse zu Herausforderungen und Lösungsansätzen

Gefördert durch:

Bundesministerium für Digitales und Verkehr

Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Ort: Karlsruhe

Datum: März 2024

Final

Impressum

Herausforderungen und Lösungsansätze Megawatt-Laden Lkw

Projektleitung

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe
Patrick Plötz, patrick.ploetz@isi.fraunhofer.de

Autoren

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe
Patrick Plötz, Daniel Speth, Lena Kappler

Beteiligte Institute

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung IAO
Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe
Florian Klausmann, Florian.Klausmann@iao.fraunhofer.de

P3 automotive GmbH
Heilbronner Str. 86, 70191 Stuttgart
Bonjat Satvat, bonjad.satvat@p3-group.com

Förderung

Das Projekt HoLa wird im Rahmen der Förderrichtlinie Elektromobilität mit insgesamt 12 Millionen Euro durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr gefördert und im Rahmen der Umsetzung des Gesamtkonzeptes Klimafreundliche Nutzfahrzeuge als Technologie- und Erprobungsprojekt durchgeführt. Fördermittel dieser Maßnahme werden auch im Rahmen des Deutschen Aufbau- und Resilienzplans (DARP) über die europäischen Aufbau- und Resilienzfazilitäten (ARF) im Programm NextGenerationEU bereitgestellt. Die Förderrichtlinie wird von der NOW GmbH koordiniert und durch den Projektträger Jülich (PtJ) umgesetzt.

Bildnachweis

Deckblatt: HoLa Konsortium

Zitierempfehlung

Plötz, P., Speth, D., Kappler, L., Klausmann, F., Satvat, B. (2024): Megawatt-Laden im Lkw-Fernverkehr: Erste Erkenntnisse zu Herausforderungen und Lösungsansätzen. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.

Veröffentlicht

März 2024

Hinweise

Dieser Bericht einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Die Informationen wurden nach bestem Wissen und Gewissen unter Beachtung der Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis zusammengestellt. Die Autorinnen und Autoren gehen davon aus, dass die Angaben in diesem Bericht korrekt, vollständig und aktuell sind, übernehmen jedoch für etwaige Fehler, ausdrücklich oder implizit, keine Gewähr. Die Darstellungen in diesem Dokument spiegeln nicht notwendigerweise die Meinung des Auftraggebers wider.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung 4

1 Hintergrund und Zielsetzung 6

2 Ergebnisse und Handlungsoptionen Demonstration 10
2.1 Netzanschluss Schnellladen 10
2.2 Flächenverfügbarkeit 11
2.3 Eichrecht 11
2.4 Standardlayout 11

3 Ergebnisse und Handlungsoptionen Netzwerk & Umfeld 15
3.1 Netzwerk und Planung 15
3.2 Datenverfügbarkeit 17
3.3 Die Rolle von MCS 19

4 Literaturverzeichnis 21

Zusammenfassung

Batterie-elektrische Lkw verfügen über einen lokal CO_2-freien Antrieb und alle großen Hersteller bieten entsprechende Serienmodelle an. Im Projekt "HoLa – Hochleistungsladen im Lkw-Fernverkehr" werden an fünf Standorten insgesamt acht Hochleistungsladepunkte mit dem sog. Megawatt Charging Systems (MCS) sowie zehn mit dem Combined Charging System (CCS) aufgebaut, betrieben und im realen Logistikbetrieb angewandt. Das Projekt dient der realen Erprobung dieses neuen Systems und unterstützt den flächendeckenden Ausbau durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr.

Ziel des vorliegenden Berichtes ist es, die wichtigsten Erkenntnisse und Erfahrungen aus der ersten Hälfte der Projektlaufzeit darzustellen und umfasst Ergebnisse aus dem Zeitraum September 2021 – Dezember 2023, d.h. vor Inbetriebnahme der ersten Ladesäulen im Projekt. Dies umfasst Aspekte aus allen drei Projektteilen: Planung und Auswahl der Standorte, Aufbau und Planung von CCS- und MCS-Ladepunkten, Begleitung und Umfeldanalyse. Das Projekt und der vorliegende Bericht sollen damit einen Beitrag für den flächendeckenden bundesweiten Ausbau liefern.

Aus den bisherigen Projekterfahrungen, Analysen und Ergebnissen ergeben sich folgende Handlungsempfehlungen.

Zur zukünftige Rolle von MCS und einem Ladenetzwerk

1. MCS-Laden sollte entlang der wichtigen Langstreckenachsen ausgebaut werden.
2. In Depots und auf privaten Stellflächen sollte primär Langsamladen mit deutlich weniger als 350 kW je Ladepunkt und Lastmanagement implementiert werden, um einen zügigen Ausbau zu ermöglichen.
3. Bis 2030 sollte ein initiales, öffentliches Schnellladenetzwerk mit mindestens 1.000 MCS-Ladepunkten aufgebaut werden. Bei schneller Marktdurchdringung von E-Lkw im Fernverkehr und längeren Standzeiten von 45 min werden eher 2.000 MCS-Ladepunkte bis 2030 benötigt.
4. Große Ladestandorte (>4 Schnellladepunkte) sollten insbesondere an wichtigen Fernverkehrs-achsen platziert werden. Gleichzeitig ist eine flächendeckende Infrastruktur mit kleinen Ladestandorten (2-4 Schnellladepunkte) sicherzustellen.
5. Der Aufbau einer weiterführenden Schnellladeinfrastruktur sollte bereits heute hinsichtlich des benötigten Stromnetzausbaus sowie der benötigten Parkflächen geplant werden.
6. Der Infrastrukturbedarf sollte kontinuierlich anhand aktueller Daten zum (erwarteten) Markthoch-lauf sowie zum Nutzungsverhalten abgeschätzt und evaluiert werden.

Netzanschluss, Eichrecht und Planung

7. Die Einbindung aller relevanten Akteure (Flächeneigentümer, Netzbetreiber, ggf. Konzessionsnehmer, ggf. Gemeinde) sollte frühzeitig erfolgen.
8. Eine Veröffentlichung von lokalen Kapazitätsdaten durch die Netzbetreiber auf Mittelspannungsebene sollte angestrebt werden.
9. Die Anschlussbedingungen und –Verfahren sollten vereinfacht und vereinheitlicht werden.
10. Aussetzung des Eichrechts für MW-Ladesysteme, bis eichrechtskonforme Messsysteme in ausreichender Menge verfügbar sind.
11. Eine vorrausschauende Bereitstellung von mehr Leistung durch die Netzbetreiber entlang der Autobahn oder anderen neuralgischen Punkten mit zukünftig zu erwartendem Ladebedarf sollte zur Beschleunigung des Ladeinfrastrukturausbaus im Rahmen der gesetzten Regulierungsgrenzen ermöglicht werden.

Standardlayout und Flächenverfügbarkeit

12. Autobahn-Ladestationen sollten möglichst platzsparend errichtet werden, damit so wenig Parkflächen wie möglich verloren gehen.
13. Flächen entlang der Autobahn sind sehr begrenzt, es müssen auf jeden Fall auch Flächen neben der Autobahn genutzt werden.
14. Die Integration von Langsam- und Schnellladen von Lkw sollte im Standortlayout mitgedacht werden.
15. Eine gemeinsame Nutzung von Lkw-Ladeorten für MCS-Laden, Übernachtladen oder das Laden von Pkw mit Anhängern kann die Auslastung der Ladeorte erhöhen und den Flächendruck mildern.

Datenverfügbarkeit:

16. Eine umfangreiche Erhebung zum zeitlich und räumlich aufgelösten Fahrverhalten von Lkw würde Bedarfsabschätzungen für Ladeinfrastruktur vereinfachen und sollte daher geprüft werden.
17. Daten zum Stromnetz und zur verfügbaren Anschlussleistung sollten vereinheitlicht und zentral für legitimierte Nutzer*innen zur Verfügung gestellt werden, um den Aufbau elektrischer Infrastruktur zu beschleunigen.

Im weiteren Verlauf des Projektes HoLa erfolgt die reale Nutzung der Ladepunkte im Betrieb einschließlich der weiteren Begleitforschung und Umfeldanalyse.

1 Hintergrund und Zielsetzung

Projekt-Hintergrund

Batterie-elektrische Lkw verfügen über einen lokal CO_2-freien Antrieb und alle großen Hersteller bieten entsprechende Serienmodelle an. Die Transportprofile im Bereich Langstreckentransport mit schweren Lkw bringen allerdings besondere Herausforderungen hinsichtlich der Ladesysteme und der Energieversorgung mit sich, um Batterie-Lkw innerhalb der gesetzlichen Pausenzeiten von 45 Minuten zu laden.

Im Projekt "HoLa – Hochleistungsladen im Lkw-Fernverkehr" werden an vier Standorten je zwei Hochleistungsladepunkte mit dem sog. Megawatt Charging Systems (MCS) aufgebaut, betrieben und im realen Logistikbetrieb angewandt. Es werden an fünf Standorten entlang der A2 zwischen Berlin und dem Ruhrgebiet je zwei Combined Charging System (CCS)-Ladepunkte für Lkw geplant und errichtet. Es werden drei Standorte an der Autobahn genutzt sowie zwei Standorte in Logistikzentren (vgl. Abbildung 1). Diese Standorte dienen der frühzeitigen Integration von E-Lkw in die Logistikprozesse und als Testfall für das neue Schnellladen von E-Lkw und dem Sammeln von Erfahrungen im Realbetrieb. Am Ende des Projektes stehen zehn CCS-Ladepunkte und acht MCS-Ladepunkte verteilt auf fünf Standorte zur Verfügung, die die reale Erprobung unterstützen und die Grundlage für einen flächendeckenden Ausbau dieser Technologie bilden. Das Projekt HoLa wird im Rahmen der Förderrichtlinie Elektromobilität mit insgesamt 12 Millionen Euro durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr gefördert und im Rahmen der Umsetzung des Gesamtkonzeptes Klimafreundliche Nutzfahrzeuge als Technologie- und Erprobungsprojekt durchgeführt. Die Förderrichtlinie wird von der NOW GmbH koordiniert und durch den Projektträger Jülich (PtJ) umgesetzt.

Abbildung 1: Ladekorridor des HoLa-Projektes

Quelle: HoLa-Konsortium

Am Projekt nehmen vier Lkw-Hersteller teil, die insgesamt zwölf Fahrzeuge von denen mindestens vier MCS-fähig sein werden liefern, die von Partner aus der Logistik im Realbetrieb erprobt und entlang der Strecke geladen werden. Der Aufbau der Infrastruktur sowie der Betrieb der Fahrzeuge wird mit umfangreichen Forschungsaktivitäten begleitet.

Zielsetzung

Ziel des vorliegenden Berichtes ist es, die wichtigsten Erkenntnisse und Erfahrungen aus der ersten Hälfte der Projektlaufzeit darzustellen und umfasst Ergebnisse aus dem Zeitraum September 2021 – Dezember 2023, d.h. vor Inbetriebnahme der ersten Ladesäulen im Projekt . Dies umfasst Aspekte aus allen drei Projektteilen: Planung und Auswahl der Standorte, Aufbau und Planung von CCS- und MCS-Ladepunkten, Begleitung und Umfeldanalyse. Das Projekt und der vorliegende Bericht sollen damit einen Beitrag und Vorlage für den flächendeckenden bundesweiten Ausbau liefern.

Einbettung in den Infrastrukturhochlauf für Batterie-Lkw in Europa

Die Europäische Union (EU) hat in der Verordnung (EU) 2023/1804 über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (Regulation (EU) 2023/1804 *of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on the deployment of alternative fuels infrastructure* – AFIR) Mindestanforderungen für den Ausbau öffentlicher Schnellladenetze in den EU-Mitgliedstaaten festgelegt.

Im Sinne der Verordnung umfasst "ein Ladestandort eine oder mehrere Ladestationen an einem bestimmten Standort, gegebenenfalls einschließlich daran angrenzender eigener Parkplätze. [Die] festgelegten Zielvorgaben für Ladestandorte könnte die für Ladestandorte erforderliche Mindestladeleistung von einer oder mehreren Ladestationen erbracht werden. Bei einer Ladestation handelt es sich um eine physische Anlage für das Aufladen von Elektrofahrzeugen. Jede Ladestation hat eine in kW ausgedrückte theoretische maximale Ladeleistung und verfügt über mindestens einen Ladepunkt, an dem zur selben Zeit nur ein Fahrzeug aufgeladen werden kann. Die Anzahl der Ladepunkte an einer Ladestation ist ausschlaggebend dafür, wie viele Fahrzeuge an dieser Station zu einem bestimmten Zeitpunkt aufgeladen werden können. Wird an dieser Ladestation gleichzeitig mehr als ein Fahrzeug aufgeladen, so wird die maximale Ladeleistung auf die einzelnen Ladepunkte aufgeteilt, sodass die Leistung an jedem einzelnen Ladepunkt geringer ist als die Ladeleistung dieser Ladestation." (Verordnung (EU) 2023/1804).

Tabelle 1 fasst die Anforderungen für die TEN-Korridore zusammen. Tabelle 2 weist die Ergebnisse bzgl. der AFIR-Anforderungen für öffentliche Infrastruktur entlang der TEN-V-Korridore nach Ländern aus.

Tabelle 1: Zusammenfassung AFIR-Anforderungen Lkw-Ladeinfrastruktur ("LP" = Ladepunkt)

	Ende 2025	Ende 2027	Ende 2030
Kernnetz	Ladestandort alle 120 km auf mind. 15% des Netzwerkes je Richtung: - mind. 1,4 MW gesamt - 1 LP mit mind. 350 kW	Ladestandort all 120 km auf mind. 50% des Netzwerkes je Richtung: - mind. 2,8 MW gesamt - 2 LP mit mind. 350 kW	Ladestandort alle 60 km des Netzwerkes je Richtung: - mind. 3,6 MW gesamt - 2 LP mit mind. 350 kW
Gesamtnetz	Ladestandort alle 100 km auf mind. 15% des Netzwerkes je Richtung: - mind. 1,4 MW gesamt - 1 LP mit mind. 350 kW	Ladestandort alle 100 km auf mind. 50% des Netzwerkes je Richtung: - mind. 1,4 MW gesamt - 1 LP mit mind. 350 kW	Ladestandort alle 100 km des Netzwerkes je Richtung: - mind. 1,5 MW gesamt - 1 LP mit mind. 350 kW

	Ende 2025	Ende 2027	Ende 2030
Sichere und geschützte Lkw-Parkplätze	-	Jeweils mind. 2 LP mit je mind. 100 kW	Jeweils mind. 4 LP mit je mind. 100 kW
Städtische Knoten	Jeweils mindestens 0,9 MW mit mindestens 150 kW pro LP		Jeweils mind. 1,8 MW mit mind. 150 kW pro LP

Source: Regulation (EU) 2023/1804

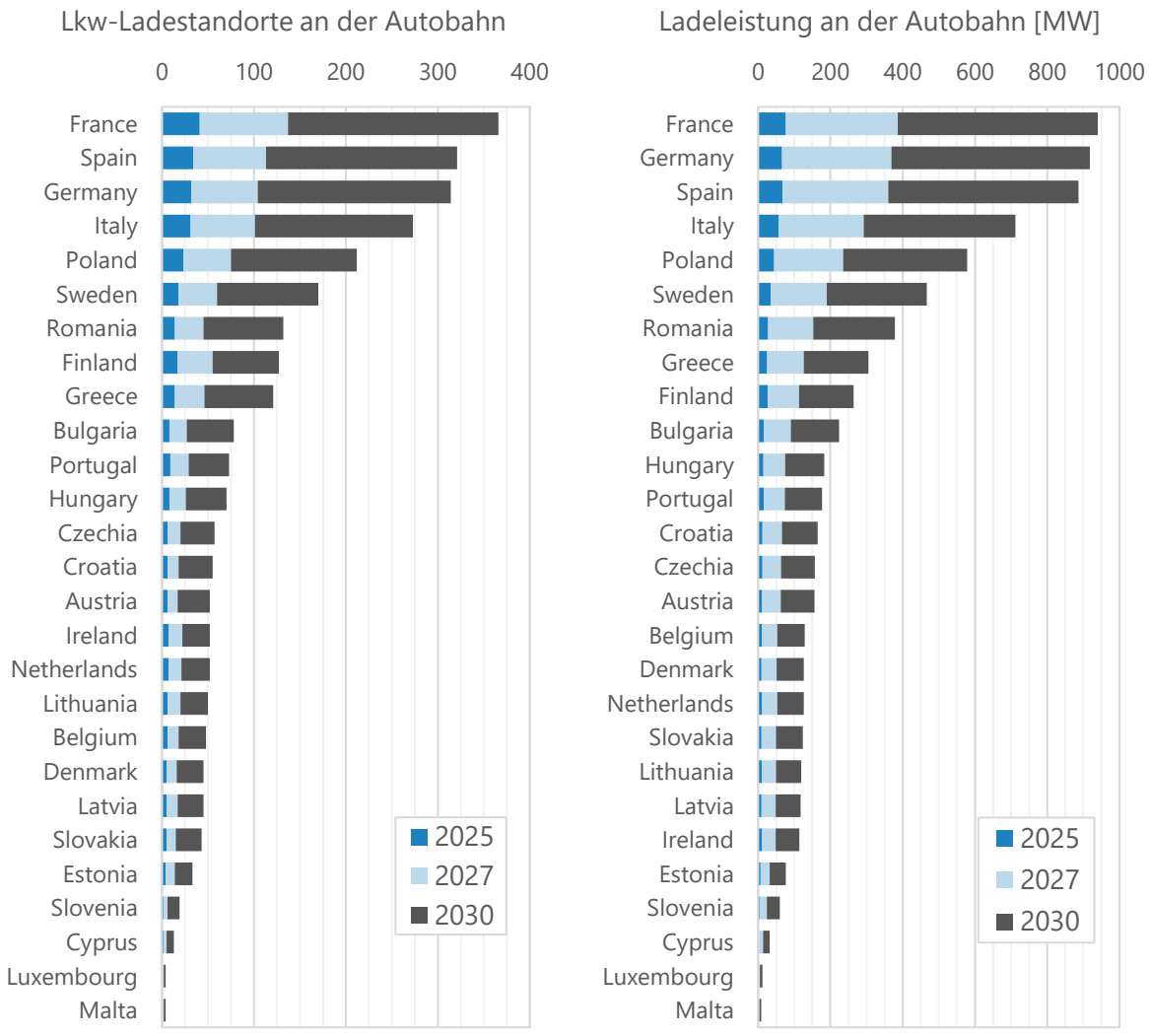
Tabelle 2: AFIR-Anforderungen für öffentliche Lkw-Ladeinfrastruktur nach Ländern

	Netzwerk-km		Lkw-Ladestandorte			Lkw-Ladeleistung in MW		
	Kern	Umfassend	2025	2027	2030	2025	2027	2030
Österreich	1.097	730	6	17	52	10,9	62	156
Belgien	805	1.038	6	18	48	10,1	53	129
Bulgarien	1.508	1.340	8	27	78	16,4	90	224
Kroatien	1.153	780	6	18	55	11,6	66	164
Zypern	157	336	2	5	13	2,7	13	32
Czech Rep.	1.015	1.134	6	20	57	12,0	64	157
Dänemark	813	849	5	16	45	9,5	51	126
Deutschland	6.369	5.027	32	104	314	65,9	369	918
Estonia	375	975	4	14	33	6,9	32	77
Finnland	1.040	4.572	17	55	127	26,7	113	264
Frankreich	5.555	8.960	41	137	366	76,9	386	940
Griechenland	1.760	3.079	14	46	121	25,4	126	305
Ungarn	1.102	1.607	8	26	70	14,7	75	183
Irland	504	1.715	7	22	52	10,9	48	114
Italien	4.319	6.416	31	101	273	57,3	292	712
Lettland	719	1.012	5	17	45	9,5	48	118
Litauen	609	1.450	6	20	50	10,5	50	119
Luxemburg	70	20	1	2	4	0,8	5	12
Malta	16	111	1	2	4	0,8	4	8
Niederlande	670	1.417	7	21	52	10,9	53	126
Polen	3.700	4.398	23	75	212	44,5	235	578
Portugal	946	2.015	9	29	73	15,3	74	177
Rumänien	2.575	2.268	14	45	132	27,7	153	379
Slowakei	834	747	5	15	43	9,0	50	123
Slowenien	446	157	2	6	19	4,0	24	60
Spanien	5.774	6.365	34	113	321	67,4	360	887
Schweden	3.010	3.435	18	60	170	35,7	190	467
EU-27	**46.939**	**61.958**	**304**	**1.012**	**2.805**	**589**	**3.059**	**7.494**

Quelle: Eigene Auswertung auf Basis von Verordnung (EU) 2023/1804 und TEN-V-Netzwerk-Daten

Bis 2030 sollen also nach der AFIR europaweit entlang der knapp 110.000 km der TEN-V-Korridore insgesamt etwa 2,800 Ladestandorte mit insgesamt mindestens 7,5 GW Ladeleistung errichtet werden. Die Zahl der Ladestandorte und Ladeleistungen entlang des TEN-V-Netzes sind nach Ländern im Zeitverlauf in folgender Abbildung dargestellt. Bei der Zahl der Ladestationen ist zu beachten, dass für die Zwischenziele 2025 und 2027 auch eine etwas geringere Anzahl an Ladeorten möglich ist, denn die Berechnung des Anteils erlaubt nach Art. 4(2) der AFIR effektiv auch etwas größere Abstände oder auch bei beidseitig anfahrbaren Orten und zudem die Gesamtladeleistung bei sehr geringer Verkehrsdichte verringert werden kann.

Abbildung 2: Lkw-Ladestandorte und –leistung nach Ländern gemäß AFIR



Die AFIR und die Ziele bilden einen wichtigen Hintergrund für das HoLa-Projekt. Im Folgenden werden die Zwischenerkenntnisse des Projektes kurz vorgestellt.

2 Ergebnisse und Handlungsoptionen Demonstration

2.1 Netzanschluss Schnellladen

Lkw-Ladestationen brauchen erhebliche Anschlussleistungen für den Betrieb und werden in Zukunft in der Regel an die Mittelspannung angeschlossen sein. Die entsprechenden Anträge und Anschlussbedingungen unterscheiden sich von Netzbetreiber zu Netzbetreiber und machen den Prozess aufwändig und komplex. Der Antrag auf Netzanschluss kann nur vom Eigentümer der Fläche gestellt werden, der oft über keine energiewirtschaftliche Expertise verfügt. Gleichzeitig muss bei der Standortsuche stets der lokale Netzbetreiber bzgl. verfügbarer Kapazität angefragt werden, da zwar die Koordinaten vieler Umspannwerke aber nicht deren verfügbare Leistung öffentlich zugängliche Information ist. Hier könnte eine öffentliche Datenbank aller oder einiger Netzbetreiber bzgl. der verfügbaren Leistungen an allen oder Autobahn-nahen Standorten die Suche erheblich beschleunigen. Die Einrichtung eines entsprechenden Verzeichnisses für das MCS-Laden von Lkw wird derzeit bspw. in Schweden geprüft.[1]

Je höher die angestrebte Anschlussleistung, desto länger sind in der Regel die Vorlaufzeiten für den Netzanschluss. Die Zeiten können je nach lokalen Bedingungen, d. h. verfügbarer Leistung oder Platz in Umspannwerken und angestrebter Spannungsebene zwischen einigen Monaten und einigen Jahren liegen, bei Anschluss an höhere Spannungsebenen eher mehrere Jahre.

Der in den nächsten zehn Jahren kontinuierlich steigende Bedarf an Ladeleistung für Pkw und Lkw entlang von Autobahnen erfordert eine Vereinfachung und Beschleunigung des Netzausbaus. Die Installation zusätzlicher Anschlussleistung durch die Netzbetreiber sollte bereits ohne konkrete Antragstellung für einen Netzanschluss ermöglicht werden, um einen vorrausschauender Ausbau der Leistungskapazitäten zu gewährleisten. Damit kann für die nötige Geschwindigkeit des Ladenetzausbaus wertvolle Zeit gewonnen werden.

Weiterhin besteht für die schnelle Installation von Schnellladestationen, dass die Spezifikationen der Transformatoren je nach Netzbetreiber variieren und die Transformatoren mit derzeitigen Lieferzeiten von rund einem Jahr nicht einfach pauschal bestellt und gelagert werden können, sondern stets standortscharf bestellt werden.

Handlungsempfehlungen Netzanschluss und Planung:

1. Die Einbindung aller relevanten Akteure (Flächeneigentümer, Netzbetreiber, ggf. Konzessionsnehmer, ggf. Gemeinde) sollte frühzeitig erfolgen.

2. Eine Veröffentlichung von lokalen Kapazitätsdaten durch die Netzbetreiber auf Mittelspannungsebene sollte angestrebt werden.

3. Die Anschlussbedingungen und –Verfahren sollten vereinfacht und vereinheitlicht werden.

4. Eine vorrausschauende Bereitstellung von mehr Leistung durch die Netzbetreiber entlang der Autobahn oder anderen neuralgischen Punkten mit zukünftig zu erwartendem Ladebedarf sollte zur Beschleunigung des Ladeinfrastrukturausbaus im Rahmen der gesetzten Regulierungsgrenzen ermöglicht werden.

[1] Vgl. Energimyndighetens (2023): Handlingsprogram för laddinfrastruktur och tankinfrastruktur för vätgas. Slutrapport ER 2023:23. Abschnitt 6.1.3. https://www.energimyndigheten.se/4ab6d0/globalassets/nyheter/2023/ER202323

2.2 Flächenverfügbarkeit

Ladeinfrastruktur inkl. der Stellplätze für Lkw braucht erheblichen Platz, der gerade auf Raststätten sehr begrenzt ist. Hier ist es wichtig, dass durch den notwendigen Ausbau von Lkw-Ladeinfrastruktur so wenig Lkw-Parkflächen wie möglich verloren gehen, da es insgesamt zu wenig Lkw-Parkflächen auf und an Autobahnen gibt. Gleichzeitig ist es sinnvoll, in der Nähe der Autobahn zusätzliche Flächen bspw. auf Autohöfen und in Industriegebieten zu erschließen, welche die Kapazitäten der Raststätten erweitern. Diese weiteren Flächen haben zudem den Vorteil, dass die Zahl möglicher Standorte sehr viel größer wird und die Konkurrenz um wenige Fläche abnimmt. Zudem sind viele Orte neben der Autobahn beidseitig anfahrbar und häufig gibt es bspw. auf Autohöfen eine größere Auswahl an Angeboten für Fahrer (Dusche, Restaurant, Einkaufsmöglichkeit). Falls der Halteort an der Autobahn in einem Industriegebiet liegt, könnte dort auch der Netzanschluss einfacher und günstiger sein.

Aufgrund der vielen Gründe für zusätzliche Lademöglichkeiten neben Autobahnen lässt sich seit einigen Jahren beim Schnellladen von Pkw entlang der Autobahn beobachten, dass große neue Standorte oft neben Autobahnausfahrten an Industriegebieten oder Autohöfen entstehen.

Handlungsempfehlung Flächenverfügbarkeit:

1. Flächen entlang der Autobahn sind sehr begrenzt, es müssen auf jeden Fall auch Flächen neben der Autobahn genutzt werden.

2. Autobahn-Ladestationen sollten möglichst platzsparend errichtet werden, damit so wenig Parkflächen wie möglich verloren gehen.

3. Eine gemeinsame Nutzung von Lkw-Ladeorten für MCS-Laden, Übernachtladen oder das Laden von Pkw mit Anhängern kann die Auslastung der Ladeorte erhöhen und den Flächendruck mildern.

2.3 Eichrecht

Megawatt-Ladesysteme und der entsprechende Standard sind derzeit in Entwicklung. Nach deutschem Recht müssen Stromzähler geeicht sein, wenn Strom genau nach kWh abgerechnet werden soll. Allerdings gibt es derzeit von keinem Hersteller fertige eichrechtskonforme Gleichstrom-Zähler im MW-Bereich und auch in den nächsten Jahren ist kaum damit zu rechnen, dass es eine ausreichende Auswahl eichrechtskonformer Anbieter geben wird. Daher sollte das Eichrecht für MW-Ladesysteme ausgesetzt werden, bis es in ausreichendem Maße eichrechtskonforme Messsysteme gibt.[2] Alternativ könnten übergangsweise zeitabhängige Tarife für die Abrechnung erlaubt sein.

Handlungsempfehlung Eichrecht:

1. Aussetzung des Eichrechts für MW-Ladesysteme, bis eichrechtskonforme Messsysteme in ausreichender Menge verfügbar sind.

2.4 Standardlayout

Für einen schnellen Hochlauf und eine einfache, einheitliche Nutzung durch die Fahrzeugführer ist ein einheitliches oder ähnliches Layout der Ladestandorte hilfreich. Hier stellen sich viele Fragen wie "Wie sollten Ladestandorte aussehen, damit möglichst wenig Parkfläche verloren geht?", "Wie können die

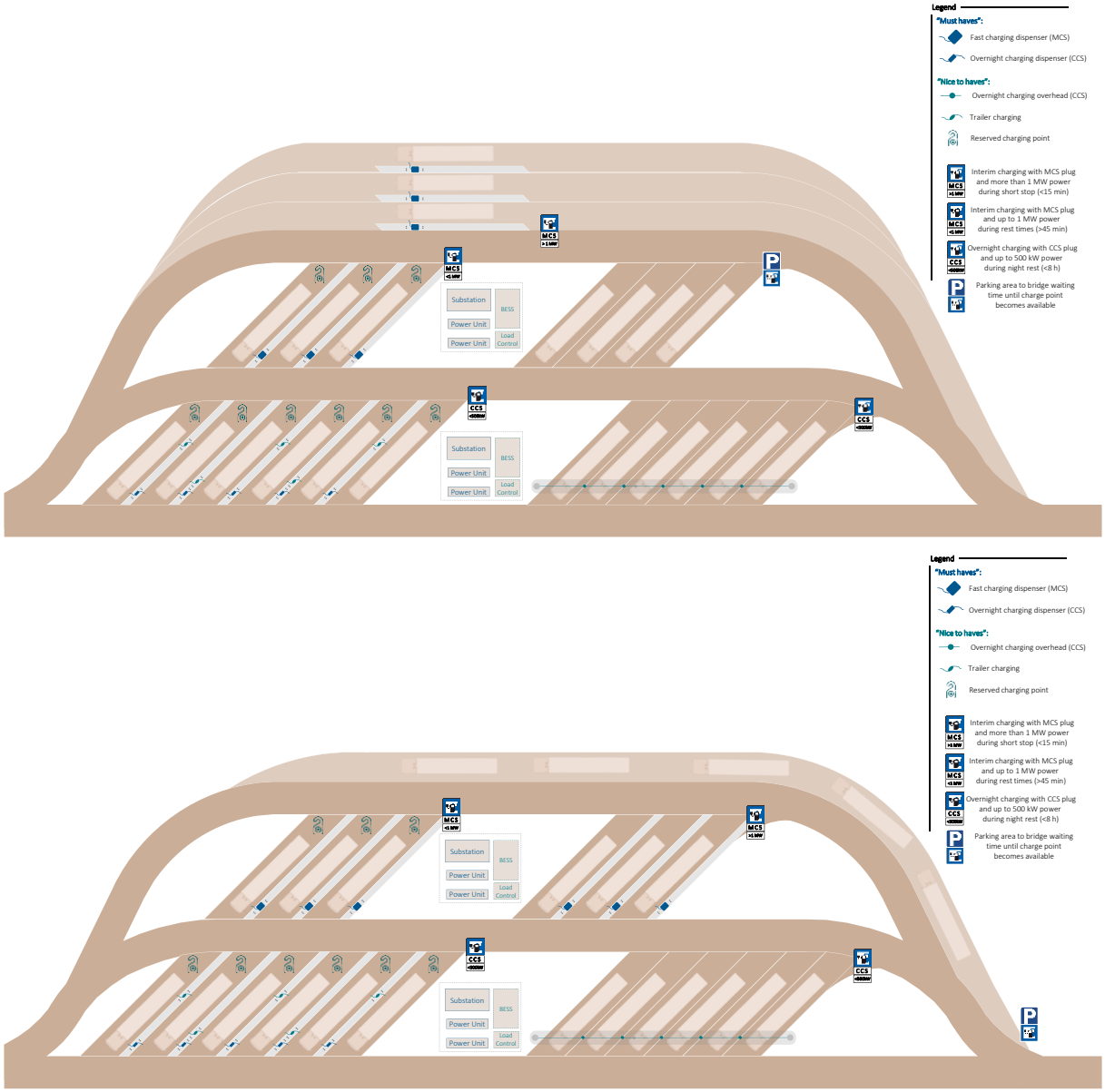
[2] Vgl. auch die Empfehlung des ZVEI https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Themen/Mobilitaet/Eichrecht-Ladeinfrastruktur/Positionspapier_Eichrecht_Ladeinfrastruktur_13062023.pdf

Ladestandorte gut erweitert werden?", "Wie kann eine Nutzung für Schnell- und Langsamladen kombiniert werden?", oder "Sollten Ladestandorte auch für andere Fahrzeuge zugänglich gemacht werden?".

Im Rahmen von HoLa wurden auf Basis von Stakeholder-Diskussionen sowie eigenen Simulationen und Analysen, Entwürfe für mögliche Standardlayouts erstellt. Abbildung 3 zeigt zwei Beispiele für Ladestationslayout.

Abbildung 3: Vorschlag für ein Standartlayout von Autobahn-Lkw-Ladestationen

Oberes Beispiel inkl. Durchfahrtslademöglichkeiten, unten mit eigenem Wartebereich.



Quelle: HoLa-Konsortium

Beide Beispiele zeigen einen großen Ladestandort mit über sechs Ladepunkten. Im oberen Beispiel sind zudem Durchfahrtslademöglichkeiten enthalten und im unteren Beispiel ein eigener größerer Wartebereich für E-Lkw. Bei Einfahrt in den Ladestandort (in der Abbildung von rechts) ist gute und klare Beschilderung für die Ladestation erkennbar. Für das genaue Design der Schilder gibt es verschiedene Möglichkeiten, aber es sollte für die Fahrer klar erkennbar sein, wo sich CCS- oder MCS-Ladepunkte befinden.

In den Beispielhaften Darstellungen sind MCS- und CCS-Ladebuchten dargestellt. Dabei ist im Layout zu beachten, dass sich die MCS-Ladebuchse aufgrund einer Industrievereinbarung stets in Fahrtrichtung links am Fahrzeug befinden wird, die CCS-Buchse aber sowohl links als auch rechts sein kann. Weiterhin gibt es auch eine platzsparende Möglichkeit ohne Ladeinseln mit geringen Leistungen, bspw. über Nacht mit Ladekabeln von oben zu laden (unten rechts in den Beispielabbildungen). Schließlich ist in den Planungen auch der Flächenbedarf für Transformatoren und ggf. einen Batteriepufferspeicher oder ein Lastmanagement vorzusehen.

Aus verschiedenen Simulationsergebnissen und umfangreichen Gesprächen mit verschiedenen Akteuren ergeben sich eine Reihe von Aspekte, die bei der Gestaltung eines öffentlichen Lkw-Ladestandortes zu berücksichtigen sind. Dabei ist zwischen dringend notwendigen Anforderungen ("must have") und wünschenswerten Anforderungen ("nice to have") zu unterscheiden. Weiterhin sind einige Aspekte schon sehr klar und gut belegt, andere hingegen noch nicht ganz sicher. Folgende Tabelle stellt die bisher im Projekt gesammelten Aspekte bei der Gestaltung eines öffentlichen Lkw-Ladestandortes übersichtlich vor.

Tabelle 3: Aspekte bei der Gestaltung eines öffentlichen Lkw-Ladestandortes

Nr.	Sicheres Wissen & Must-haves	Ungewiss oder nice-to-have
1	Der Platz ist sehr begrenzt, und alle Lademöglichkeiten müssen so konzipiert sein, dass sie so wenig Parkraum wie möglich beanspruchen.	Das CCS-Laden über Nacht kann mit langen Kabeln von oben oder mit regulären Ladestationen aus erfolgen; die Überkopf-Lösung benötigt potenziell weniger Platz
2	MCS befindet sich auf der linken Seite (in Fahrtrichtung) der Fahrzeuge; CCS kann sich auf der linken oder rechten Seite befinden	Verhältnis der CCS-Position (links vs. rechts), das bei der Gestaltung der CCS-Ladestation zu berücksichtigen ist
3	Es werden sowohl langsames Nachtladen als auch MCS-Zwischenladen erforderlich sein. Das Verhältnis ist unsicher, aber die Haltedauer deutet auf mehr Nachtladepunkte als MCS-Punkte pro Standort hin.	4:1 ist eine gute Schätzung für das Verhältnis zwischen Übernacht- und MCS-Ladepunkten, die zukünftig mit empirischen Daten angepasst werden sollte.
4	Das vorwärts Befahren und Verlassen von Ladestationen ist sehr nützlich, insbesondere für das MCS-Zwischenladen.	Für CCS sollte die Interoperabilität mit Pkw untersucht werden, insbesondere für Pkw mit Anhänger
5	Klare Straßenbeschilderung und Kennzeichnung der Lkw-Nacht- und MCS-Zwischenladungen sind hilfreich, inkl. Verfügbarkeit von Ladepunkten.	Lastmanagement und/oder stationäre Batteriespeicher können die erforderliche Netzanbindung reduzieren und die Auslastung optimieren, müssen aber für ihre Wirtschaftlichkeit richtig ausgelegt werden
6	Standorte müssen für LKW-Dimensionen mit vier Metern Fahrzeughöhe, bis zu 40 t zulässigem Gesamtgewicht und unter Berücksichtigung des Wenderadius arbeiten	Zusätzliche Lademöglichkeit für das Laden von Anhängern und Sattel-Aufliegern, abhängig von der noch nicht standardisierten Technologie
7	Ein angemessenes Kabelmanagement für die Spender- und Ladebrückenlösung ist erforderlich, um die Handhabung der Kabel zu erleichtern und lose hängende Kabel zu vermeiden.	Es sollte ausreichend Platz für künftige Erweiterungen und den Ausbau von Ladestationen vorgesehen werden.

Nr.	Sicheres Wissen & Must-haves	Ungewiss oder nice-to-have
8	Umspannwerk, Transformator, Pufferspeicher und Lastmanagement müssen aus Sicherheitsgründen außerhalb des Parkplatzes platziert werden	Innovative Lösungen zur Verringerung des Platzbedarfs werden generell bevorzugt (z. B. Ladebrücke)
9	Antikollisionsstoßstangen sind erforderlich, um erhebliche Schäden an den Ladegeräten zu verhindern.	Ladebrücke erfordert zusätzlichen Aufwand aufgrund von Anpassungen (unterschiedliche Standortbedingungen)
10	Notwendigkeit eines Wartebereichs; insbesondere in der Anfangsphase ohne ausgereiftes Reservierungssystem und ohne CP	Die Reservierbarkeit von Ladepunkten kann die Vorhersehbarkeit für die Logistikdienstleister erhöhen, wenn der Ladebedarf hoch ist.
11	Die Verlegung von Stromleitungen entlang der Transitstrecke sollte aufgrund von Blockierungsproblemen bei Reparaturen vermieden/reduziert werden.	Das Power-Hub-Konzept, bei dem Wechselstrom zentral in Gleichstrom umgewandelt und an die Zapfsäulen verteilt wird, kann zu Vorteilen wie Modularität, Skalierbarkeit, Kosteneffizienz und Aufrüstbarkeit führen.
12	Ladestellen benötigen mehr Platz als gewöhnliche Parkplätze, um genügend Raum für die Kabelführung zu bieten	Die Nutzung von Nachtladegeräten im Vergleich zu Megawatt-Ladegeräten wird stark vom Preis-Nutzen-Verhältnis abhängen

Quelle: Eigene Darstellung

Daraus ergeben sich zusammengefasst die folgenden wichtigsten Empfehlungen zum Layout von Lkw-Ladestandorten.

Handlungsempfehlung Standardlayout:

1. Bei der Planung von Ladestandorten sollte die Integration von Langsam- und Schnellladen von Lkw gemeinsam bedachte werden.

2. Es sollte durch geschickte Planung möglichst wenig Parkflächen verloren gehen.

3. Eine gute Beschilderung sowie entsprechende Warte- und Bewegungsflächen für Lkw sind einzuplanen.

3 Ergebnisse und Handlungsoptionen Netzwerk & Umfeld

3.1 Netzwerk und Planung

Das Projekt sieht initiale Abschätzungen für den zukünftig erwarteten Schnellladeinfrastrukturbedarf mit einer Leistung von bis zu einem Megawatt je Ladepunkt vor. Mit verschiedenen Modellierungsansätzen wird Szenarien-basiert ein möglicher, regional aufgelöster Bedarf für Deutschland abgeleitet. Das Projekt unterstützt damit die laufenden Aktivitäten der Nationalen Leitstelle Ladeinfrastruktur und des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr bzgl. Planung und Ausschreibung eines Ladenetzes für E-Lkw in Deutschland gemäß dem Masterplan Ladeinfrastruktur II.[3]

Der grundlegenden Idee der AFIR (Alternative Fuel Infrastructure Regulation – Verordnung (EU) 2023/1804) der Europäischen Union) folgend wird illustrativ davon ausgegangen, dass Schnellladeinfrastruktur für Batterie-Lkw mindestens im Abstand von 100 km entlang jeder deutschen Autobahn zur Verfügung stehen muss. Abbildung 3 zeigt ein mögliches Netzwerk. Dabei repräsentieren die eingezeichneten Standorte keine exakten Positionen, sondern vielmehr einen Streckenabschnitt. Die exakte Positionierung ist von örtlichen Gegebenheiten, beispielsweise Parkplatzverfügbarkeiten und dem verfügbaren Stromnetzanschluss, abhängig. Insgesamt besteht das modellierte Netzwerk aus 142 Ladestandorten, die jeweils beide Fahrtrichtungen bedienen.

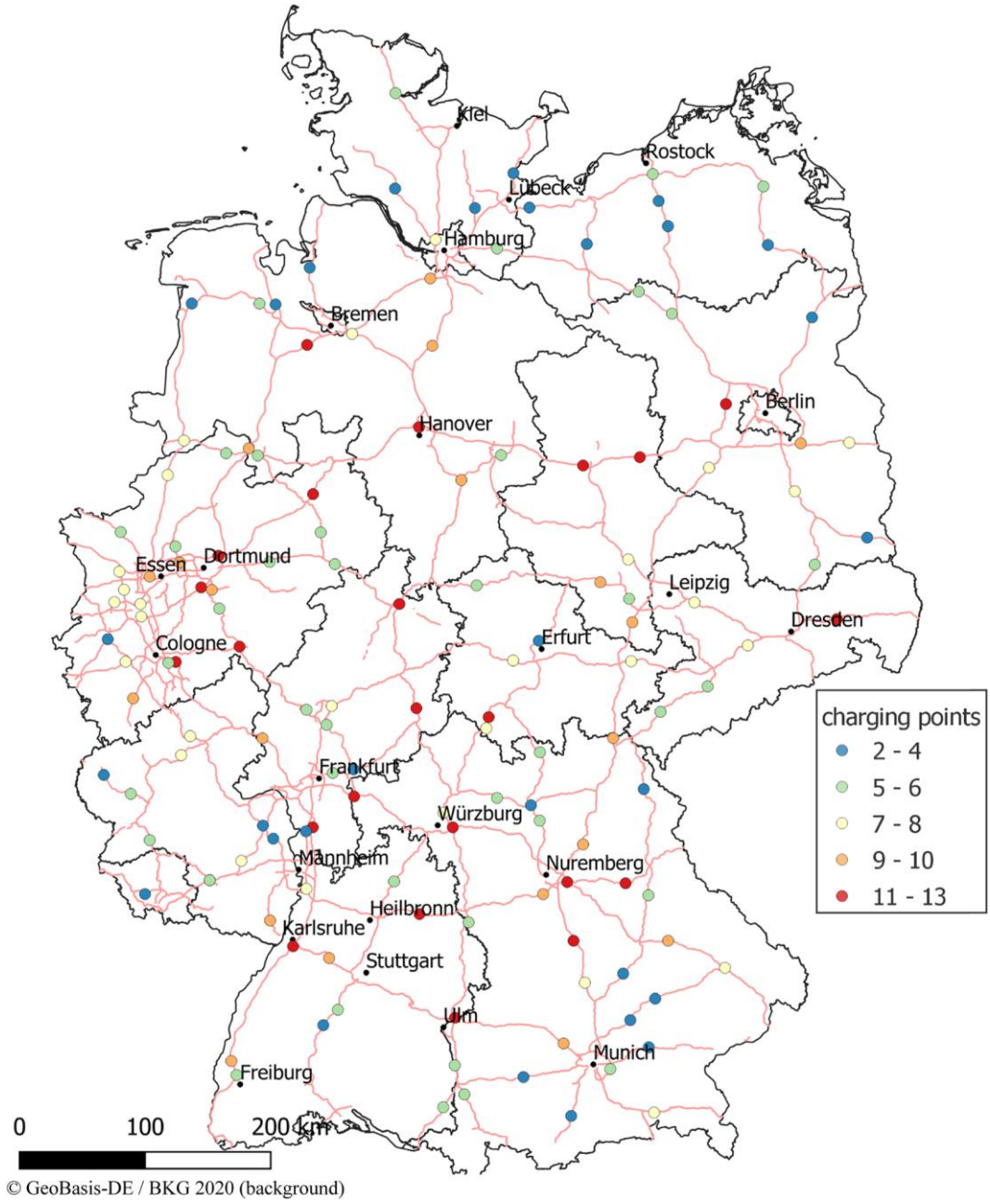
Neben der Anzahl der Standorte ist die Dimensionierung der einzelnen Standorte entscheidend. Für das hier vorgestellte Szenario wird davon ausgegangen, dass Lkw 2030 während der gesetzlich vorgeschriebenen Lenkzeitunterbrechung von 45 Minuten nach 4,5 h Fahrt nachgeladen werden. Vereinfachend wird angenommen, dass 2030 15 % der Fahrzeuge batterieelektrisch betrieben werden und die Hälfte der Ladevorgänge an öffentlicher Ladeinfrastruktur stattfindet. Unter Berücksichtigung des lokalen Verkehrsaufkommens aus Verkehrszählungsdaten sowie des täglichen Verlaufs des Verkehrsaufkommens entsteht bei einer mittleren Wartezeit in der Peakstunde von maximal 5 Minuten ein Bedarf von 1.000 Ladepunkten. Große Standorte verfügen dabei über bis zu 13 Ladepunkte, kleine Stationen über zwei Ladepunkte. Während kleine Stationen insbesondere die vollständige Abdeckung des Straßennetzes sicherstellen, sind große Stationen entlang wichtiger Langstreckenkorridore positioniert. Dazu gehört beispielsweise die HoLa-Strecke entlang der A2 von Dortmund über Hannover nach Berlin. Die Strecke ist eine der wichtigsten Verbindungen großer europäischer Häfen (Amsterdam, Rotterdam, Antwerpen) in Richtung Osteuropa.

Eine Reihe von Einflussfaktoren hat erheblichen Auswirkungen auf den berechneten Bedarf an MCS-Ladepunkte. Nach aktuellen Lenkzeitregelungen dürfen die Fahrer den Lkw in der langen Pause von 45 min nicht bewegen. Bei MCS-Ladeleistungen könnten aber 30 min ausreichen und wenn der Ladepunkt nach 30 min für ein anderes Fahrzeug freigemacht wird, werden insgesamt weniger Ladepunkte benötigt. Weiterhin ist natürlich die Zahl der E-Lkw mit Zwischenladebedarf ein entscheidender Faktor für den Bedarf an MCS-Ladepunkten und auch die Frage, ob und wenn ja welche Wartezeiten an MCS-Ladepunkten akzeptabel wären. Dabei ist zu beachten, dass mehr Ladepunkte bei gleichen Ladebedarf natürlich weniger oder nur seltene Wartezeiten bedeuten, gleichzeitig damit aber auch die mittlere Auslastung der Ladepunkte sinkt und das Laden damit teurer würde (höhere Investitionen müssen auf die gleiche Energiemenge umgelegt werden).

[3] Vgl. https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/masterplan-ladeinfrastruktur-2.pdf?__blob=publicationFile

Abbildung 4: Standorte für 142 Schnellladestationen mit einem Abstand von 100 km

Schnellladenetzwerk (1 MW pro Ladepunkt) bei einem Anteil batterieelektrischer Lkw von 15 % und einem Anteil öffentlicher Ladevorgänge von 50 %. Ladepunkte insgesamt: 1.003.



Quelle: Speth et al. (2022b)

Das hier vorgestellte Szenario bietet eine erste Abschätzung zur Festlegung einer Größenordnung. Eine detaillierte Dokumentation sowie weitere Modellierungsansätze finden sich in Speth et al. (2022b), Speth et al. (2022c), Speth et al. (2023b) und Menter et al. (2023).

Handlungsempfehlung Ladenetzwerk:

1. Bis 2030 sollte ein initiales, öffentliches Schnellladenetzwerk mit mindestens 1.000 MCS-Ladepunkten aufgebaut werden. Bei schneller Marktdurchdringung von E-Lkw im Fernverkehr und längeren Standzeiten von 45 min werden eher 2.000 MCS-Ladepunkte bis 2030 benötigt.

2. Große Ladestandorte (>4 Schnellladepunkte) sollten insbesondere an wichtigen Fernverkehrsachsen platziert werden. Gleichzeitig ist eine flächendeckende Infrastruktur mit kleinen Ladestandorten (2-4 Schnellladepunkte) sicherzustellen.
3. Der Aufbau einer weiterführenden Schnellladeinfrastruktur sollte bereits heute hinsichtlich des benötigten Stromnetzausbaus sowie der benötigten Parkflächen geplant werden.
4. Der Infrastrukturbedarf sollte kontinuierlich anhand aktueller Daten zum (erwarteten) Markthochlauf sowie zum Nutzungsverhalten abgeschätzt und evaluiert werden.

3.2 Datenverfügbarkeit

Zur Ableitung des zukünftigen Ladebedarfs sowie zur Identifikation geeigneter Standorte ist eine umfangreiche und detaillierte Datengrundlage notwendig. Dies betrifft (1) technische Daten batterieelektrischer Lkw, (2) Daten zum zeitlich und räumlich aufgelösten Nutzungsverhalten von Lkw, (3) Daten zu regionalen Parametern, beispielsweise der Verfügbarkeit von Parkflächen und der vorhandenen Stromnetzinfrastruktur.

Technische Daten batterieelektrischer (Langstrecken-) Lkw basieren heute in der Regel auf Literaturwerten aus Simulationen oder Expertenschätzungen (vergleiche zum Beispiel Basma et al. (2021), Mareev et al. (2018), Noll et al. (2022), Speth et al. (2022a)). Dabei sind insbesondere die Reichweite, die Schnellladefähigkeit sowie der Energieverbrauch von Interesse für die Modellierung der Infrastruktur. Im Projekt werden entsprechende Realwerte in der Umsetzungsphase erhoben. Zukünftig erlauben die am Markt verfügbaren Fahrzeugmodelle sowie Herstellerankündigungen eine detailliertere Betrachtung.

Das Nutzungsverhalten der Fahrzeuge kann zur Identifikation von Ladestandorten und Ladezeiten genutzt werden. Tabelle 4 stellt die relevantesten Daten zum Nutzungsverhalten von Lkw in Deutschland dar. Eine Gruppe von Datensätzen lässt Aussagen zum lokalen Verkehrsaufkommen zu. Dabei kann es sich entweder um GPS-Daten (TSL) - beispielsweise von parkenden Lkw - oder um manuelle (M-TDC) beziehungsweise automatisierte (A-TCD) Verkehrszählungsdaten handeln. Diese Daten erlauben allgemeine Rückschlüsse auf den lokalen Ladebedarf, ermöglichen jedoch keine Rückschlüsse auf das Fahrverhalten einzelner Fahrzeuge. Eine zweite Gruppe enthält Daten zu Quelle und Ziel von Güter- bzw. Verkehrsflüssen. Allerdings beinhalten diese Datensätze entweder keine realen Fahrprofile (VVP, ETIS), sind regional auf Deutschland beschränkt (KiD, VVP), sind regional nur wenig detailliert aufgelöst (ERFT) oder die zugrundeliegenden Daten sind nur eingeschränkt öffentlich verfügbar (KiD, VVP, ERFT). Ein umfassender, repräsentativer Datensatz zeitlich und räumlich aufgelöster Fahrprofile existiert aktuell nicht. Eine umfangreicheumfangreiche Datenbasis könnte die Abschätzungen zum Ladeinfrastrukturbedarf weiter verbessern und Fehlinvestitionen vermeiden.

Abschätzungen zu regionalen Parametern, beispielsweise zu Parkplatzkapazitäten und dem zum Anschluss von Ladeparks relevanten Mittelspannungsnetz können für eine erste Näherung aus OpenStreetMap entnommen werden. Insbesondere für das Stromnetz fehlen jedoch relevante Kennzahlen, wie beispielsweise die verfügbare Anschlussleistung.

Tabelle 4: Überblick Lkw-Verkehrsdaten für Deutschland und Europa

	Plötz et al. (2021)	BAST (2017)	BAST (2022)	WVI et al. (2012)	BVU et al. (2014)	Eurostat (2023)	Szimba et al. (2013)
Metadaten							
Abkürzung	TSL	M-TCD	A-TCD	KiD	VVP	ERFT	ETIS
Aktuelles Jahr	2021	2015	2021	2010	2030	2021	2010
Verfügbarkeit	eingeschränkt	öffentlich	öffentlich	wissenschaftlich	wissenschaftlich	wissenschaftlich	öffentlich
Methode	GPS	Zählung händisch	Zählung automatisch	Fragebogen	Modellierung	Fragebogen	Modellierung
Abdeckung							
Regional	Europa	DE	DE	DE*	DE**	Europa	Europa
Auflösung							
Regional[4]	Koordinaten	Koordinaten	Koordinaten	NUTS-3	NUTS-3	NUTS-2	NUTS-3
Temporal	-	Tagesschnitt	Stündlich	Zeitstempel	Zeitstempel	-	-
Einzelfahrzeuge	-	-	-	√	-	√	-
Quelle-Ziel-Daten	-	-	-	√	√	√	√

* Der Datensatz enthält deutsche Fahrzeuge, die teilweise auch in Europa im Einsatz sind. **Angrenzende Regionen sind weniger detailliert enthalten.

Quelle: HoLa-Konsortium

Neben Fahrzeug- und Parkplatzdaten wären Informationen zu verfügbarer Netzanschlussleistung nach Umspannwerk sehr wichtig. Derzeit muss jeder Ladepunktbetreiber über den Eigentümer der Fläche beim lokalen Netzbetreiber anfragen (über 800 in Deutschland), ob und wie viele Anschlussleistung zur Verfügung steht. Generell sind wenig Daten zum Stromverteilnetz (für MCS ist vor allem die Mittelspannung relevant) verfügbar und idealerweise würden verfügbare Anschlussleistungen entlang der Autobahnen vereinheitlicht und zentral über die verschiedenen Netzbetreiber hinweg zur Verfügung gestellt werden, um den Aufbau elektrischer Infrastruktur zu beschleunigen.

Im Rahmen des Projektes HoLa wurden bislang zwei neue Datensätze erstellt, die die Auswahl von Ladestandorten erleichtern können. Zum einen wurde, basierend auf dem ETIS-Datensatz, eine aktualisierte Quelle-Ziel-Matrix von Lkw-Verkehren in Europa veröffentlicht, die zur Identifikation von Straßenabschnitten mit potentiell hohem Ladebedarf geeignet ist (Speth et al. 2022d). Zum anderen wurden, anhand von öffentlich verfügbaren Kartendaten, Parkplätze in Deutschland hinsichtlich ihrer Attraktivität für Lkw-Schnellladen bewertet (Auer et al. 2023). Eine Ausweitung auf Europa ist geplant.

Handlungsempfehlung Datenverfügbarkeit:

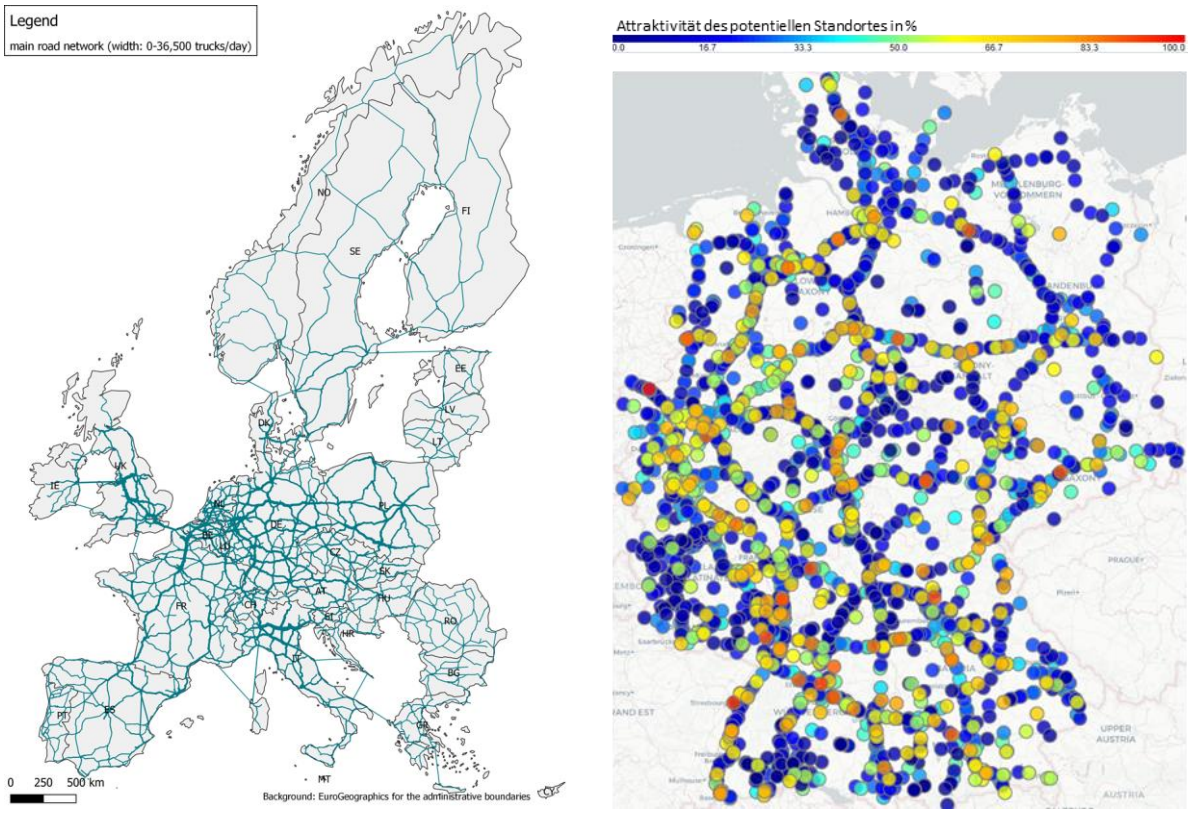
1. Eine umfangreiche Erhebung zum zeitlich und räumlich aufgelösten Fahrverhalten von Lkw würde Bedarfsabschätzungen für Ladeinfrastruktur vereinfachen und sollte daher geprüft werden.

2. Daten zum Stromnetz und zur verfügbaren Anschlussleistung sollten vereinheitlicht und zentral für legitimierte Nutzer*innen zur Verfügung gestellt werden, um den Aufbau elektrischer Infrastruktur zu beschleunigen.

[4] NUTS-3: Nomenclature des unités territoriales statistiques. In Deutschland entspricht Stufe 3 Landkreisen und kreisfreien Städten. Stufe 2 entspricht Regierungsbezirken.

Abbildung 5: Neue Datengrundlagen zur Planung von Ladeinfrastruktur für Lkw aus HoLa

(a) Modellierte europäische Lkw-Güterströme 2019; (b) Attraktivität potentieller Ladestandorte



(a) (b)

Quelle: HoLa-Konsortium, basierend auf Speth et al. (2022d) und Auer et al. (2023)

3.3 Die Rolle von MCS

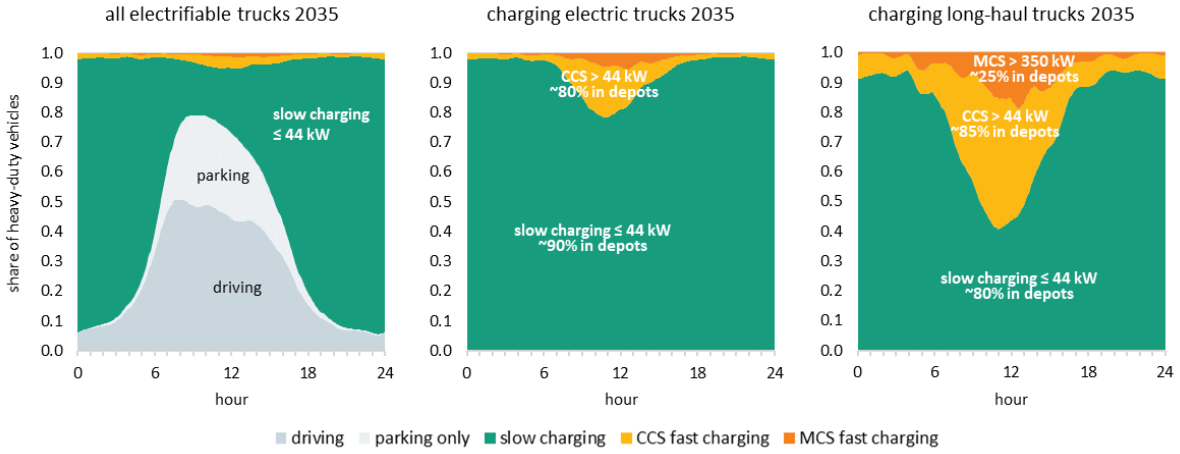
In Europa darf ein Lkw-Fahrer oder eine Lkw-Fahrerin maximal 4,5 Stunden am Stück fahren, bevor eine Pause von mindestens 45 Minuten eingelegt werden muss (EU 2006). In dieser Zeit kann das Fahrzeug bis zu 360 km zurücklegen. Es benötigt dabei üblicherweise etwas mehr als 1 kWh/km (Speth et al. 2022a). Das heute im Pkw-Bereich eingesetzte Combined Charging System (CCS) liefert typischerweise bis zu 350 kW und reicht daher nicht aus, um das Fahrzeug innerhalb der gesetzlichen Pausenzeit zu laden. Das Megawatt Charging System (MCS), das sich aktuell noch in der Entwicklung befindet, erlaubt voraussichtlich Ladeleistungen bis zu 3,75 MW (1.250 V, 3.000 A) (CharIN 2023). Um den Lkw innerhalb der gesetzlichen Pausenzeit vollständig nachzuladen, ist allerdings voraussichtlich eine Peakleistung von circa 1 MW ausreichend.

Allerdings wird nur ein Teil der Lkw im Langstreckeneinsatz genutzt. Die Erhebung „Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland" (WVI et al. 2012) stellt Daten von mehr als 2.800 für Deutschland repräsentativen schweren Lkw und Sattelzügen (> 12 t zGG) zur Verfügung. Davon enthalten 2,400 Fahrprofile eine vollständige Beschreibung der Fahrten über einen Tag, inklusive Fahrtzeiten (Beginn, Ende) sowie Angaben zum Standort (privat, öffentlich). Diese Daten können genutzt werden, um eine fiktive Lkw-Flotte zu simulieren. Dabei wird angenommen, dass die Fahrzeuge erst nachladen, wenn sie mit der nächsten Fahrt einen Energiebedarf von mindestens 75% der maximalen Batteriekapazität überschreiten würden und die Standzeit mit mindestens 30 Minuten zum Nachladen ausreichend ist. Weiter wird angenommen, dass die Fahrzeuge innerhalb der verfügbaren Standzeit so langsam wie möglich, aber so schnell wie nötig laden, um die Batterie bis zum Beginn der nächsten Fahrt wieder vollständig zu laden. Die Simulationen

zeigen, dass bei einer konservativ angenommenen Batteriegröße von maximal 700 kWh (brutto, 75% nutzbar) im Jahr 2030 und 900 kWh (brutto, 85% nutzbar) im Jahr 2050 durchgängig deutlich mehr als 90 % der Fahrzeugflotte elektrifiziert werden können. Auf öffentliches Laden ist dabei nur rund ein Viertel der Fahrzeuge angewiesen. Abbildung 6 zeigt beispielhaft für 2035 das Ladeverhalten der simulierten Flotte über einen Tag hinweg.

Abbildung 6: Fahr- und Ladeverhalten batterieelektrischer Lkw 2035

Links: Alle Batterie-Lkw; Mitte: Alle ladenden Lkw; Rechts: Alle ladenden Langstrecken-Lkw (>500 km/d).



Quelle: Speth et al. (2024)

Es ist deutlich zu erkennen, dass die Mehrheit der Ladevorgänge an Langsamladeinfrastruktur, in der Regel auf privatem Gelände, mit maximal 44 kW stattfindet. Diese Leistung kann technisch sogar mit AC-Laden erreicht werden. Auch rund 80 % der Ladevorgänge mit einer Ladeleistung von bis zu 350 kW, der heute üblichen CCS-Leistung, findet an privaten Ladestationen statt. Laden mit über 350 kW, also voraussichtlich mit MCS, wird insbesondere für Langstreckenfahrzeuge zum Zwischenladen genutzt und findet zu rund 75 % an öffentlichen Ladestationen statt. Gleichzeitig stellt das MCS-Laden jedoch rund 20% des Energiebedarfs batterieelektrischer Lkw im Jahr 2035. Rein technisch können ist es natürlich auch möglich weniger als 350 kW mit MCS zu laden. Es ist derzeit noch eine offene Frage, ob Lkw langfristig nur über einen Stecker (CCS oder MCS) oder über beide verfügen werden.

Zusammenfassend kann also festgehalten werden, dass MCS mit einer Ladeleistung von mehr als 350 kW eine relevante Rolle für den Langstreckenverkehr spielt, während das Depotladen mit geringeren Ladeleistungen für einen großen Teil der zukünftigen batterieelektrischen Lkw-Flotte ausreichend sein wird.

Eine detaillierte Dokumentation der hier vorgestellten Simulationsergebnisse findet sich in Speth et al. (2023a)

Handlungsempfehlung Rolle von MCS:

1. MCS-Laden sollte entlang der wichtigen Langstreckenachsen ausgebaut werden.
2. In Depots und auf privaten Stellflächen sollte primär Langsamladen mit typischerweise 50 kW aber deutlich unter 350 kW je Ladepunkt und Lastmanagement implementiert werden, um einen zügigen Ausbau zu ermöglichen.

4 Literaturverzeichnis

Literatur

Auer, J.; Link, S.; Plötz, P. (2023): Public charging locations for battery electric trucks: A GIS-based statistical analysis using real-world truck stop data for Germany. https://doi.org/10.24406/publica-1198.

Basma, H.; Rodríguez, F. (2021): Race to Zero: How manufacturers are positioned for zero-emission commercial trucks and buses in Europe. International Council on Clean Transportation.

BAST (2017): Manuelle Straßenverkehrszählung 2015 - Ergebnisse auf Bundesautobahnen. Stand: 26.01.2017. Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen.

BAST (2022): Automatische Dauerzählstellen auf Autobahnen und Bundesstraßen. Online verfügbar unter https://www.bast.de/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v2-verkehrszaehlung/zaehl_node.html, zuletzt geprüft am 14.12.2019.

BVU; Intraplan; IVV; planco (2014): Verkehrsverflechtungsprognose 2030 - Abschlussbericht - Los 3. FE-Nr.: 6.0981/2011. Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. BVU Beratergruppe; Intraplan Consult GmbH; IVV GmbH & Co. KG; Planco Consulting GmbH.

CharIN (2023): Megawatt Charging System (MCS). Online verfügbar unter https://www.charin.global/technology/mcs/, zuletzt geprüft am 20.01.2023.

EU (2006): Regulation (EC) No 561/2006 of the European Parliament and of the Council of 15 March 2006 on the harmonisation of certain social legislation relating to road transport and amending Council Regulations (EEC) No 3821/85 and (EC) No 2135/98 and repealing Council Regulation (EEC) No 3820/85. Brussels: European Union, zuletzt geprüft am 14.02.2023.

Eurostat (2023): European Road Freight Transport Survey. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/eurostat/web/microdata/european-road-freight-transport-survey, zuletzt geprüft am 24.01.2023.

Mareev, I.; Becker, J.; Sauer, D. (2018): Battery Dimensioning and Life Cycle Costs Analysis for a Heavy-Duty Truck Considering the Requirements of Long-Haul Transportation. In: Energies, 11 (1), S. 1–23. https://doi.org/10.3390/en11010055.

Menter, J.; Fay, T.-A.; Grahle, A.; Göhlich, D. (2023): Long-Distance Electric Truck Traffic: Analysis, Modeling and Designing a Demand-Oriented Charging Network for Germany. In: World Electric Vehicle Journal, 14 (8), S. 205. https://doi.org/10.3390/wevj14080205.

Noll, B.; Del Val, S.; Schmidt, T. S.; Steffen, B. (2022): Analyzing the competitiveness of low-carbon drive-technologies in road-freight: A total cost of ownership analysis in Europe. In: Applied Energy, 306, S. 118079. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118079.

Plötz, P.; Speth, D. (2021): Truck Stop Locations in Europe. Final report. Client: European Automobiles Manufacturers Association (ACEA). Karlsruhe: Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI, zuletzt geprüft am 24.01.2023.

Speth, D.; Kappler, L.; Link, S.; Keller, M. (2022a): Attractiveness of alternative fuel trucks with regard to current tax and incentive schemes in Germany: a total cost of ownership analysis. 35th International Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS35). Oslo, zuletzt geprüft am 02.11.2022.

Speth, D.; Plötz, P. (2024): Depot slow charging is sufficient for most battery electric trucks in Germany. Transportation Research Part D: Transport and Environment **128**, 104078, https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104078.

Speth, D.; Plötz, P.; Funke, S.; Vallarella, E. (2022b): Public fast charging infrastructure for battery electric trucks – a model-based network for Germany. In: Environmental Research: Infrastructure and Sustainability. https://doi.org/10.1088/2634-4505/ac6442.

Speth, D.; Plötz, P.; Wietschel, M. (2023b): Modelling a capacity-constrained public charging infrastructure network for electric trucks in Germany. 36th International Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS36) Sacramento, California, USA, June 11-14, 2023.

Speth, D.; Sauter, V.; Plötz, P. (2022c): Where to Charge Electric Trucks in Europe—Modelling a Charging Infrastructure Network. In: World Electric Vehicle Journal, 13 (9), S. 162. https://doi.org/10.3390/wevj13090162.

Speth, D.; Sauter, V.; Plötz, P.; Signer, T. (2022d): Synthetic European road freight transport flow data. In: Data in brief, 40. https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107786.

Szimba, E.; Kraft, M.; Ihrig, J.; Schimke, A.; Schnell, O.; Kawabata, Y.; Newton, S.; Breemersch, T.; Versteegh, R.; van Meijeren, J.; Jin-Xue, H.; Stasio, C. de; Fermi, F. (2013): ETISplus Database Content and Methodology: ETISplus Deliverable D6. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16768.25605.

WVI; IVT; DLR; KBA (2012): Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2010. Projekt-Nr. 70.0829/2008. - Schlussbericht -. Braunschweig: WVI Prof. Dr. Wermuth Verkehrsforschung und Infrastrukturplanung GmbH; Institut für angewandte Verkehrs- und Tourismusforschung e.V.; Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt - Institut für Verkehrsforschung; Kraftfahrt-Bundesamt.