



Infrastruktur für elektrische Lkw: Chancen und Herausforderungen für Ladeinfrastruktur und Wasserstofftankstellen

Autorinnen und Autoren:

Daniel Speth, Markus Jenne, Maria Ferté, Ludwig Jörissen, Günther Schlumberger, Patrick Plötz

Gefördert durch das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg sowie das Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg; betreut durch den Projektträger Karlsruhe (PTKA) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT).



Baden-Württemberg
Ministerium für Umwelt, Klima
und Energiewirtschaft

Baden-Württemberg
Ministerium für Verkehr

Impressum

Infrastruktur für elektrische Lkw: Chancen und Herausforderungen für Ladeinfrastruktur und Wasserstofftankstellen

Autorinnen und Autoren

Dr. Daniel Speth¹, daniel.speth@isi.fraunhofer.de

Markus Jenne², markus.jenne@zsw-bw.de

Maria Ferté¹

Dr. Ludwig Jörissen², ludwig.joerissen@zsw-bw.de

Günther Schlumberger², guenther.schlumberger@zsw-bw.de

Prof. Dr. Patrick Plötz¹, patrick.ploetz@isi.fraunhofer.de

¹ Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

² Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg ZSW

Bildnachweis

Deckblatt: Shutterstock.com/TechSolution

Zitierempfehlung

Speth, D.; Jenne, M.; Jörissen, L.; Schlumberger, G.; Ferté, M.; Plötz, P. (2026): Infrastruktur für elektrische Lkw: Chancen und Herausforderungen für Ladeinfrastruktur und Wasserstofftankstellen. Karlsruhe: Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI; Ulm: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg ZSW. doi: 10.24406/publica-110386

Veröffentlicht

September 2026

Kontakt

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe

Daniel Speth, daniel.speth@isi.fraunhofer.de

Auftraggeber

Dieses Working Paper entstand im Projekt [BWeRoads](#), das durch das Land Baden-Württemberg gefördert und durch den Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut wurde (Förderkennzeichen: BWLWTF 24402). Das Projekt wird durch das Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu) geleitet.



Baden-Württemberg
Ministerium für Umwelt, Klima
und Energiewirtschaft



Baden-Württemberg
Ministerium für Verkehr

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.

Zusammenfassung

Das Working Paper untersucht auf Basis von 21 leitfadengestützten Interviews mit Infrastrukturbetreibern, Netzbetreibern und Logistikern im Rahmen des Projekts BWeRoads die Chancen, Herausforderungen und risikomindernden Maßnahmen beim Aufbau von Lade- und H₂-Tankinfrastruktur für schwere Nutzfahrzeuge. Während sich die Ladeinfrastruktur in einer frühen Marktphase befindet, ist die Wasserstoffinfrastruktur aktuell noch eine Nischenanwendung, die stark von Ankerkunden abhängt.

Chancen sehen die Akteure beim elektrischen Laden insbesondere im Imagegewinn durch eine umweltfreundliche Technologie, in finanziellen Vorteilen durch niedrigere operative Fahrzeugkosten sowie in der Übertragbarkeit von Erfahrungen aus dem Pkw-Bereich. Diese umfasst insbesondere auch eine hohe Technologiereife sowie die Nutzung von Pkw-Infrastruktur als Notlösung. Für Wasserstoff wird vor allem die Nutzung bewährter Logistikmodelle im Fernverkehr mit schnellen Betankungszeiten, hoher Beladung und großer Reichweite sowie ein im Vergleich zu Ladeparks deutlich geringerer Flächenbedarf, aufgrund einer geringeren Anzahl an Dispensern, als vorteilhaft erachtet.

Den Chancen stehen jedoch erhebliche Herausforderungen gegenüber. Bei der Ladeinfrastruktur dominieren der hohe finanzielle und zeitliche Aufwand durch langwierige Genehmigungsverfahren für Netzanschlüsse und Flächenknappheit. Unsicherheiten im Markthochlauf batterieelektrischer Fahrzeuge erhöhen ebenfalls das Risiko. Für H₂-Tankstellen sind die hohen Investitionen und Betriebskosten, eine unzureichend gesicherte Nachfrage sowie instabile Förderkulissen zentrale Hemmnisse. Insgesamt sind die identifizierten Herausforderungen sehr ähnlich, allerdings unterschiedlich stark ausgeprägt. Die Ladeinfrastruktur profitiert von der früheren Marktentwicklung der Fahrzeuge. Beide Technologien unterliegen zudem dem Wettbewerb durch biogene Kraftstoffe wie HVO100.

Um diese Risiken zu minimieren, wurden verschiedene effektive Maßnahmen identifiziert. Für die Ladeinfrastruktur sind eine frühzeitige Einbindung aller Stakeholder, eine modulare und skalierbare Bauweise, intelligentes Lastmanagement und die Errichtung teilöffentlicher Infrastruktur zur besseren Auslastung entscheidend. Bei Wasserstofftankstellen sind die vorab gesicherte Identifikation von Ankerkunden sowie der Aufbau dezentraler Ökosysteme unter Einbindung lokaler Erzeugung essenziell. Auch hier helfen flexible und modulare Aufbauten, die mit dem Markt wachsen, um die Investitionsrisiken zu reduzieren. Die Kombination von Strom und H₂ an einem Standort wird aufgrund unterschiedlicher Betreiberstrukturen teils kritisch gesehen, bietet aber konkrete Synergiepotenziale beim Netzanschluss, bei Shop- und Sanitäreinrichtungen sowie bei der potenziellen Rückverstromung von H₂.

Daraus leiten sich zentrale Handlungsempfehlungen ab: Die Politik sollte verlässliche, langfristige Rahmenbedingungen schaffen, Bürokratie abbauen, Genehmigungsprozesse standardisieren und Fördermittel zielgerichtet einsetzen. Netzbetreiber sollten spezialisierte Expertenteams und digitalisierte Prozesse zur beschleunigten Bearbeitung von Netzanschlussanfragen aufbauen. Ladeinfrastrukturbetreibern sollten auf Modularität und Skalierbarkeit setzen sowie Stakeholder frühzeitig einbinden. H₂-Tankstellenbetreiber müssen vorab Ankerkunden zur Abnahmesicherung gewinnen und die Infrastruktur verbrauchsorientiert denken. Speditionen und Logistikunternehmen sollten vor der Fahrzeugbeschaffung und Antriebswahl detaillierte Use-Case-Analysen durchführen und Kooperationen zur Teilung von Infrastrukturkosten eingehen.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
1 Einleitung und Motivation.....	5
2 Vorgehen und Datengrundlage	6
3 Ergebnisse	8
3.1 Erwarteter Markthochlauf	8
3.2 Ladeinfrastruktur	10
3.2.1 Ausgestaltungsoptionen	10
3.2.2 Chancen bei der Errichtung von Ladeinfrastruktur	11
3.2.3 Herausforderungen bei der Errichtung von Ladeinfrastruktur	12
3.2.4 Effektive Maßnahmen zur Risikoreduktion	15
3.2.5 Einordnung der aktuellen Situation	17
3.3 H ₂ -Tankstellen	20
3.3.1 Ausgestaltungsoptionen	20
3.3.2 Chancen bei der Errichtung von H ₂ -Tankstellen	21
3.3.3 Herausforderungen bei der Errichtung von H ₂ -Tankstellen	22
3.3.4 Effektive Maßnahmen bei der Errichtung von H ₂ -Tankstellen	22
3.3.5 Einordnung der aktuellen Situation	23
3.4 Kombinierte Infrastruktur	25
4 Diskussion	28
5 Schlussfolgerungen & Handlungsempfehlungen.....	29
6 Abbildungsverzeichnis.....	31
7 Literaturverzeichnis	32
A.1 Interviewleitfaden	33
A.2 Ergebnistabelle Merkmale von H₂-Tankstellen	38

1 Einleitung und Motivation

Batterieelektrische Lkw und H₂-Lkw stellen erfolgsversprechende Optionen zur Dekarbonisierung des schweren Straßengüterverkehrs in Deutschland dar. Die Fahrzeughersteller gehen davon aus, dass 2030 rund die Hälfte aller neu zugelassener schwerer Lkw (>12 t) in Deutschland batterieelektrisch sein könnten. Weitere 20 % könnten mit Wasserstoff betrieben werden, entweder als Brennstoffzellenfahrzeuge oder als H₂-Verbrenner (NOW, 2024). Entscheidend ist jedoch die Kaufentscheidung der Speditions- und Logistikunternehmen. Analysen zeigen, dass diese ihre Entscheidung, neben der Wirtschaftlichkeit der Fahrzeuge, insbesondere von der verfügbaren Infrastruktur abhängig machen (Anderhofstadt & Spinler, 2019). Auch wenn der Aufbau von Depotladeinfrastruktur und Depottankstellen einen großen Teil der benötigten Energiemengen decken kann (Speth & Plötz, 2024), so wird dennoch ein Mindestnetz an öffentlicher Infrastruktur benötigt (vgl. z. B. Shoman et al., 2023 für Ladeinfrastruktur und Löfving et al., 2025 für Wasserstoff).

Die EU-Verordnung zum Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (EU, 2023) sieht daher den verpflichtenden Aufbau von Lade- und H₂-Tankstelleninfrastruktur für Lkw entlang der wichtigsten europäischen Fernverkehrsachsen in regelmäßigen Abständen vor. In Deutschland koordiniert die Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur (NLL) den Ausbau und schreibt den Ausbau an verschiedenen Rastanlagen in Deutschland aus. Gleichzeitig zeichnen sich jedoch auch erste Herausforderungen beim Ausbau der Infrastruktur ab. So dauert beispielsweise die Bereitstellung der Netzanschlüsse für große Ladeparks teilweise mehrere Jahre (Kippelt et al., 2022). Für die Betankung von Wasserstoff ist die technische Umsetzung des Tankprozesses – als Standard heute wird gasförmiger H₂ unter Druck vertankt, kryogene Methoden mit höheren Energiedichten sind in der Entwicklung – noch nicht vollständig geklärt und die bislang nicht vorhandene Nachfrage nach Wasserstoff macht Investitionen vergleichsweise riskant.

Baden-Württemberg möchte den Infrastrukturhochlauf für schwere Nutzfahrzeuge unterstützen und möglichst beschleunigen und lässt daher in mehreren geförderten Projekten entsprechende Infrastruktur errichten. Das BWplus-geförderte Projekt Projekt BWeRoads¹ begleitet die geförderten Projekte, aggregiert Erfahrungen aus den Projekten und leitet Handlungsempfehlungen ab, die die Errichtung von Lade- und H₂-Tankinfrastruktur zukünftig beschleunigen können.

Das vorliegende Working Paper fasst Aussagen zum Aufbau von Lade- und H₂-Tankinfrastruktur für Lkw zusammen, die im Rahmen von 21 Interviews erhoben wurden. Der Fokus liegt dabei auf Chancen, Herausforderungen sowie risikomindernden Maßnahmen beim Aufbau der Infrastruktur. Außerdem wird auf den gemeinsamen Aufbau von Lade- und H₂-Tankinfrastruktur eingegangen.

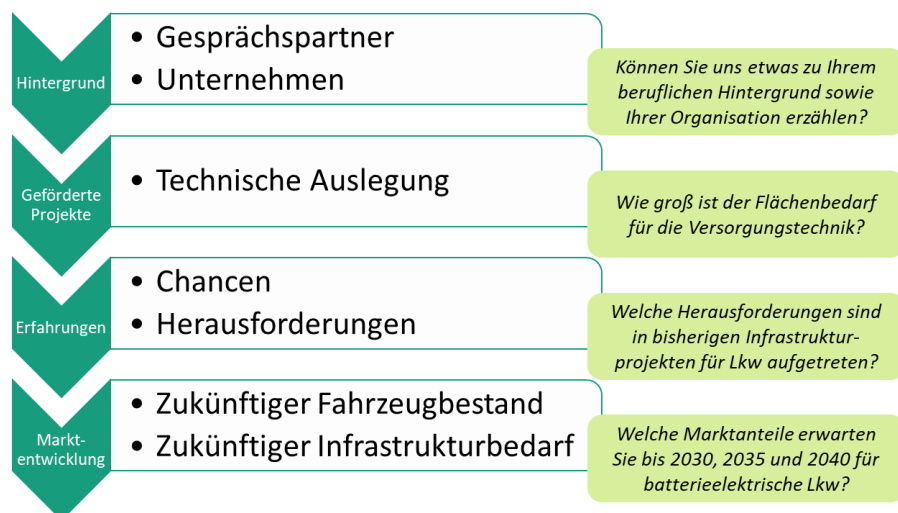
¹ <https://www.bw-eroads.de/>

2 Vorgehen und Datengrundlage

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es Chancen, Herausforderungen sowie effektive Maßnahmen zur Risikoreduktion bei Infrastrukturprojekten für batterieelektrische Lkw sowie Wasserstoff-Lkw zu identifizieren. Zur Erhebung von Chancen, Herausforderungen sowie Maßnahmen wurden leitfadengestützte Interviews geführt. Diese ermöglichen einerseits eine sorgfältige Formulierung von Fragestellungen, andererseits aber auch tiefergehende Rückfragen (Gläser & Laudel, 2010).

Der Interviewleitfaden umfasst vier Abschnitte und deckt (1) den Hintergrund der Interviewten, (2) die Ausgestaltung geförderter Projekte, (3) Erfahrungsberichte in Bezug auf Chancen und Risiken sowie (4) die von den Interviewten erwartete Marktentwicklung ab. Der zweite Abschnitt wurde nur mit Gesprächspartnern und -partnerinnen aus den im Rahmen von BWplus geförderten Projekten geführt. Abbildung 1 zeigt die Struktur des Fragebogens sowie beispielhafte Fragen. Der vollständige Fragebogen findet sich in Anhang A.1.

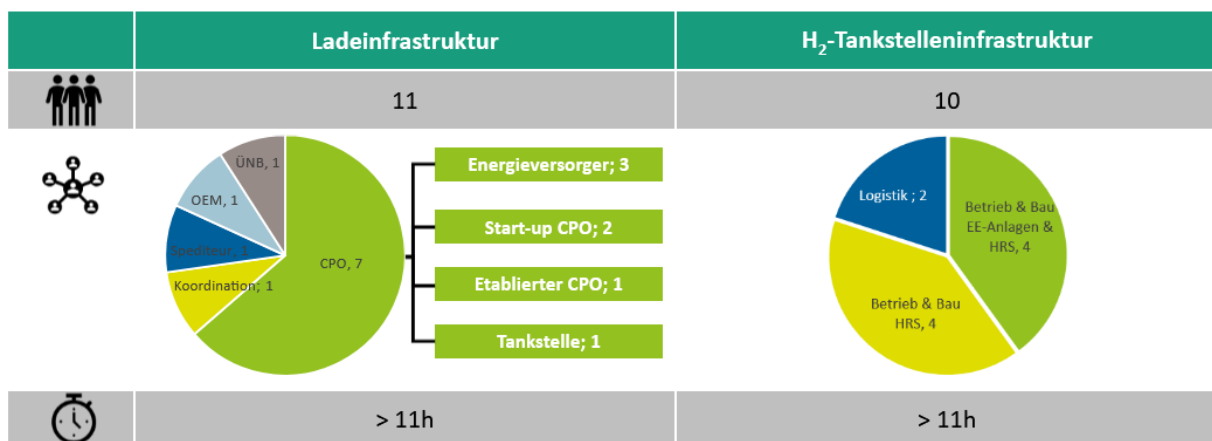
Abbildung 1: Struktur des Fragebogens und beispielhafte Fragen



Der Fragebogen enthält offene und geschlossene Fragestellungen. Die offenen Fragen sollten einen möglichst tiefen Einblick ermöglichen und die Interviewten zu detaillierten Antworten anregen. Fragen wurden möglichst neutral, einfach und klar formuliert (Plotz et al., 2023). Die Schwerpunktsetzung oblag dabei den Interviewten. Ziel der qualitativen Inhaltsanalyse ist es, implizite Bedeutungen und Muster in den erhobenen Daten aufzudecken, eine umfassende Analyse unter Berücksichtigung des jeweiligen Kontexts durchzuführen und aussagekräftige Erkenntnisse zu gewinnen (Gläser & Laudel, 2010). Geschlossene Fragen wurden insbesondere im Rahmen einiger quantitativer Abfragen genutzt, um sicherzustellen, dass es zu zentralen Aspekten, beispielsweise zu Marktanteilen oder zur Relevanz von Förderprogrammen, vergleichbare Aussagen gab.

Zielgruppe der Befragung waren Betreiber von Ladeinfrastruktur (CPO – Charge Point Operator), die bereits Erfahrung mit Lkw-Laden hatten, sowie von Wasserstofftankstellen (HRS – Hydrogen Refueling Station). Für Ladeinfrastruktur wurden zusätzlich Personen aus dem weiteren Umfeld befragt, um ein möglichst ganzheitliches Bild zu erlangen. Dazu zählten ein Fahrzeughersteller (OEM), ein Spediteur mit eigener Ladeinfrastruktur, eine öffentliche Stelle zur Koordination des Ladeinfrastrukturaufbaus sowie ein Übertragungsnetzbetreiber. Insgesamt wurden 21 Interviews zwischen 40 und 90 Minuten geführt. Typische Interviews dauerten rund eine Stunde. Abbildung 2 zeigt eine Übersicht über die Teilnehmenden.

Abbildung 2: Übersicht Interviewteilnehmende



Im Rahmen der qualitativen Analyse lag der Fokus darauf, die bereitgestellten Informationen zu verstehen, zu interpretieren und Muster aufzudecken (Mayring, 2000; Gläser & Laudel, 2010). Ziel der qualitativen Inhaltsanalyse war es, implizite Bedeutungen und Muster in den erhobenen Daten aufzudecken, eine umfassende Analyse unter Berücksichtigung des jeweiligen Kontexts durchzuführen und aussagekräftige Erkenntnisse zu gewinnen (Gläser & Laudel, 2010). Im Rahmen einer thematischen Analyse wurden übergeordnete Themen (z. B. Politik oder Wirtschaftlichkeit) identifiziert, die in den Interviews auftreten (Braun & Clarke, 2006). Dabei wurden Akteure und Faktoren erfasst, die eine relevante Rolle bei der Planung und Umsetzung von E-Lkw-Ladeinfrastruktur spielen. Verschiedenen Argumente wurden kategorisiert (Krippendorff, 2019). Dabei wurden die Inhalte vertieft und in Kategorien zusammengefasst. Bei der Inhaltsanalyse wurden die Interview-inhalte den Kategorien zugewiesen und verschiedene Argumente zur selben Kategorie gegenübergestellt (Krippendorff, 2018).

Quantifizierbare Ergebnisse, beispielsweise den erwarteten Markthochlauf oder die Einschätzung zum Einfluss verschiedener Parameter – Förderung, politische Unterstützung, Unterstützung durch Behörden, technische Rahmenbedingungen, Wirtschaftlichkeit – auf die Realisierbarkeit von Lkw-Infrastrukturprojekten, wurden über die einzelnen Interviews hinweg vergleichend gegenübergestellt.

3 Ergebnisse

Im Folgenden wird zunächst in Abschnitt 3.1 auf den durch die Befragten erwarteten Markthochlauf für batterieelektrische sowie mit Wasserstoff betriebene Lkw eingegangen. Anschließend werden in Abschnitt 3.2 die Ausgestaltungsoptionen, Chancen, Herausforderungen, risikomindernden Maßnahmen sowie eine Einordnung der aktuellen Situation für Ladeinfrastruktur für elektrische Lkw präsentiert. Anschließend folgen in Abschnitt 3.3 die entsprechenden Ergebnisse für Wasserstofftankstelleninfrastruktur. In Abschnitt 3.4 wird abschließend die Einschätzung aller Interviewten zur Kombination von H₂ und Strom an einem Standort zusammengefasst. In allen folgenden Abbildungen wird grün für Strom und blau für Wasserstoff verwendet. Rote Linien stellen Mittelwerte dar.

3.1 Erwarteter Markthochlauf

Im folgenden Abschnitt werden die erwartete Rolle sowie der erwartete Markthochlauf batterieelektrischer Lkw sowie von H₂-Lkw zusammengefasst, die durch die Interviewten beschrieben wurde.

Abbildung 3: Bewertung der zukünftigen Nutzung von batterieelektrischen Lkw und Wasserstoff-Lkw durch Ladeinfrastrukturexperten (grün) und H₂-Tankstelleninfrastrukturexperten (blau)

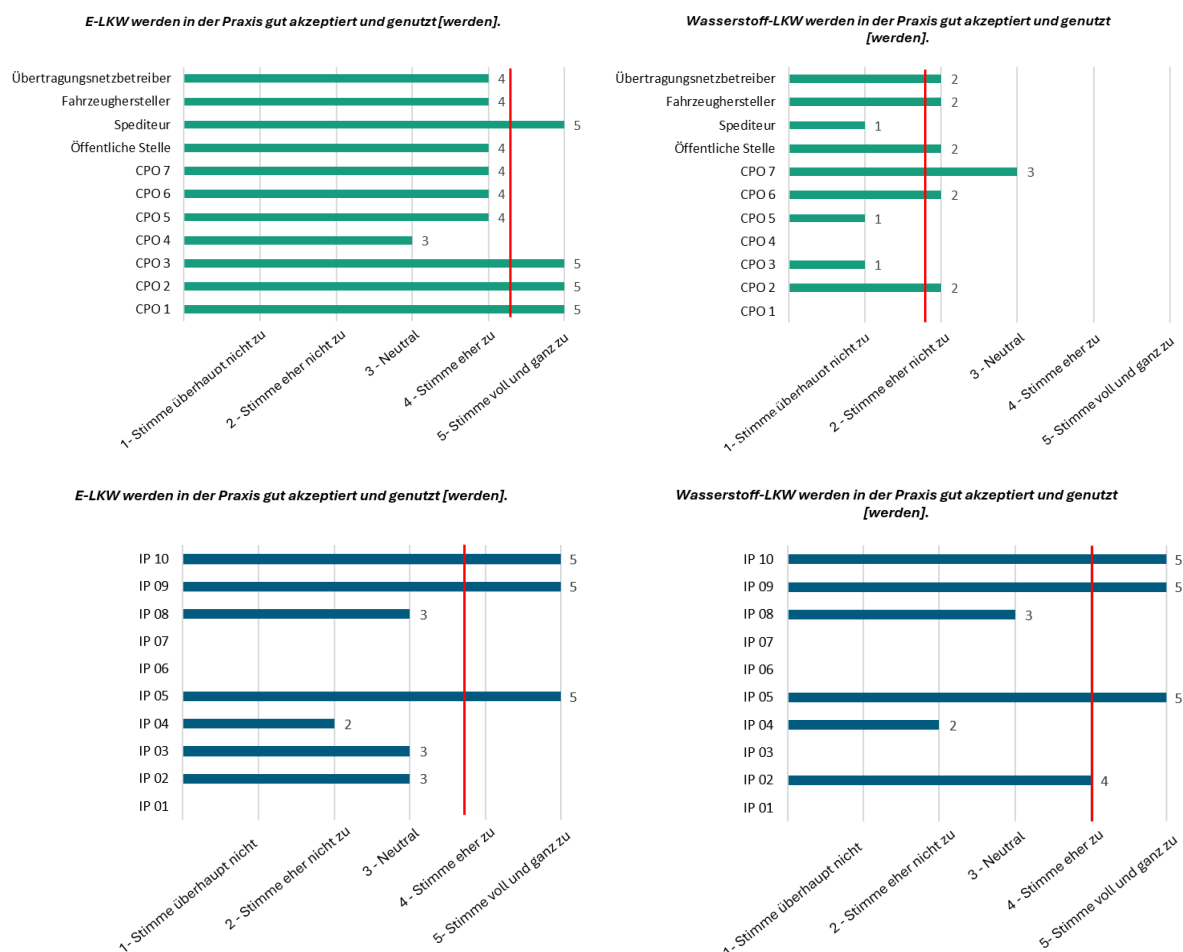
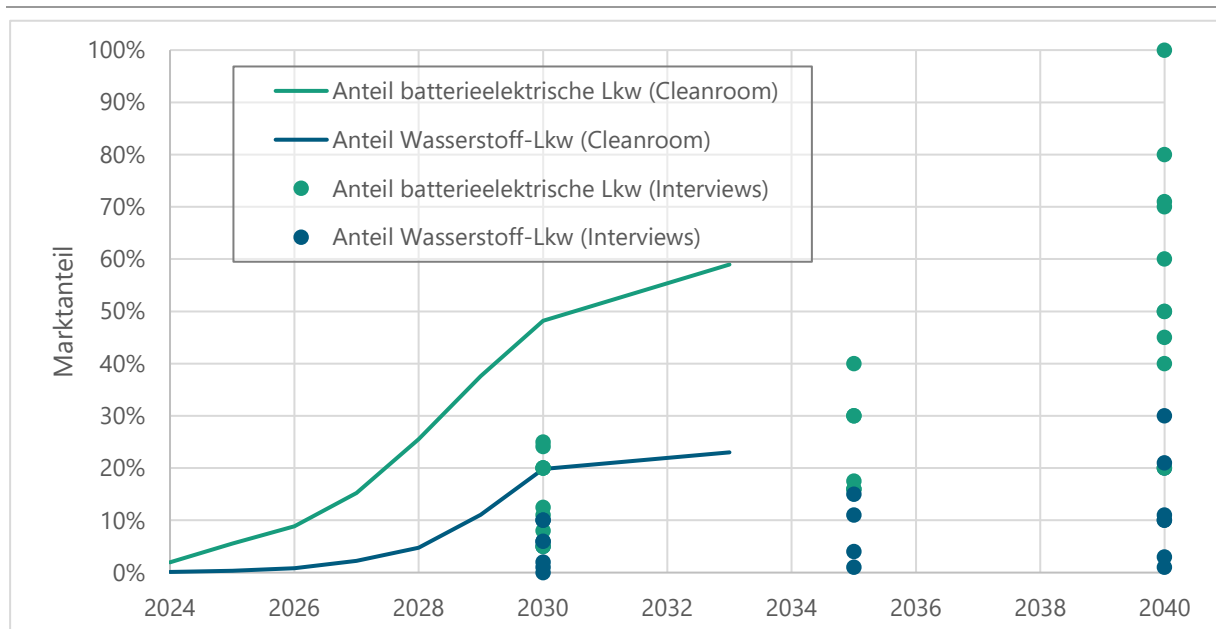


Abbildung 3 zeigt wie die Interviewpartner die zukünftige Nutzung von batterieelektrischen Lkw und Wasserstoff-Lkw einschätzen. Die Interviewten schätzen dabei die Erfolgsaussichten der ihnen vertrauten Technologie im Mittelwert (rote Linie) jeweils positiver ein. Auffallend ist die deutlich negative Einschätzung der Aussichten von Wasserstoff-LkW durch die Ladeinfrastrukturexperten.

In Bezug auf den erwarteten Markthochlauf verweisen mehrere Teilnehmende auf die Ergebnisse der Cleanroomgespräche der NOW von 2024 (NOW, 2024). Im Rahmen der Cleanroomgespräche wurden Fahrzeughersteller zur Prognose von Absatzzahlen schwerer Nutzfahrzeuge (N3/> 12 t) befragt. Andere gaben in den Interviews ihre eigene Einschätzung ab, die einen wesentlichen Anteil alternativer Antriebe bei Neuzulassungen² für Schwerverkehrsfahrzeuge 2030 im Bereich von bis zu 30 % und für 2040 von über 90 % sieht. Um den Faktor 2,5 - 3 höhere Zulassungszahlen für BET im Vergleich zu FCET werden angenommen, was sich mit den Cleanroom-Ergebnissen (bis 2033) deckt.

Abbildung 4: Erwartete Marktanteile von batterieelektrischen Lkw und Wasserstoff-Lkw aus den Cleanroomgesprächen (NOW, 2024) (Linien) sowie aus Interviews (Punkte).



Bei der Prognose der Absatzmenge an H₂ geht die Mehrzahl der Interviewpartner von einer Hochlaufkurve aus, die im Jahr 2030 80-95% Auslastung der im realen Betrieb technisch möglichen Abgabemenge erreicht. Die (erwarteten) Auslastungen heutiger (bzw. im Aufbau befindlicher HRS) variieren von kleiner 10 % bis über 60%; Letzteres insbesondere bei Busflotten als Ankerkunden.

Für die technische Maximalabgabe pro H₂-Tankstelle wurde von zwei Interviewten auf den Unterschied von theoretisch und real 'vertankbarer' H₂-Menge hingewiesen. Im realen Betrieb mit variabler Frequentierung an Fahrzeugen (je nach Standort z. B. von 6-19 Uhr hoher und von 19-6 Uhr weniger Frequentierung) wird bei weitem nicht die aus der technischen Auslegung von Verdichter und Speicher resultierende Maximalmenge erreicht. Die Anforderung der AFIR von 1t/d ist hier nicht eindeutig definiert und wird laut Interviews von den Betreibern unterschiedlich ausgelegt.

² Die Interviewten wurden nach Neuzulassungen gefragt. Dennoch ist aufgrund der Antworten nicht ausgeschlossen, dass zum Teil implizit von Beständen ausgegangen wurde. Die bestände sind bei schweren Nutzfahrzeugen um etwa fünf Jahre im Vergleich zu den Neuzulassungen verzögert.

3.2 Ladeinfrastruktur

3.2.1 Ausgestaltungsoptionen

Die Gestaltung der Lkw-Ladeparks ist, aufgrund der frühen Markphase und aktueller technischer Entwicklung, dynamisch. Die Interviewten gaben mehrheitlich an, dass das „absolute XS-Format [...] 4 x 400 KW Ladepunkte“ sei. Nur in Ausnahmefällen, beispielsweise in Kombination mit Pkw-Laden werden lediglich zwei Ladepunkte für Lkw aufgebaut. Es wurde darauf hingewiesen, dass häufig auch zusätzliche Ladepunkte vorgerüstet werden, die Stationen jedoch noch nicht aufgestellt werden. Ziel sei es teure Erdarbeiten nur einmal durchführen zu müssen und die hohen Investitionen für die eigentlichen Ladepunkte noch etwas zu verschieben. Perspektivisch sprach ein Interviewpartner von „12 LKW-fähige[n] Ladepunkte[n], die aber wirklich auch eine Gleichzeitigkeit von eins ermöglichen und dann trotzdem immer noch mit 400 KW pro Ladepunkt laden.“ Andere sprachen von „6 bis 20 Ladepunkten, dann mit Sicherheit zügig an jedem Standort mindestens ein Megawatt-Ladegerät“.

In Bezug auf das Verhältnis zwischen Megawattladen und langsamerem Laden sind die Aussagen der Interviewten uneinheitlich. Während einige eine Verteilung von „50:50“ anstreben, wiesen andere darauf hin, dass viele Anwendungen auch mit deutlich geringeren Leistungen möglich seien: „Ich glaub viele Unternehmen [...] die in Elektro-Lkw einsteigen, denken erst einmal, dass man irgendwie starke Ladesäulen braucht. Das haben wir auch gemacht und haben jetzt aber gelernt, dass das gleichzeitig teuer ist. Wir haben deshalb jetzt vor spezifisch für jede unterschiedlichen Fahrzeuge die entsprechenden Ladesäulen zu bauen. Das heißt die Sattelzugmaschinen, die im Zweischichteinsatz unterwegs sind, da brauchen wir mindestens 200 Kilowatt. [...] Die Verteilerfahrzeuge, da ist jetzt unser jüngster Ansatz, dass da eigentlich [...] ein Alpitronic Hypercharger 50 reicht.“ Teilweise brauche man eine „sehr große Anzahl von Ladepunkten [...], auch wenn die Leistung, [...], weil das Fahrzeug acht Stunden steht, nur relativ gering ist.“ Ein Interviewpartner wies in diesem Zusammenhang darauf hin, dass „einige Fahrzeuge unter 40 KW nicht mit dem Laden starten [...]“. Auch wurde darauf hingewiesen, dass viele Langsamladepunkte an öffentlichen Standorten „wahrscheinlich [...] zu kostenintensiv [...] seien und deswegen wird man wahrscheinlich ein Ladepark mit 20-30 Ladepunkten aufbauen und dann müssen die LKWS [...] rausfahren, wenn sie dann voll sind.“

In den Interviews wurde außerdem auf die Vorteile von Satellitensystemen hingewiesen, bei denen ein zentraler Wechselrichter Strom für mehrere Ladepunkte, typischerweise im Umkreis von „80-90 Metern“, zur Verfügung stellt. Vorteile seien 1) „Flexibilität“ in der Positionierung der Ladesäulen, 2) „dynamische Leistungsregelung“ zwischen den einzelnen Satelliten und 3) geringerer Platzbedarf direkt am Fahrzeug in Kombination mit erhöhtem Umfahrschutz, z. B. auch „über eine Traverse [...] oder aus dem Boden“.

Nur wenige Interviewte wollten sich zu möglichen Gleichzeitigkeitsfaktoren äußern. In einzelnen Interviews wurde darauf hingewiesen, dass der Netzanschluss im Vergleich zur Nennleistung „jetzt während des Hochlaufs unter 0,5 liegt, weil einfach noch keine Fahrzeuge da sind.“ Zukünftig werde der Gleichzeitigkeitsfaktor jedoch zwischen 0,7 und 1,0 liegen.

In einzelnen Interviews wurde auch darauf hingewiesen, dass gerade im Depotbereich „Erzeugungsleistungen [PV] [...] und Speicher [aufgebaut werden], um dann die Lkw entsprechend laden zu können und unabhängig von den Strompreisen zu werden.“

Eine gemeinsame Nutzung der Infrastruktur durch Pkw und Lkw wurde von der Mehrheit der Interviewten „aus Sicherheitsgründen“ abgelehnt. „Es gibt [jedoch] Standorte, die groß sind und da kann in einer Ecke LKW und in einer PKW sein, aber es sollte jetzt nicht integriert zueinander sein [...]; die Verkehre sind zu unterschiedlich, die Anforderungen sind zu unterschiedlich.“ Ein gemeinsamer Netzanschluss sei jedoch denkbar, falls die Nutzung dadurch nicht eingeschränkt wird.

In Bezug auf die Anordnung der Infrastruktur wurde in den Interviews teilweise auf das „Fischgrätensystem“ verwiesen, so dass man „eine Möglichkeit hat, quasi vorne herein und hinten hinauszu-fahren.“ Abkoppeln oder Rückwärtsfahren sollte vermieden werden.

Außerdem sei die „Reservierungsthematik deutlich wichtiger wird als jetzt beim PKW“. Eine mögliche Umsetzung wurde in einem Gespräch folgendermaßen beschrieben: „Ich hätte mir jetzt sowas vorgestellt wie ein Lämpchen – rot, gelb, grün – so dass man weiß [bei] gelb muss man fahren und [bei] rot ist eigentlich jetzt nur noch 2 Minuten und dann ist eigentlich der [reservierende] LKW im Anmarsch.“ Es wurde jedoch auch darauf hingewiesen, dass die Einhaltung schwierig werden könne. Eine Lösung seien „Poller [...], aber das macht es natürlich teuer, es ist sehr aufwendig, [insbesondere] die Wartung und so weiter, was damit im einhergeht.“

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Entwicklung aktuell sehr dynamisch ist. Es existieren Konzepte und erste Layouts, die jedoch zunächst in der Praxis erprobt werden müssen. Denkbare Veränderungen der Rahmenbedingungen, beispielsweise höhere Ladeleistungen oder mögliche Veränderungen der Lenkzeitregelungen, haben einen starken Einfluss auf das Design zukünftiger Ladeparks.

3.2.2 Chancen bei der Errichtung von Ladeinfrastruktur

Die Interviews erlauben einen Einblick in die Motivation der Interviewpartner hinsichtlich ihres Engagements für den Aufbau von Ladeinfrastruktur. Die wahrgenommenen Chancen beim Aufbau von Ladeinfrastruktur können dabei eine Grundlage für das Handeln der Unternehmen darstellen. Sortiert nach absteigender Häufigkeit, wurden die folgenden Themenfelder über die Interviews hinweg identifiziert: (1) Image, (2) finanzielle Vorteile, (3) Ähnlichkeiten zu Pkw, (4) Technologiereife, (5) vorhandene Infrastruktur. Die einzelnen Themenfelder werden im Folgenden kurz erläutert.

Das Themenfeld **Image** wurde insgesamt an 31 Stellen in den 11 Interviews angesprochen und wurde damit am häufigsten genannt. Die Interviewten sind dabei von den Vorteilen der elektrischen Lkws überzeugt und berichten beispielsweise von „Chatnachrichten mit Lkw-Fahrern, die [sich] freuen, [weil] es leise [und] ruhig [ist].“ Auch bei „Beschleunigung haben [die Lkw] sicherlich Vorteile.“ Auch aus Anwonerperspektive führen die Fahrzeuge zu „weniger Lärmbelastung [...] weniger Emissionen.“ Aus Speditionsperspektive sei es insgesamt „eine Imagesache, die einem gut ansteht.“ Auch wenn die Entscheidung für oder gegen elektrische Lkw letztlich kostenbasiert sei, sehen die Interviewten, dass „die Akzeptanz dafür vorhanden ist.“ Auch von Kunden besteht „der Wunsch nach nachhaltigen Transportabwicklungen.“ Im Extremfall können Spediteure an „Ausschreibung und Tendern nicht mehr teilnehmen [...], weil ESG-Kriterien von Endkundenseite gesetzt werden.“

Finanzielle Vorteile wurden in 10 von 11 Interviews angesprochen. Diese sind zum Teil auf technische Merkmale des Elektroantriebs zurückzuführen. So führe die Rekuperation beispielsweise dazu, dass auf hügeligen Strecken „wo ein Fahrzeug zum Teil 60 oder 70 Prozent mehr Dieselverbrauch hat, [...] der Elektro-Lkw nur [...] 20 Prozent Mehrverbrauch hat.“ Auch regulatorische Maßnahmen, wie beispielsweise „steigende CO₂-Preise und Maut“ unterstützen die Wirtschaftlichkeit der Fahrzeuge. Auch wenn Kunden in der Regel nicht bereit seien „die zumindest teilweise höheren Kosten zu tragen, bekommen [Speditionen] auch immer mehr wirtschaftliche Einsätze mit den Elektro-Lkw hin.“ Aus Perspektive der Ladeinfrastrukturbetreiber ist die pro Fahrzeug abgegebene hohe Energiemenge, im Vergleich zum Pkw, attraktiv: „Die Energiemenge [des Pkw] sind so klein, da möchte [man] auf jeden Fall die Lkw-Energiemenge haben.“ „Das Volumen, dass Lkw einfach tanken [...] [sei] sehr attraktiv.“

Ähnlichkeiten zum Pkw-Laden stellen ebenfalls eine Chance dar, da vorhandene Erfahrung genutzt werden kann. Dieser Aspekt wurde in rund der Hälfte aller Interviews angesprochen. So seien Ladeinfrastrukturbetreiber „sehr fokussiert auf DC Ladeinfrastruktur für Pkw [gewesen] und [haben]

natürlich jetzt auch das Themenfeld der Ladeinfrastruktur für Lkw in den Fokus genommen.“ Man sammle Erfahrungen und prüfe, „was man auch an Know-how schon aus dem Pkw-Bereich übernehmen kann.“ Ladeinfrastrukturbetreiber wiesen außerdem darauf hin, dass sie „alle [ihre] Ladeparks prüfen lassen, ob man dort mit Lkw einfahren kann.“ Dies sei „im Übergang völlig nachvollziehbar“, auch wenn die meisten Infrastrukturbetreiber langfristig von getrennten Infrastrukturen ausgehen.

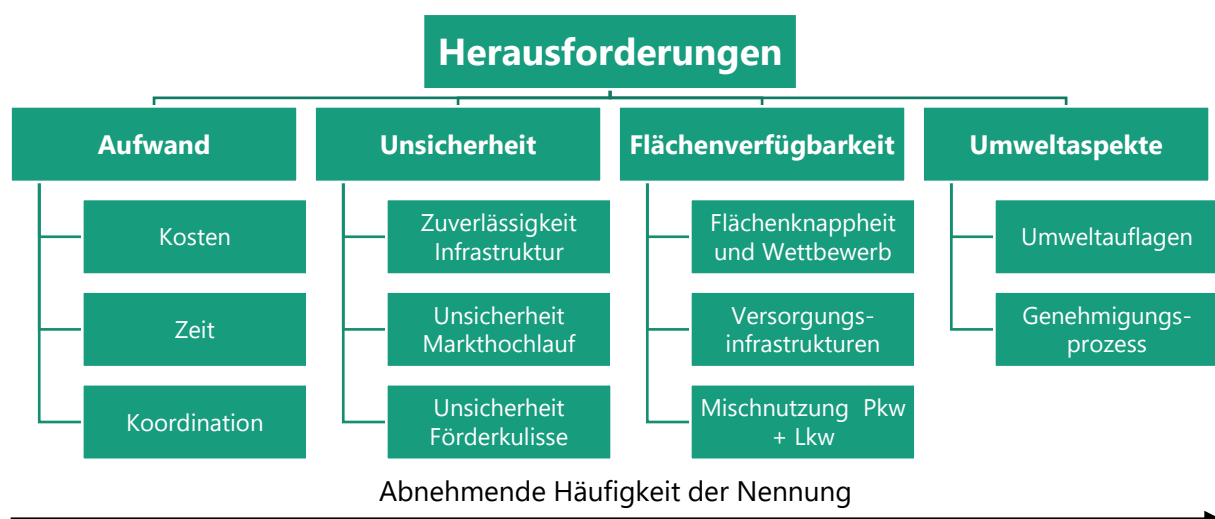
Auch die **Technologiereife** wurde in rund der Hälfte der Interviews als positiver Aspekt genannt. „Die meisten [Speditionen] werden feststellen, dass sie mit ihren E-Lkw sehr weit kommen und [...] die Technologiereife dort schon viel höher ist. [...] Bis Wasserstoff so verfügbar ist, wird man wahrscheinlich bei E-Lkw bleiben. Wenn dann, als Beispiel, der E-Lkw 850 km fährt, [...] dann habe ich keinen Bedarf mehr für Wasserstoff.“ Weitere Technologieschritte werden erwartet, so gehen Interviewteilnehmer beispielsweise davon aus, dass „die Kapazitäten zusätzlich zunehmen werden, wenn sich die Zelltechnologie noch mal verändern wird.“ Ein Ladeinfrastrukturbetreiber betonte, dass er davon ausgeht, dass sich „diese Technologie auch ohne [...] Sperenzen [Fördermittel, Förderkulisse, Subventionen] durchsetzen muss, [...] nämlich aus wirtschaftlichen Kriterien.“ Hilfreich ist für die Infrastrukturbetreiber auch, dass es bereits eine feste Nachfrage gibt, dass beispielsweise für einzelne Standorte bereits bekannt ist, „wie [sie] diese auslasten können, [z. B.] mit auf jeden Fall vier Lkw am Tag.“

Von weniger als der Hälfte der Interviewten wurde auf bereits **vorhandene Infrastruktur** hingewiesen. Ein Beispiel stellt „ein Netzanschluss, der geteilt wird – also der gemeinsam genutzt wird [...] von Pkw und Lkw –“ dar. Ähnlich vorteilhafte Situationen können auftreten, wenn „Altbestände an Leitungen, Transformatoren et cetera“ bereits vorhanden sind. Dies kann beispielsweise an Standorten der Fall sein, die bereits eine hohe Nachfrage haben, beispielsweise Binnenhäfen oder Kühllhäuser.

3.2.3 Herausforderungen bei der Errichtung von Ladeinfrastruktur

Neben den in Abschnitt 3.2.2 genannten Chancen berichteten die Interviewten auch von Herausforderungen bei der Errichtung von Ladeinfrastruktur. Diese lassen sich, wiederum in absteigender Reihenfolge, vier Themenfeldern zuordnen: (1) Aufwand, (2) Unsicherheit, (3) Flächenverfügbarkeit, (4) Umweltaspekte. Im Folgenden wird kurz auf die einzelnen Themenfelder eingegangen. Abbildung 5 zeigt eine Übersicht der einzelnen Kategorien, die anschließend erläutert werden.

Abbildung 5: Herausforderungen bei der Errichtung von Ladeinfrastruktur für Lkw



Der **Aufwand**, der mit der Errichtung von Ladeinfrastruktur einhergeht, wurde in den Interviews an 137 Stellen angesprochen und ist damit die am häufigsten genannte Herausforderung.

Als zentraler Aspekt wurde dabei der finanzielle Aufwand – die Kosten – genannt. Logistiker seien *„bei der Infrastruktur sehr zurückhaltend [...], einfach weil sie merken ‚es ist ein riesiger Kostenfaktor und zum anderen fremd für sie‘ [...]“*. Insbesondere spielt an dieser Stelle nicht nur die Ladeinfrastruktur selbst eine Rolle, sondern auch Tiefbau, der Netzanschluss, der Baukostenzuschuss für das vorgelagerte Stromnetz sowie gegebenenfalls für Serviceeinrichtungen, beispielsweise Toiletten. *„Die Mehrkosten, die entstehen, muss der Endkunde bereit sein zu bezahlen.“* Allerdings wurde in den Interviews auch darauf hingewiesen, dass die *„Kostenperspektive [...] für jedes Unternehmen einzeln zu bewerten [sei], aber [...] grundsätzlich eine gute Perspektive [habe].“*

Als zweiter Aspekt spielt auch der zeitliche Aufwand eine relevante Rolle. So wurde beispielsweise in einem Interview darauf hingewiesen, dass *„[...] ein Trafo aktuell eine Lieferdauer von einem Jahr oder so [habe]“*. *„Der Netzanschluss [sei] aktuell der Flaschenhals.“* Aber auch Planung, Wettbewerbsanalyse, Bodengutachten und Flächenbeschaffung können den Bau verzögern, so dass Realisierungszeiten zwischen einigen Monaten bis hin zu Jahren möglich sind. In Bezug auf die Genehmigung öffentlicher Ladeparks fasst ein Teilnehmer die Situation zusammen: *„Wir kriegen immer eine Baugenehmigung, nur der Weg dahin ist halt viel zu lang“*.

Dies geht einher mit einem dritten Aspekt, dem koordinativen Aufwand, der beispielsweise Flächenbesitzer, den Infrastrukturbetreiber, den Lokalnetzbetreiber, Bauunternehmen sowie Behörden umfasst. In diesem Zusammenhang wurde mangelnde Standardisierung mehrfach angesprochen. Die *„Zerklüftetheit der energiewirtschaftlichen Landschaft“* benötige *„Harmonisierung und Standardisierung“*. So unterscheiden sich beispielsweise die Anforderungen und technischen Anschlussbedingungen, je nach Netzbetreiber, deutlich. Auch mangelnde Digitalisierung, beispielsweise ein fehlendes *„Ticketsystem für Anfragen im Netzbereich“* wurde bemängelt. Ähnlich wurde die Situation in der Kommunikation mit Behörden beschrieben, *„wenn einzelnen Behörden, auf einmal nachfragen haben, die dann auf einmal sehr detailliert werden und das irgendwo in dem [gesamten] Prozess“*. Die Nutzung staatlicher Förderung sei außerdem mit *„Mehraufwand in der Beantragung, Reporting, regelmäßige Berichterstattung“* verbunden.

Die Interviewten wiesen darauf hin, dass Ladeinfrastruktur aktuell in einem Umfeld der **Unsicherheit** errichtet werden muss. Insgesamt wurde Unsicherheit an 73 Stellen in den Interviews angesprochen. Dabei wurden drei zentrale Bereiche adressiert: (1) die Zuverlässigkeit der Infrastruktur, (2) die Unsicherheit beim Markthochlauf von elektrischen Lkw sowie (3) die Unsicherheit der Förderkulisse. So wurde beispielsweise darauf hingewiesen, dass *„[...] die öffentliche Ladeinfrastruktur immer noch eine Enttäuschung oder jedenfalls nichts, auf das man sich verlassen könnte [sei]“*. Zur Zuverlässigkeit zähle dabei *„nicht nur das der Ladepunkt nicht abbricht, sondern dass man eben auch verlässlich freie Ladepunkte findet“*. In diesem Zusammenhang wurde auch auf eine gewünschte Reservierbarkeit der Ladepunkte hingewiesen.

Gleichzeitig spielt aus Infrastrukturbetreibersicht der erwartete Markthochlauf eine zentrale Rolle beim weiteren Ausbau der Ladeinfrastruktur: *„[...] Man steht quasi bei null und geht davon aus, dass es ganz schnell hoch geht. [...] Wir gehen davon alle stark aus, aber dieses Auslastungsrisiko ist schon eine große Sache die [...] bei der Entwicklung von solchen Projekten eine Rolle spielt.“* In einem weiteren Interview wurde beispielsweise darauf hingewiesen, dass, *„wenn man eine Fläche 20 Jahre lang mietet [...] und dann auch [...] relativ spät Nachfrage kommt, dann wird das dann irgendwie schon kompliziert“*.

In einigen Interviews wurde darauf hingewiesen, dass Förderprogramme prinzipiell die Unsicherheit reduzieren könnten: *„Viele [...] Speditionen können das einfach nicht, weil sie nicht so viel Geld angehäuft haben, um das ausgeben zu können. Was ich jetzt gelernt hab, da ist einfach nicht genügend Geld vorhanden, um so viel in Ladeinfrastruktur zu investieren. [...] Das betrifft jetzt gerade die kleineren, die aber in Deutschland sehr häufig sind.“* Gleichzeitig tragen die Förderprogramme jedoch

ebenfalls zur Unsicherheit bei: [...] *Sinnvoll wäre, eine langfristige Klarheit zu haben. [...] Das heißt nicht nur diese Brotkrumen-Förderprogramme - so jetzt habt ihr gerade mal was, macht schnell und dann ist wieder jahrelang nichts.* Einzelne Interviewten gingen sogar davon aus, dass ein vollständiger Verzicht auf Förderung sinnvoll sei: *„Fördermittel, Subventionen et cetera habe ich eine ganz klare Meinung dazu, dass sich diese Technologie auch ohne [...] durchsetzen muss“.*

Flächenverfügbarkeit stellt eine weitere Herausforderung beim Aufbau von Ladeinfrastruktur dar und wurde insgesamt an 53 Stellen durch die Interviewten angesprochen. Es lassen sich drei zentrale Aspekte identifizieren: (1) Flächenknappheit – auch in Verbindung mit der Wettbewerbssituation, (2) Versorgungsinfrastrukturen und (3) die Mischnutzung von Flächen durch Pkw und Lkw. Die Interviewten wiesen darauf hin, dass *„[Lkw-] Parkplätze überfüllt sind“* und der Aufbau von Ladeinfrastruktur entsprechend schwierig sei. Dabei spielten auch die, im Vergleich zum Pkw, höheren Anforderungen an *„Schleppkurven und die Anfahrbarkeit der Stationen“* sowie den *„Netzanschluss“* eine entscheidende Rolle. Auch die Größe der benötigten Flächen, die Interviewten sprachen häufig von 2.500 m² bis 5.000 m², stelle eine Herausforderung dar. Flächen dieser Größe müsse man *„erst einmal finden, wo auch LKWs hinkommen und die [...] als Standort [attraktiv seien]“*. Insgesamt sei die Fläche *„[...] in Teilen eine Geldfrage. Also wenn man bereit ist hohe Preise zahlen, wird man Flächen bekommen.“* Gesucht werde ein *„Flächenpreis, der noch halbwegs verträglich ist.“* Außerdem *„[mache es] ja keinen Sinn, Grundstück zu kaufen unmittelbar und im direkten Wettbewerb zu einen Lkw-Ladepark der schon besteht; dann hat man sofort eine Konkurrenzsituation.“* Die Interviewten wiesen auch darauf hin, dass die Flächenakquise in Deutschland sehr aufwendig sei: *„Da telefoniert man mal 20 durch, bis Sie dann die richtige Ansprechperson haben.“* Im Vergleich zu anderen Ländern wurde beispielsweise darauf hingewiesen, dass *„Skandinavien, [...] was Flächenverfügbarkeit angeht, gut ausgestattet ist“* und *„Frankreich, natürlich extrem zentralistisch organisiert [sei], also sowohl was das Thema Netzanschluss als auch das Thema Genehmigung [betrifft]. Der Prozess ist bestimmt ein halbes Jahr schneller in Frankreich, also im Schnitt, wenn wir Netzanschluss und Genehmigung zusammennehmen.“* Zusammenfassend kann man sagen, dass die Kombination aus hohem Platzbedarf, begrenzter Flächenverfügbarkeit, hohen Kosten und langwierigen Genehmigungsverfahren die Flächenakquise zu einem zentralen Engpass beim Ausbau der Ladeinfrastruktur für E-Lkw macht.

Einen weiteren Aspekt, über die reine Flächenverfügbarkeit hinaus, stellt der Bedarf an Versorgungsinfrastrukturen dar. Eventuell bereits vorhandene Infrastrukturen, beispielsweise Toiletten und Gastronomie, begünstigen den Aufbau von Ladeinfrastruktur. Falls entsprechende Infrastrukturen allerdings nicht zur Verfügung stehen, gaben mehrere Interviewte an, dass sie dann *„Duschen und das WC“* aufbauen und betreiben.

Einzelne Interviewte gaben an, dass die Kombination von Pkw- und Lkw-Laden möglich sei und *„Abwärtskompatibilität immer gewährleistet“* sei. Als Vorteil nannten sie zusätzliche Erlöse sowie eine insgesamt höhere Auslastung der Netzanschlüsse. Die Mehrheit lehnte eine Mischnutzung jedoch ab und nannte sie als zusätzlichen Aspekt, der die Flächenverfügbarkeit weiter verschärfe. Parkflächen, die primär für Pkw gemacht sind, seien *„von der Grundfläche zu klein.“* Aus einer Sicherheitsperspektive heraus, dürfe es nicht passieren, *„dass die Parkfläche zwischen Pkws und Lkws überlappt.“* Außerdem seien *„die Energiemengen [von Lkw] viel höher“*. Zusammenfassend gab die Mehrheit der Interviewten an, dass eventuelle zusätzliche Erlöse durch Pkw den aus Sicherheitsaspekten resultierenden zusätzlichen Flächenaufwand nicht rechtfertigen.

Als viertes Themenfeld im Kontext der Herausforderungen wurden **Umweltaspekte** genannt. Mit 17 Nennungen handelt es sich um das am seltenste angesprochene Themenfeld. Angesprochen wurden hier beispielsweise Bodengutachten sowie Artenschutzprüfungen. Die Interviewten nannten dabei jedoch weniger eventuelle Umweltauflagen selbst als Problem, als vielmehr die unterschiedliche Handhabung sowie die Dauer der entsprechenden Prüfungen. Ein Interviewter erklärte, dass sie *„[...] immer eine Baugenehmigung [bekämen], nur der Weg dahin [sei] viel zu lang.“* Teilweise

würden die Infrastrukturbetreiber „*lieber proaktiv, prophylaktisch*“ Maßnahmen ergreifen als die entsprechenden Artenschutzprüfungen abzuwarten. Auch sei der Detailgrad von Vorhaben zu Vorhaben sehr unterschiedlich. Einige Behörden hätten – beispielsweise in Bezug auf Lärmemissionen, Kühlmittel oder Entwässerung – „*nur sehr oberflächliche Fragen*“. In anderen Fällen seien detaillierte Prüfungen notwendig. Dies verkompliziere die Planung des Bauprozesses.

3.2.4 Effektive Maßnahmen zur Risikoreduktion

Im Rahmen der Interviews wurden Maßnahmen erfragt, die das Risiko der in Abschnitt 3.2.3 beschriebenen Herausforderungen reduzieren. In absteigender Reihenfolge wurden die folgenden sieben Themenfelder in den Interviews genannt: (1) Standortfaktoren, (2) Standortgestaltung, (3) Vorausplanung, (4) Flexibilität, (5) Expertise, (6) Kooperation und (7) teilöffentliche Infrastruktur.

Standortfaktoren wurden in den Interviews insgesamt an 87 Stellen genannt. Eine zentrale Rolle spielt dabei „[...] *wie hoch das Verkehrsaufkommen ist.*“ Besonders interessant seien Standorte „[...] *in der Nähe von Autobahnen oder zentralen Knoten*“, die eine hohe Auslastung durch langlaufende beziehungsweise internationale Verkehre ermöglichen. Einige Interviewpartner gaben an, dass sie auch gezielt „*in die Gewerbegebiete oder Industriegebiete [gehen] und gucken [...] wie viele Logistiker da wären, die den gleichen Bedarf haben.*“ Diese Standorte seien interessant, falls der „*Bedarf mehrerer Logistikunternehmen konsolidiert*“ werden könne, die dann als Ankerkunden dienen. Besonders interessant sei „[...] *ein Industriegebiet, was eine gute Anbindung an eine Autobahn hat.*“ Die Interviewten gaben außerdem an, dass attraktive Standorte gleichzeitig innerhalb der „*Schmerzgrenze sind, was [sie] für die Fläche bezahlen*“ möchten. Die Attraktivität eines Standortes werde außerdem dadurch erhöht, dass Gastronomie und Versorgungsinfrastrukturen sowie Toiletten bereits vorhanden sind. Falls entsprechende Infrastruktur vorhanden ist, „*dann müssen es [die Infrastrukturbetreiber] nicht machen.*“

Der Aspekt der vorhandenen Infrastruktur leitet über zum Themenfeld **Standortgestaltung**, das insgesamt an 81 Stellen angesprochen wurde. Eine geeignete Versorgungsinfrastruktur – Restaurants, Getränkeversorgung, sanitäre Anlagen (WC + Dusche) – steigere die Attraktivität der Standorte. Einzelne Interviewte wiesen daher darauf hin, dass sie „*ohne das [...] typischerweise keine Übernachteladepplätze [bauen].*“ In Bezug auf die Gestaltung der einzelnen Ladeplätze wurde darauf hingewiesen, dass das „*Durchfahrtsmodell, was vermutlich ein bisschen platzsparender ist, [...]*“ in Kombination mit einem „*Fischgrätensystem*“ zu bevorzugen sei. In mehreren Interviews wurde auch darauf hingewiesen, dass Lkw prinzipiell eine flexible Last seien: „*Wir wissen, dass natürlich ein LKW zu laden hat in der Zeit, in der er steht und dann auch voll sein muss [...]. Trotzdem glauben wir daran, dass man dort Lastflexibilität hat.*“ In einem anderen Interview wurde entsprechend berichtet, dass „*wir dringend ein Lastmanagementsystem brauchen, weil wenn alle Ladezeugen gleichzeitig Leistung ziehen, dann wird eben die Netzanschlussleistung überschritten.*“ Ein Interviewter wies darauf hin, dass sie „*die Systeme mit dezentrale Leistungseinheit gerne modular auf[bauen], bedeutet, dass die einzelnen Ladesäulen oder einzelnen Satelliten auch unterschiedliche Leistungsklassen abrufen können.*“

Der modulare Aufbau von Ladeinfrastruktur unterstützt auch einen wesentlichen Gedanken des Themenfeldes **Vorausplanung**, das an 57 Stellen genannt wurde. Skalierbarkeit – „*modulare Ladestation, die erweitert werden kann*“ – bietet den Vorteil, dass der Aufbau „*bedarfsorientiert*“ gestaltet werden kann. Es sei jedoch wichtig Skalierbarkeit von Anfang an in der Planung zu berücksichtigen, um zu verhindern „[...] *für jeden neuen E-Lkw wieder Tiefbauarbeiten neu zu bestellen.*“ Man sollte sich „[...] *schon frühzeitig um ein Modell kümmern, das einfach skalierbar ist.*“ Eine weitere Empfehlung im Rahmen der Vorausplanung betrifft die Wettbewerbsanalyse, da es häufig „[...] *keinen Sinn [macht] ein Grundstück zu kaufen bei dem schon ein Ladepark steht.*“ Grundlage aller Entscheidungen im Planungsprozess sollte jedoch eine Bottom-up Kalkulation sein: „*Was kostet der*

Netzanschluss? Was kostet die Kilowattstunde? Was sind [...] interne Personalkosten? [...] Was ist der Einkauf? [...] Trafo, Ladestation, Betrieb: Das bestimmt am Ende den Preis. Darunter kann man nicht wirtschaften.“ In verschiedenen Interviews wurde außerdem darauf hingewiesen, dass es sinnvoll sei, relevante Stakeholder – zum Beispiel den Netzbetreiber, Behörden sowie den Bürgermeister – frühzeitig einzubinden, „[...] also vor Ort zu sein“. Damit könne man „[...] frühzeitig erkennen, wenn es irgendwie Probleme gibt [...] und dagegen steuern, indem man da auch wieder ins Gespräch geht.“

Als weitere Maßnahme zur Risikoreduktion wurde eine möglichst hohe **Flexibilität** der Infrastruktur an insgesamt 29 Stellen genannt. Die Flexibilität ist verbunden mit der bereits angesprochenen Standortwahl, „[...] so werden die Grundstücke üblicherweise, wenn es funktioniert, gekauft, dass es [...] Erweiterungsoptionen gibt [...]“. Beliebte sind auch Satellitensysteme, da sie den Ladepunktbetreibern die Flexibilität geben „[...] dass [sie] in einem größeren Radius Satelliten aufstellen können, also bis zu 80-90 Meter.“ Häufig wird auch eine „modulare Ladestation, die erweitert werden kann“ verwendet. Dies ermöglicht die Verstärkung der Ladestation sowie eine modulare Reparatur. Über die Hardware hinaus setzt sich der Flexibilitätsanspruch in der Betriebsführung fort. So wiesen mehrere Interviewte darauf hin, dass sie sich damit beschäftigen, wie sie „[...] den Endkunden aktiv ins Energienetz integrieren können. Dabei geht es immer um die Hebung von Stromflexibilität, also Lastverschiebung oder eben auch bidirektionales Laden [...]“. Lastverschiebung zwischen einzelnen Lkw kann helfen einen (limitierenden) Netzanschluss optimal auszunutzen: „[...] Obwohl wir wissen, dass natürlich ein LKW zu laden hat in der Zeit, wo er steht und dann auch voll sein muss [...], [glauben wir trotzdem daran], dass man dort Lastflexibilität hat.“

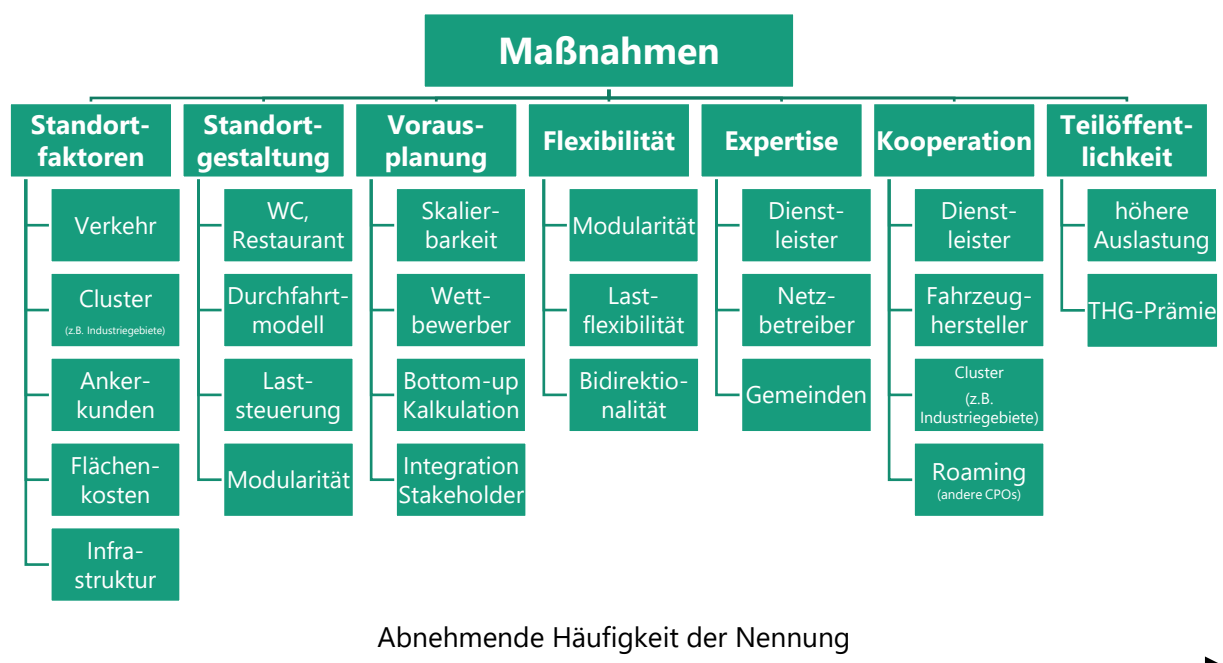
An insgesamt 24 Stellen wurde die **Expertise** angesprochen, die bei allen Projektbeteiligten möglichst vorhanden sein sollte. Das betrifft beispielsweise Dienstleister, die die Bauarbeiten umsetzen: „[...] Wenn die technische Seite geklärt ist, dann geht das eigentlich relativ schnell. Obwohl das Großbaustellen sind, [sind] inzwischen viele Dienstleister am Markt [...], die sehr professionell solche Themen abwickeln.“ Verschiedene Dienstleister unterstützten jedoch bereits vor dem eigentlichen Bau, zum Beispiel indem der Dienstleister ein „[...] Entscheidungstool entwickelt, wo man einen Standort aufbaut oder auch nicht.“ Auch im Betrieb spielen erfahrene Dienstleister eine Rolle, beispielsweise als „Zahlungsdienstleister“ oder bei der „Bewirtschaftung“ der Anlagen. Auch bei Netzbetreibern und Gemeinden ist Erfahrung sinnvoll. So wurde in mehreren Interviews darauf hingewiesen, dass der „Engpassfaktor [...] in solchen Fällen fast immer die zuständige Netzgesellschaft [ist].“ Während große Netzbetreiber entsprechende Anfragen in der Regel mit Erfahrung lösungsorientiert umsetzen, stellen Ladeparks für kleinere Stadtwerke häufig eine Anfrage dar, wie sie „nur alle fünf bis zehn Jahre“ vorkommt. Ähnlich stellt sich die Situation beispielsweise bei Baugenehmigungen dar. Besonders effizient seien „Expertenteams bei Netzbetreibern und Genehmigungsbehörden“, die sich schwerpunktmäßig mit Ladeinfrastruktur beschäftigen.

Kooperationen wurden an 22 Stellen durch die Interviewten angesprochen. Dies betrifft zunächst das Auslagern von Tätigkeiten außerhalb des Kerngeschäfts eines Ladeinfrastrukturbetreibers, beispielsweise das Bauen, die Versorgungsinfrastruktur (WC, Dusche, Gaststätte) oder die bereits genannte Zahlungsabwicklung. In den Interviews wurde jedoch auch darauf hingewiesen, dass die Infrastrukturbetreiber auch „zusammen mit den OEMS [den Lkw-Herstellern] beim Kunden“ auftreten, um dessen Wünsche bestmöglich abzudecken. Im Idealfall ergeben sich „Interessengemeinschaften in einem Gewerbegebiet [...] zusammen einen Park [zu bauen].“ Die einzelnen Speditionen dienen dann als Ankerkunden und machen den Park für den Ladeinfrastrukturbetreiber attraktiver. Nicht zuletzt seien auch Kooperationen zwischen den einzelnen Ladeinfrastrukturbetreibern notwendig, da die Kunden teilweise deutschlandweit unterwegs seien: Es „[...] brauche entsprechend intelligente Roaming Kooperationen mit anderen Partnern, wo [man selbst] keine Standorte [hat]“.

Die Mehrheit der Interviewten betont, dass „Depotladen [...] extrem entscheidend“ sein wird. Gleichzeitig wurde jedoch in mehreren Interviews, an insgesamt zwölf Stellen, auf die Chancen

teilöffentlicher Ladeinfrastruktur eingegangen. Wenn es gelingt „die doch gehörigen Investments dadurch besser auszulasten, dass [...] eine Drittvermarktung [...] an externe Dritte“ ermöglicht wird, so führe dies zu einer Reduktion der Infrastrukturkosten. Die Zielsetzung sei es „[...] infrastrukturelle Kosten besser aufzuteilen [...]“ und gleichzeitig eine „[...] zeitplanbasierte Zugänglichkeit sicherzustellen“. In diesem Zusammenhang wurde auch darauf hingewiesen, „dass es einen gewissen Sinn macht, die Ladeinfrastruktur in den Depots als öffentlich zu deklarieren, allein, um von den Treibhausgasprämien zu profitieren.“ Im Gegensatz zu privater Infrastruktur kann die an öffentlichen Ladesäulen geladene Strommenge im Rahmen des Treibhausgas-Quotenhandels geltend gemacht und vergütet werden.

Abbildung 6: Maßnahmen zur Risikoreduktion bei der Errichtung von Ladeinfrastruktur für Lkw



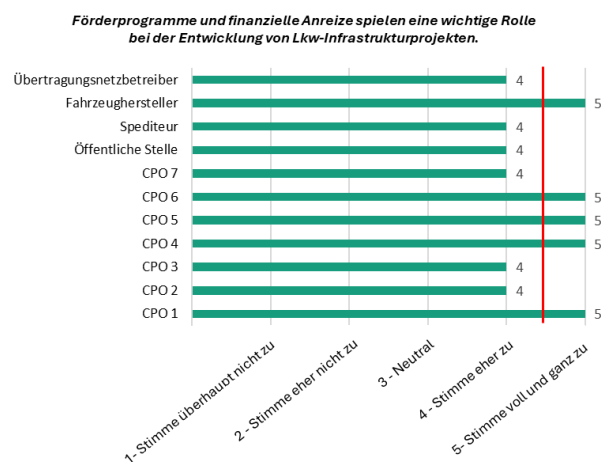
3.2.5 Einordnung der aktuellen Situation

Ergänzend zur qualitativen Befragung und Auswertung wurden die Interviewten auch aufgefordert die Wichtigkeit von Förderprogrammen, politischer Unterstützung in Baden-Württemberg, Behörden, technischen Rahmenbedingungen sowie wirtschaftlichen Rahmenbedingungen in Bezug auf den Aufbau von Ladeinfrastruktur auf einer Skala von eins („Stimme überhaupt nicht zu“) bis fünf („Stimme voll und ganz zu“) einzuordnen. Die wörtlichen Fragen finden sich in Anhang A.1 im Interviewleitfaden. Die Ergebnisse der quantitativen Befragung sowie jeweils eine kurze Einordnung werden im Folgenden dargestellt.

Förderprogramme werden von allen Interviewpartnern als relevant für die Umsetzung von Infrastrukturprojekten eingeschätzt. Alle Befragten stimmt dieser Aussage voll und ganz oder eher zu. Abbildung 7 stellt die Ergebnisse der Befragung dar. Allerdings wurden Förderprogramme nicht als entscheidendes Kriterium für Infrastrukturprojekte angesehen: „Das ist viel Geld, wenn man sich allerdings Investitionen von mehr als 2 bis 7 Mio. Euro anschaut, dann ist für uns dieser Aufwand die 75 Tsd. Euro zu erlangen, wesentlich höher als einfach zu sagen wir machen das nicht“ Andererseits wurde die Bedeutung von Förderungen, insbesondere für kleinere Unternehmen, hervorgehoben: „Am Anfang von jeder neuen Technologie muss Geld extern rein, um den Markt zum Laufen zu

bringen.“ Der Wunsch nach geringerem administrativem Aufwand wurde mehrmals geäußert, auch wenn es mit einer geringeren Förderhöhe verbunden wäre: „Der Grund ist, dass es für uns eben auch einiges an Mehraufwand in der Beantragung, Reporting, regelmäßige Berichterstattung bedeutet und entsprechend bei uns zu Mehrkosten führt“.

Abbildung 7: Bewertung der Relevanz von Förderprogrammen und finanziellen Anreizen für E-Lkw Infrastrukturprojekte

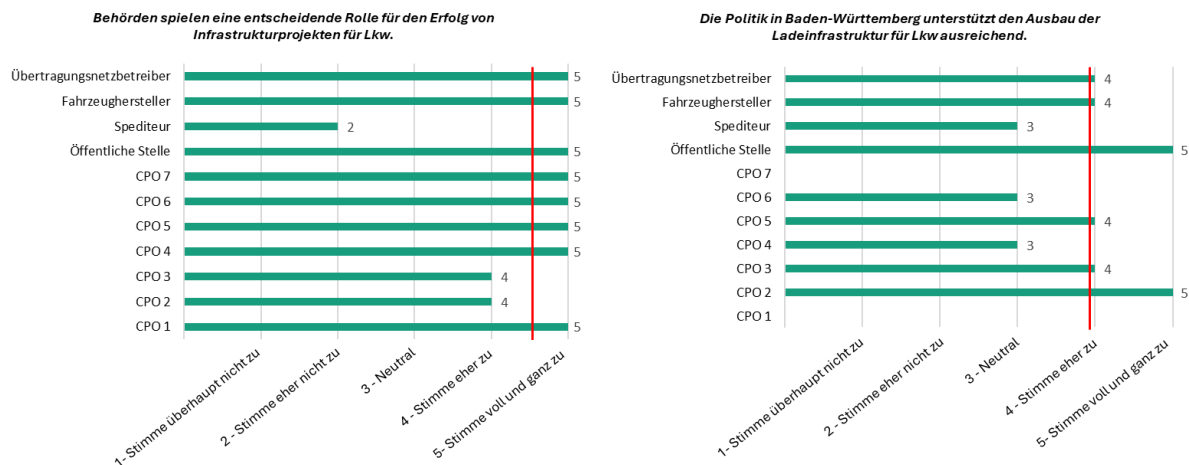


Die meisten Befragten sind sich einig, dass **Behörden** eine relevante Rolle beim Ausbau der Ladeinfrastruktur spielen. Ein Spediteur stimmt der Aussage eher nicht zu. Zur Einordnung gab er an, dass es *“bei den Projekten, die [sie] jetzt umgesetzt haben [...] keine Komplikation [gab]. [...] Das ist bei anderen Projekten schon deutlich wichtiger“*. Andere betonten zwar die Bedeutung der Behörden im Hinblick auf Flächenbereitstellung in Städten und Gemeinden sowie Genehmigungsdauern, wiesen jedoch gleichzeitig darauf hin, dass andere Akteure für den Erfolg des Infrastrukturausbaus eine noch wichtigere Rolle einnehmen.

Die wahrgenommene **politische Unterstützung in Baden-Württemberg** zeigt deutliche Unterschiede zwischen den Befragten. Mehrere Befragte betonten die Rolle der Politik bei der Beschleunigung der Markteinführung von E-Lkw. Im Vergleich zu anderen Bundesländern, wird Baden-Württemberg mit überdurchschnittlich hoher politischer Unterstützung wahrgenommen (*“Unterstützen sogar am stärksten.“*). Andere Befragte äußerten sich neutral. Ein häufig genannter Kritikpunkt betrifft die Fördermittel, die oft unter dem tatsächlichen Finanzierungsbedarf lägen: *“Die Ladepunktförderungssummen sind deutlich geringer, als man sie eigentlich bräuchte.“*

Abbildung 8 zeigt jeweils die Einschätzungen zur Relevanz von Behörden und der politischen Unterstützung in Baden-Württemberg.

Abbildung 8: Bewertung von Behörden (links) und der politischen Unterstützung in Baden-Württemberg (rechts) im Hinblick auf E-Lkw Infrastrukturprojekte

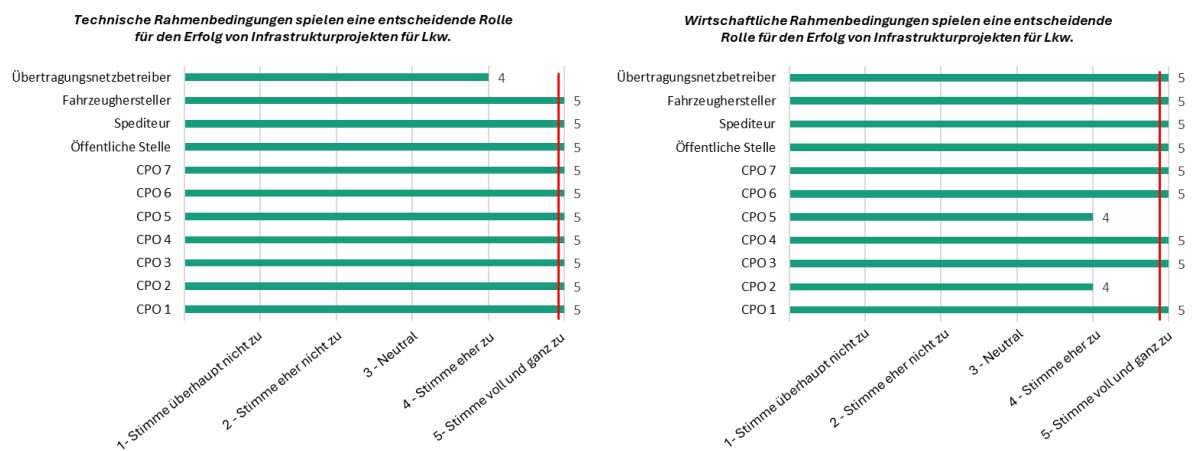


Die Interviewpartner sind sich einig, dass **technische Rahmenbedingungen** als Grundlage für Infrastrukturprojekte unerlässlich sind. Auffällig ist insbesondere die Vielfalt an individuellen Schwerpunkten, die von den Befragten gesetzt wurden. So richtete der Ansprechpartner der Fahrzeugherstellung den Fokus insbesondere auf den Netzanschluss („Netzanschluss ist immer der Flaschenhals“), während ein CPO verstärkt die Ladepunkte selbst in den Vordergrund stellte („[...] die Hardware für die Ladestation selbst ist noch nicht final getestet, noch nicht sauber in Serie [...] auch noch nicht eichrechtskonform und das ist eine Voraussetzung.“) Der Interviewpartner des Übertragungsnetzbetreibers betonte die Bedeutung von Software für den erfolgreichen Ausbau der Ladeinfrastruktur, insbesondere im Hinblick auf die Nutzeridentifikation und Abrechnungsprozesse („[...] wäre die reine Hardwareseite. Wenn man aber auch die Softwareseite mit betrachtet, brauche ich die natürlich auch, weil ich einen Ladevorgang starten muss. Ich muss wissen, wer da lädt, dass ich das auch abrechnen kann“). Des Weiteren wurde auf bestehenden Nachholbedarf bei der technischen Standardisierung hingewiesen: „Das Thema Standardisierung, [...] da gibt es noch Nachholbedarf“

Ähnlich wie die technischen Rahmenbedingungen wird auch die **Wirtschaftlichkeit** von allen Interviewpartnern als bedeutend für Infrastrukturprojekte eingeschätzt. Es wurde betont, dass Investoren im Zusammenhang mit Infrastrukturprojekten mit erheblichen Unsicherheiten konfrontiert sind, da viele Standorte erst nach mehreren Jahren wirtschaftlich rentabel werden, stark abhängig vom aktuellen oder zukünftigen Verkehrsaufkommen von E-Lkws („Es ist momentan eine sehr große Verunsicherung am Markt. Tatsächlich tun sich Investoren immer schwer damit, wenn man sagt wir setzen drauf, dass der Standort vielleicht in 5 Jahren gut wird, so eine Vision kriegen sie schlecht verkauft und vermarktet“). Auch die Größe der Unternehmen spiele eine Rolle, es gäbe „[...] einfach Player, die so ein Auslastungsrisiko tragen können, weil sie einfach genug finanzielles Backup haben [...]“, während es für kleinere Marktteilnehmer schwieriger sei. Die Befragten ordneten auch ein, dass die Wirtschaftlichkeit „[...] gerade am Anfang, da war die Technologie auch noch um einiges teurer, [...]“ ohne Förderung schwierig gewesen sei. Insgesamt sei „[...] die ganze Logistikbranche sehr, sehr preissensibel [...]“.

Abbildung 9 fasst jeweils die Bewertung zur Relevanz von technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für E-Lkw Infrastrukturprojekte zusammen.

Abbildung 9: Bewertung der Relevanz von technischen (links) und wirtschaftlichen (rechts) Rahmenbedingungen im Hinblick auf E-Lkw Infrastrukturprojekte



3.3 H₂-Tankstellen

3.3.1 Ausgestaltungsoptionen

Wasserstoff-Tankstellen werden technisch nach Druckniveau, täglichem H₂-Durchsatz, Fahrzeug- bzw. Tanksystemgrößen (und künftig auch nach Aggregatzustand) des Kraftstoffs Wasserstoff differenziert. Weitere Details werden im StatusQuo-Bericht des Projekts BWeRoads dargestellt.

Die 10 Interviewpartner zu Wasserstoffinfrastruktur repräsentieren über 40 H₂-Tankstellen (Hydrogen Refuelling Station, HRS) im Feld für Schwerverkehr. Konkrete Merkmale von 12 Standorten wurden in den Interviews angeführt.

Die Interviewten bestätigten den heutigen technischen "Quasi-"Standard einer Betankung mit gasförmigem Wasserstoff bei einem Nenndruck von 350 bar, zulässigen Tankgrößen der zu betankenden H₂-Nutzfahrzeuge von 20 bis 42,5kg und technisch möglichen Betankungsmengen von 0,5 bis 2 t H₂ pro Tag. Eine wachsende Anzahl an H₂-Tankstellen ist für H₂-Fahrzeuge mit höherem Betankungsdruck (700 bar) und höherer Tankkapazität (bis über 60 kg) ausgelegt.

Die 10 Interviewpartner repräsentieren über 40 HRS für Schwerverkehr. Von den besprochenen 12 konkreten Standorten

- sind 9 in Betrieb, 2 in Umsetzung, 1 in Planung, davon 7 „Stand-alone“ Standorte,
- erfüllen 7 AFIR-Anforderungen (EU, 2023), 2 können entsprechend angepasst werden,
- dauert die Befüllung an 10 Standorten 10-15 min bei im Schnitt 4 Betankungen pro Stunde,
- benötigt die Technik inkl. Trailerplätze im Schnitt 485 m² (teilweise inklusive Abfüllung),
- beträgt der Netzanschluss für die H₂-Tankstelle im Schnitt 304 kVA,
- werden 10 Standorte vollständig mit erneuerbarem Wasserstoff versorgt,
- besitzen drei Standorte Elektrolyseure vor Ort, andere werden beliefert (Wechselspeicher).

Eine ausführlichere tabellarische Darstellung der Abfrageergebnisse findet sich in Anhang A.2.

Die Ausbreitung **tiefkalter Betankungsmethoden wie** subcooled Liquid Hydrogen (**sLH₂**), heute mit zwei Standorten in D umgesetzt, **und** cryo-compressed Hydrogen (**CcH₂**) wurden von einigen Interviewpartnern in die Zukunft verschoben, „[...] da kein breiter Markt absehbar [sei].“ Es gelte prinzipiell „erst krabbeln, dann laufen.“ „Realistisch ist aktuell nur 350 / 500 bar. Cryocompressed,

sLH2 etc. spielt absehbar noch keine Rolle." „LH2 [sei] in der Diskussion ab 4t/Tag." In den Interviews wurde darauf hingewiesen, dass „sLH2 möglicherweise [die] technisch beste Lösung [sei], aber eher erst in 10 Jahren realistisch (Verflüssigungskapazitäten, Importtechnologie) [sei] und [...] eine zusätzliche Infrastruktur bedeuten [würde]." Ein Interviewpartner wies darauf hin, dass „[...] parallele H₂-Infrastrukturen (CG und LH2) [...] nicht möglich sein werden. Evtl. [werde] irgendwann CGH2 durch LH2 ersetzt."

3.3.2 Chancen bei der Errichtung von H₂-Tankstellen

Die Interviewpartner sehen kein entweder-oder von batterieelektrischer und wasserstoffbasierter Mobilität, sondern ein Nebeneinander bei der notwendigen Dekarbonisierung des Schwerverkehrs: *"Beide Technologien haben Vorteile (Use-Case abhängig)"*.

Als Vorteil für den Wasserstoffbetrieb von Nutzfahrzeugen wird die Fortführung vorhandener Logistikmodelle im Fernverkehr mit schneller Betankung, hoher Beladung und hoher Reichweite angeführt. Im Vergleich zu heutiger dieselbetriebener Logistik wird keine wesentlichen Änderungen in den Betriebskonzepten als erforderlich angesehen: *"2-3-Schichtbetrieb geht mit H₂-Antrieb, nicht mit Batterie"*. Auch die Flexibilität der Versorgung – Belieferung oder Vor-Ort-Erzeugung von Wasserstoff – wird als Vorteil angeführt. Zwei Interviewpartner erwarten künftig Betankungen überwiegend an den Be- und Entladepunkten der LkW, weniger entlang der Verkehrsachsen.

Als weitere wichtige Chance wurde der Platzbedarf angeführt: *"HRS benötigt deutlich weniger Platz als Ladesäulen (weil die Betankungen schneller gehen als die Aufladungen)." Die Bandbreite des, im Vergleich zur herkömmlichen Tankstelle, zusätzlichen Technikbereichs wird im Schnitt mit knapp 500 m² (inklusive Trailerstellplätzen für die H₂-Anlieferung) angegeben.*

Standorte: *"Aktuell hat H₂ die größten Chancen im Busbetrieb mit vergleichsweise langen Umlaufstrecken. Im Logistikbereich braucht es HRS, die im direkten Umfeld der Start- und Endpunkte zentraler Transportrouten errichtet werden." "Benötigte Ladeleistungen für Ladeparks von e-Bussen können oft nicht realisiert werden. H₂ ist da viel schneller."*

Zusammengefasst zeigt auch Abbildung 10 die wesentlichen Aussagen zu Chancen der H₂-Schwerlastmobilität.

Die Kombination mit H₂-Pkw wurde, aufgrund der rückläufigen Marktentwicklung von Wasserstoff-Pkw, nicht gesondert abgefragt.

Abbildung 10: Genannte Chancen von H₂-Infrastruktur für Schwerlastmobilität



3.3.3 Herausforderungen bei der Errichtung von H₂-Tankstellen

Bei den Antworten, welche Herausforderungen aus Sicht der Betreiber / Logistiker und Fahrer von H₂-LkW bestehen, wurden sowohl verwaltungstechnische wie auch wirtschaftliche Punkte genannt.

Von zwei Interviewpartnern wurden hohe Zusatzkosten sowohl für die Investition als auch für die Betriebskosten für das Druckniveau von 700 bar angeführt. Etwa 2-4 € zusätzlich pro kg Wasserstoff im Vergleich zur 350 bar-Technologie wurden genannt. Ob die höheren Reichweiten bis 800 km ohne Nachfüllung tatsächlich benötigt werden, wurde bezweifelt, Beispielzitat: *"Frage ob 700 bar/Aggregatzustand/weitere „teure“ Vorgaben wirklich nötig sind; wird letztlich vom Kunden beantwortet werden."*

Im Folgenden ein Auszug weiterer Interviewergebnisse, die Herausforderungen benennen sowie, teilweise, Forderungen und Lösungsansätze enthalten:

*"Wechselnde **Anforderungen, Gegebenheiten und Rahmenbedingungen** sind herausfordernd."*

*"Die **Marktentwicklung** der H₂-LkW bleibt hinter den Ankündigungen der OEMs zurück."*

*"**Versorgung mit grünem Wasserstoff** [...]" "THG-Quotenhandel steht bis 2025 nicht als Finanzierungsinstrument zur Verfügung."* [Anmerkung der Autoren: der Quotenhandel für Wasserstoff ist nach europäischer Richtlinie für erneuerbare Energien ist inzwischen aktiviert]

*"BEV hat das Problem der hohen Anschlussleistung und H₂ das Problem der noch hohen H₂-Bezugskosten. Solange es **Alternativen wie HVO 100 oder sogar die Aufweichung von Reduktionszielen** gibt, werden diese genutzt."*

*"**Betriebsaufwand** (Wartung, Rundgänge, ...) im Vergleich zu fossilen Tankstellen sehr aufwändig."*

"Kürzung des KTF (Klima- und Transformationsfonds) durch das Bundesverfassungsgericht führte Ende 2023 praktisch zum Stopp des Ausbaus von LKW HRS. 61 fertige Förderprojekte für den Bau von HRS wurden komplett gestrichen. Gleichzeitig wurde auch die KsNi-Förderung (Förderung der Mehrkosten von Elektro- und H₂-Fahrzeugen) auf 0 zurückgefahren. Selbst bereits bewilligte Förderung wurde nicht abgerufen, weil die HRS-Infrastruktur fehlt. Unternehmen können deshalb Fahrzeuge nicht in den Markt bringen."

3.3.4 Effektive Maßnahmen bei der Errichtung von H₂-Tankstellen

Gerade auch in Bezug auf die oben erwähnten Herausforderungen, wurden von den Interviewpartnern einige effektive Maßnahmen genannt. Wichtig sind " [...] *langfristige Perspektiven und Planungssicherheit, auch durch verlässliche politische Vorgaben.*". Als weitere effiziente Maßnahme für die zeitlich und wirtschaftlich erfolgreiche Abwicklung von Infrastrukturprojekten wird der **Umgang mit Behörden** genannt: Es sollen *"frühzeitig alle Beteiligten (ZüS, Behörden, Wasserrechtler, ...) einbezogen werden"*. Als Beispiel berichtete ein Interviewpartner, 30 Personen von unterschiedlichen Behörden und Stellen zu einer ersten Besprechung versammelt zu haben. *"Kontinuierliche und ehrliche Kommunikation mit den Behörden ist zentral - Verständnis schaffen für Unwägbarkeiten."*

Eine Maßnahme wurde in verschiedenen Interviews in den Mittelpunkt gestellt: Die Identifikation von **Ankerkunden** und damit eine sichere Abnahme von Kraftstoff zur Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit von Wasserstofftankstellen für den Schwerverkehr, beispielsweise " [...] *Kooperation mit lokalen Busunternehmen [...]" oder „Pay per Use Modelle für LKW-Nutzer mit kalkulierbaren Mehrkosten und begrenzten Risiken [...].“ „Primäres Kriterium ist die abgesicherte Nachfrage. Wenn die da ist, findet man auch einen Standort.“* Als Grundsatz gelte dabei *„Infrastruktur muss vom Verbrauch her gedacht werden.“* Kriterien für attraktive Standorte seien *„Autobahnnähe (Laufkundschaft), Abnahme vor Ort (Stammkundschaft), Rangierfähigkeit, Fördergelder (ansonsten nicht umsetzbar).“*

Auch für Wasserstofftankstellen wiesen die Interviewten auf die hohe Bedeutung von **Kooperationen** hin: „*Partner in der Projektgesellschaften bringen unterschiedliche Erfahrungen mit.*“ Dabei wurde insbesondere die dezentrale Verknüpfung von Erzeugung und Bedarf hervorgehoben: „*[Die] Schaffung von Ökosystemen ist ein Erfolgstreiber. Alle Stakeholder an einem Tisch, keiner steigt aus.*“

Flexible und nach Bedarf **erweiterbare Anlagen** wurden ebenfalls als Maßnahme zur Risikoreduktion genannt. „*Modulare Aufbauten sind bewährt und zielführend. Wachstum mit dem Markt. Größere Standorte sind wünschenswert, aber aktuell nicht absehbar.*“

Die vorhandenen **Fördermittel** tragen ebenfalls zur Umsetzung von Wasserstofftankstellen bei: „*Fördermittel tragen als Sicherheiten zur Umsetzung der Maßnahmen bei.*“ „*Mindestens 50 % Investitionsförderung*“ sei zielführend.

In diesem Zusammenhang wurde auch der Handel mit **THG-Quoten** als wichtiges Instrument genannt, um die H₂-Abgabepreise an der Zapfsäule zu senken und den Betrieb von H₂-LkW und der Tankstellen damit wirtschaftlich konkurrenzfähig zu machen. Als im Wettbewerb mit Batterie-LkW unfair wurde die Aussetzung des Handels [Anmerkung der Autoren: inzwischen beendet] sowie gesetzliche Auflagen wie die Renewable Energy Directive empfunden, die Voraussetzung für die Anrechnung von grünem Wasserstoff für den Quotenhandel sind.

3.3.5 Einordnung der aktuellen Situation

Im Hinblick auf die aktuelle Situation der Wasserstoff-Infrastruktur für die Schwerlastmobilität wurden sowohl quantitative als auch qualitative Abfragen von den Interviewpartnern beantwortet.

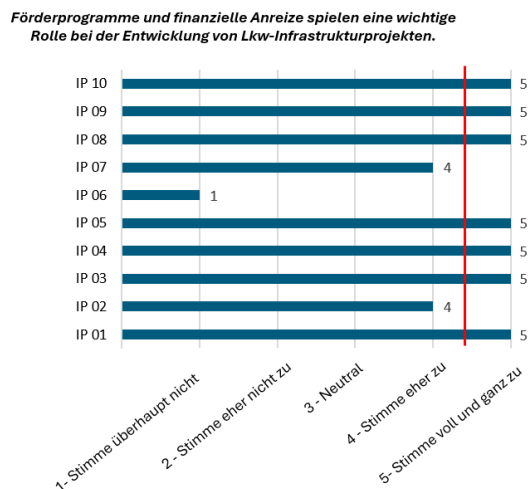
Zur **Erwartung künftiger Auslastungen von Wasserstoff-Tankstellen** wurden im Schnitt die folgenden Werte angegeben:

- mittlerer H₂-Durchsatz pro H₂-Tankstelle 2026/27: ca. 55 t H₂ / Jahr
- mittlerer H₂-Durchsatz pro H₂-Tankstelle 2030/31: ca. 173 t H₂ / Jahr

Wenn man diese Zahlen mit dem erwarteten Wasserstoffbedarf mit dem beispielsweise vom Konsortium der Plattform Tankstelle der Zukunft (Spilett et al., 2026) erwarteten Wasserstoffbedarf (2030/31 ca. 400.000 t H₂ / Jahr in D) in Relation setzt, so entspräche dies etwa 2.300 H₂-Tankstellen mit dem oben genannten jährlichen Umsatz.

Förderprogramme wurden von den meisten Interviewpartnern im Wasserstoffbereich als grundlegende Voraussetzung für Infrastrukturprojekte im Markthochlauf von Wasserstofftankstellen angegeben. Allerdings gibt es auch Beispiele wie durch klare und langfristig angelegte Regelsetzung Wasserstoffökosysteme gänzlich ohne Subventionen und Förderprogramme wirtschaftlich erstellt und betrieben werden können. „*Förderung ist in der Regel Voraussetzung für die Investitionsentscheidung.*“ Kritisch wurden in diesem Zusammenhang Vorgaben durch die Fördergeber gesehen: „*Vorgabe Fördergeber [...] ist unnötig teuer.*“ Allerdings wies ein Interviewpartner darauf hin, dass, „*[...] wenn sich eine Anlage nur wegen Förderungen rechnet/gerade noch rechnet und hinterher der OPEX zu hoch ist, wird es für jedes Projekt schwierig werden.*“

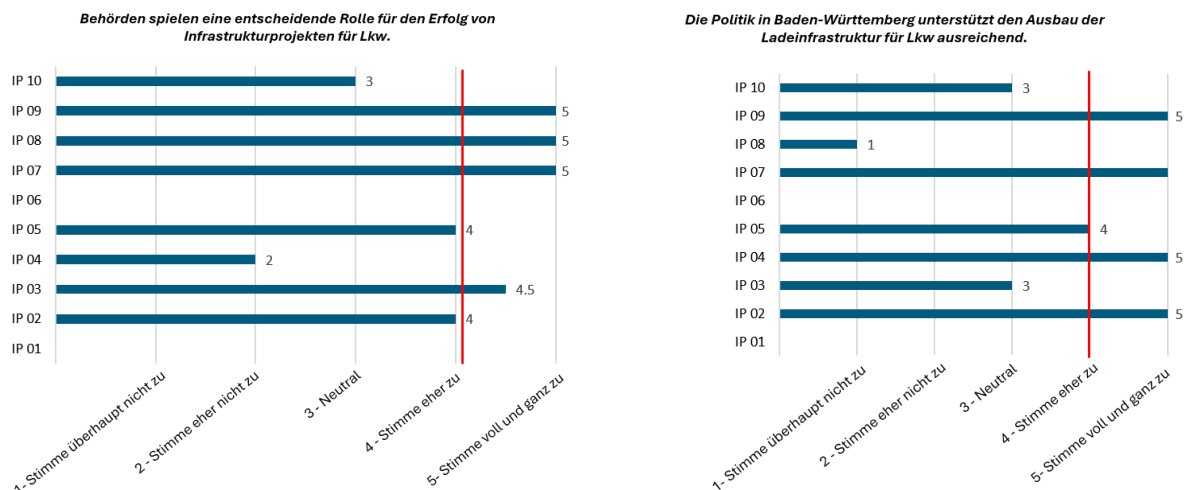
Abbildung 11: Bewertung der Relevanz von Förderprogrammen und finanziellen Anreizen für Wasserstoff-Lkw Infrastrukturprojekte



Die Rolle von Behörden und der politischen Unterstützung auf Bundeslandebene wird als überwiegend wichtig bzw. gerade für Baden-Württemberg als positiv bewertet. Die Bewertung *„ist sehr abhängig vom Bundesland.“* Die in Abbildung 12 rechts dargestellten Einschätzungen der Interviewpartner 7, 8 und 9 beziehen sich auf andere Bundesländer. Entsprechend wäre der in rot dargestellte Mittelwert für Baden-Württemberg leicht höher.

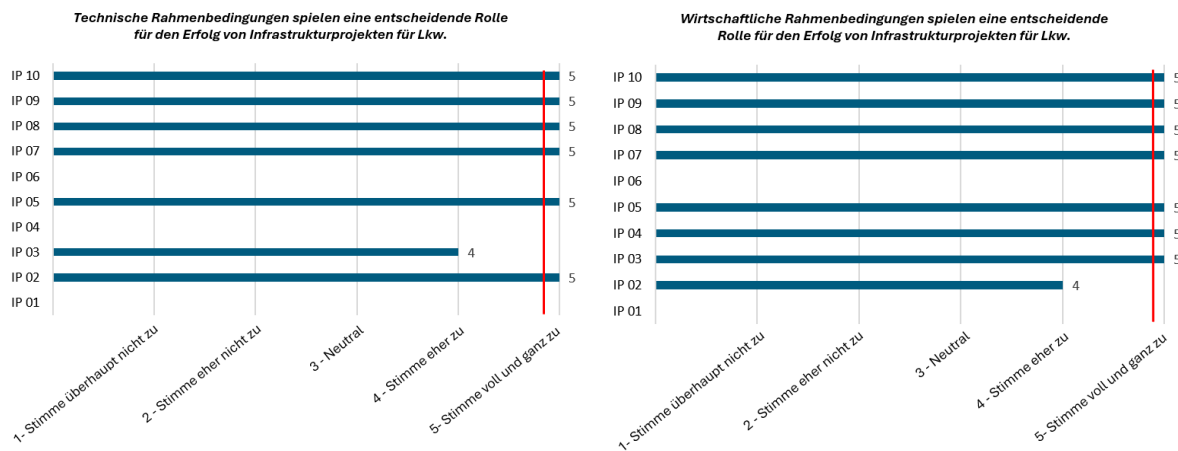
Abbildung 12: Bewertung von Behörden (links) und der politischen Unterstützung in Baden-Württemberg (rechts) im Hinblick auf H₂-Lkw Infrastrukturprojekte

Hinweis: Die Bewertungen von Interviewpartner 7, 8 und 9 in der rechten Abbildung beziehen sich auf andere Bundesländer.



Wie in Abbildung 13 dargestellt, werden sowohl **technische als auch wirtschaftliche Rahmenbedingungen** von der überwiegenden Mehrheit der Interviewpartnern als entscheidend für die Umsetzung von Infrastrukturprojekten für dekarbonisierte Lkw angesehen.

Abbildung 13: Bewertung der Relevanz von technischen (links) und wirtschaftlichen (rechts) Rahmenbedingungen hinsichtlich H₂-Lkw Infrastrukturprojekten



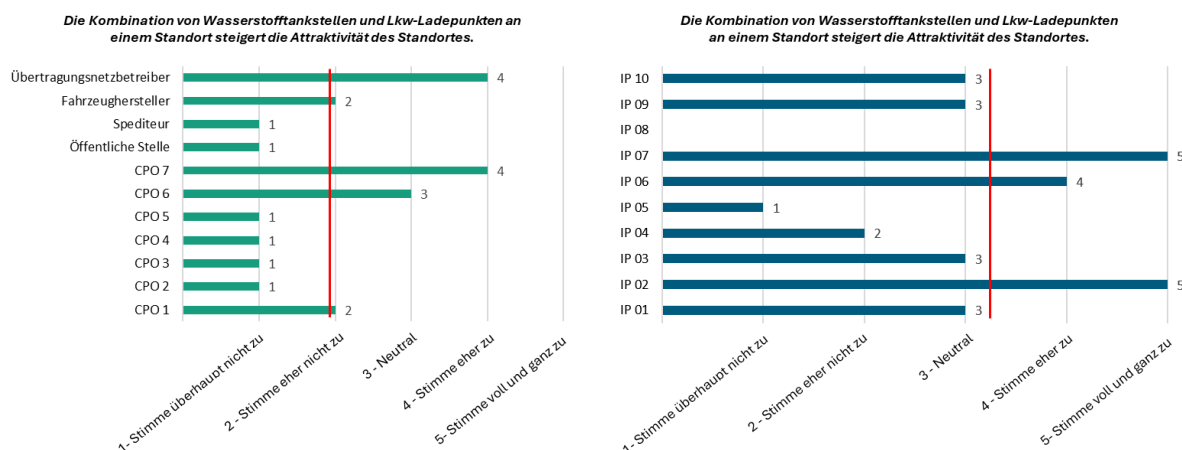
Hierbei wird technisch auf einheitliche und interoperable Lösungen hingewiesen: *„Ganz wichtig: EU-weite Standards.“* Andererseits wird auch die Notwendigkeit von sowohl bei der Erstellung als auch im Betrieb bezahlbarer Technologie herausgestellt: *„Die Technik muss ‘gut genug’ sein“*

Wirtschaftliche Rahmenbedingungen werden als grundlegend für den Erfolg von H₂-Infrastrukturprojekten bewertet: *„wirtschaftliche Rahmenbedingungen sind die Basis, brauchen größte Überzeugungskapazitäten.“* *„Mittel- bis Langfristig muss das Ziel der Dieseläquivalenz erreicht werden.“* *„Langfristiges Denken ist erforderlich.“* Ein Partner nennt konkrete Randbedingungen zum Erreichen wirtschaftlich funktionierender Standorte: *„Eine H₂-Tankstelle ist mit 10-12 LKW-Äquivalenten betreibbar. 100 t H₂ pro Jahr reichen, um eine 1 t/d Tankstelle ökonomisch zu betreiben.“*

3.4 Kombinierte Infrastruktur

Abbildung 14 zeigt, dass Ladeinfrastrukturexperten und H₂-Tankstellenexperten die Vor- und Nachteile einer gemeinsamen Infrastruktur unterschiedlich beurteilen. Erstere sehen eher keine Vorteile in einer gemeinsamen Infrastruktur, während die Zweitgenannten insgesamt neutral eingestellt sind, einzelne Befragte auch deutliche Vorteile sehen.

Abbildung 14: Bewertung der Vorteile einer Kombination von Tank- und Ladeinfrastruktur: Links aus Sicht der Lade-, rechts aus Sicht der H₂-Infrastrukturbetreiber

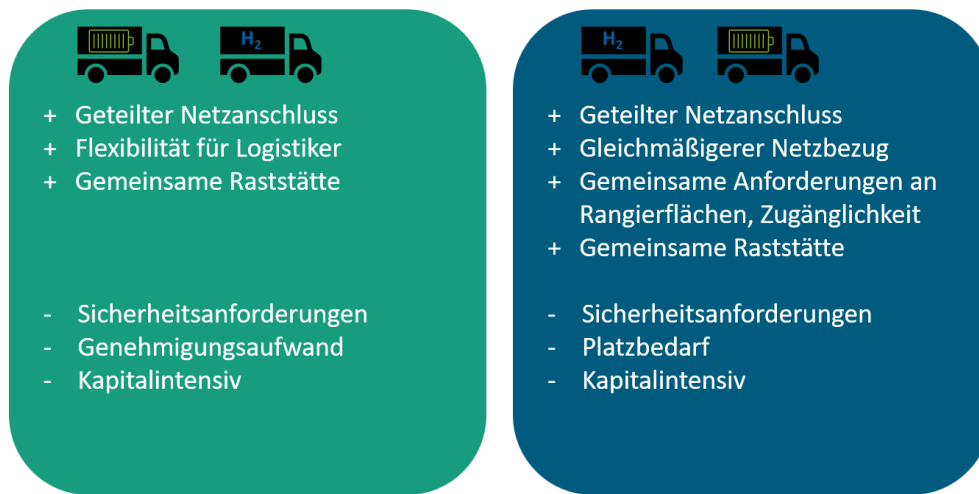


Seitens der Ladeinfrastrukturexperten wurde darauf hingewiesen, dass es *„aus Sicht der Standortbetreiber oder jeglichen Akteuren [...] auf jeden Fall eine Komplexität [ist], die man sich noch mit Reinholt.“* Da ihre Kunden auf Strom angewiesen seien, *„interessiert es [...] deshalb nicht weiter, ob es da auch Wasserstoff gibt oder nur Strom.“* Einzelne Interviewte wiesen jedoch auch darauf hin, dass sie eine kombinierte Infrastruktur *„rein wirtschaftlich [...] eher als Attraktivitätssteigerung“* empfänden und Flexibilität für die Logistiker böten. Andere wiesen jedoch auf den zusätzlichen Kapitalbedarf hin. Die Interviewten waren sich jedoch einig, dass sie auf *„Partner aus der Ölbranche“* angewiesen seien, da sie *„es [, die Wasserstofftankstellen,] niemals selbst tun“* würden. Die gemeinsame Nutzung von Rasthof und gegebenenfalls Netzanschluss könnte ebenfalls wirtschaftliche Vorteile bedeuten.

Auch aus Perspektive der H₂-Infrastrukturakteure wurden kritische Aspekte angemerkt. So sei beispielsweise *„klar, dass eine ordentliche Planung benötigt wird [- sicherheitstechnische Themen]“*. Auch der zusätzliche Kapitalbedarf wurde als Hemmnis angesprochen. Es wurde auch darauf hingewiesen, dass *„grundsätzlich [...] immer eine Konkurrenz um Platz“* bestehe. Hierbei biete die Wasserstoffinfrastruktur als Ergänzung zum Ladepark einen Vorteil, *„da der [...] Flächenbedarf der Wasserstofftankstelle [in Bezug auf die abgefertigten Fahrzeuge] vergleichsweise gering ist.“* Auch gäbe es *„vergleichbare Anforderungen an Zugänglichkeit und Rangierflächen“*, so dass der gemeinsame Aufbau von Infrastruktur attraktiv sein könne. Ein möglicherweise geteilter Netzanschluss könne ebenfalls zu Synergien führen, etwa indem der Trafo insgesamt kleiner ausgelegt und höher ausgelastet werden könne. Ein Interviewpartner wies darauf hin, dass er *„Synergieeffekte durch Verfügbarkeit von Wasserstoff zum Ausbau der Ladeinfrastruktur; auch zur Abdeckung saisonaler Spitzen“*, sieht. Ein kommerzielles Produkt zur Stromgewinnung aus Wasserstoff bei Lastspitzen sei verfügbar. Ein Interviewpartner fasste die Situation folgendermaßen zusammen: *„Wer sich im großen Stil für eine Seite entscheidet, lässt die andere Seite außen vor. Allerdings haben sich die meisten Unternehmen noch nicht entschieden. Beide Seiten unterliegen zudem kurz- und mittelfristig einem gemeinsamen Konkurrenzdruck seitens HVO100.“* Aus dieser Perspektive heraus stellt der gemeinsame Aufbau eine Absicherungsstrategie dar. Abschließend gingen einige Interviewpartner davon aus, dass die *„Kombination in Zukunft [...] der Normalfall sein [wird].“*

Die wichtigsten genannten Aspekte aus Sicht der H₂-Infrastrukturbetreiber sind in der folgenden Abbildung zusammengefasst:

Abbildung 15: Zusammenfassung der wichtigsten Aspekte zur Kombination von Tank- und Ladeinfrastruktur aus Sicht der Lade- (links) und H₂-Infrastrukturbetreiber (rechts)



4 Diskussion

Die vorliegende Studie untersucht Chancen, Herausforderungen und risikomindernde Maßnahmen beim Aufbau von Lade- und H₂-Tankinfrastruktur für schwere Nutzfahrzeuge auf Basis von 21 leitfadengestützten Interviews. Die Ergebnisse bieten Einblicke in die aktuellen Planungs- und Umsetzungsprozesse, müssen jedoch vor dem Hintergrund methodischer Limitationen und der Interessenlagen der Akteure kritisch eingeordnet werden.

Methodisch bietet das qualitative Vorgehen den Vorteil, tiefe Einblicke in eine Branche zu gewinnen, die sich in einer frühen, hochdynamischen Markphase befindet. Auch decken die geführten Interviews einen relevanten Teil der Marktakteure ab. Dennoch unterliegt die Studie Limitationen.

Zunächst stellen die Interviews lediglich eine Momentaufnahme dar. Die regulatorischen und finanziellen Rahmenbedingungen (z. B. AFIR-Auslegung, Kürzungen im Klima- und Transformationsfonds, Markthochlauf der Fahrzeuge) sowie die technische Standardisierung verändern sich aktuell kontinuierlich, weshalb insbesondere die erhobenen Einschätzungen zur Wirtschaftlichkeit und Auslastung sich ebenfalls ändern können.

Außerdem ist ein Interessenbias (Bestätigungsfehler) bei den Interviewpartnern möglich. Da es sich in der Regel um aktive Marktteilnehmer handelt, verfolgen diese nicht zuletzt das Ziel, ihre jeweilige Technologie zu stützen, Vertrauen bei Investoren zu wecken und politische Unterstützung sowie Fördergelder zu akquirieren. Dies spiegelt sich beispielsweise in der Prognose des Markthochlaufs wider: Ladeinfrastrukturexperten bewerten die Erfolgsaussichten von batterieelektrischen Lkw teils deutlich positiver und die von H₂-Lkw pessimistisch, während H₂-Experten ihre Technologie favorisieren. Die Aussagen sind somit nicht rein objektiv, sondern auch strategisch motiviert, was bei der Interpretation der Vorhersagen berücksichtigt werden muss.

Im Vergleich zwischen Ladeinfrastrukturbetreibern und Wasserstofftankstellenbetreibern zeigen sich unterschiedliche Perspektiven beim Einsatz von Fördergeldern. Während H₂-Projekte existenziell von Subventionen (z. B. Klimatransformationsfond) und dem THG-Quotenhandel abhängen – und durch Kürzungen praktisch zum Stillstand kamen –, zeichnet sich bei einigen Ladeinfrastruktur-Experten ein Wandel ab, der eine Eigenwirtschaftlichkeit ohne langfristige Förderprogramme fordert. Dies ist möglicherweise auch auf unterschiedliche Marktphasen der Technologien zurückzuführen. Während bei batterieelektrischen Lkw der Fahrzeugbestand kontinuierlich wächst und eine frühe Marktphase erreicht wurde, handelt es sich bei H₂-Lkw in der Regel noch um Kleinserienfahrzeuge. Auch bei der Infrastruktur profitieren Ladeinfrastrukturbetreiber vom vorhandenen Ladestandard für Pkw sowie vom vorliegenden Standard zum Megawattladen, der in Kürze implementiert wird. Bei Wasserstoff ist hingegen die Unsicherheit bezüglich der zukünftigen Bereitstellungsform (gasförmig, verflüssigt) sowie der technischen Umsetzung noch deutlich höher, wenn auch ein 'Quasi-Standard' (350 bar CGH₂) inzwischen an einigen Dutzend LkW-H₂-Tankstellen in Deutschland ausgerollt wurde.

Die Kombination von Strom und Wasserstoff an einem Standort verdeutlicht divergierende Perspektiven: Ladeinfrastrukturbetreiber lehnen diese mehrheitlich ab, da sie eine unnötige Komplexität in ihren Fokus-Bereich (Strom) bringen. H₂-Akteure hingegen sehen darin primär eine strategische Absicherungsmaßnahme (Hedging) gegen die technische Unsicherheit im Fernverkehr und erhoffen sich Synergien beim Netzanschluss. Der gemeinsame Ausbau ist somit weniger Ausdruck technischer Konvergenz als vielmehr ein Resultat hoher Markunsicherheit.

Beide Technologien unterliegen schließlich einem gemeinsamen, kritischen externen Faktor: dem Wettbewerb durch HVO100. Solange biogene Kraftstoffe als Übergangslösung verfügbar und wirtschaftlich attraktiv sind, können sie beide Technologien im Markthochlauf hemmen.

5 Schlussfolgerungen & Handlungsempfehlungen

Die Analysen zeigen, dass sich der Aufbau von Ladeinfrastruktur sowie Wasserstofftankstellen für Lkw auf unterschiedlichen Entwicklungsstufen befindet: Die Ladeinfrastruktur für batterieelektrische Lkw befindet sich in einer frühen, kommerziellen Marktphase. Erste Fahrzeuge sind bereits auf der Straße und erste öffentliche Ladeparks werden realisiert. Gleichzeitig finden weiterhin technologische und organisatorische Weiterentwicklungen statt, so dass die Ausgestaltung der Infrastruktur Gegenstand von Unsicherheit ist. Dies betrifft beispielsweise die Anzahl der benötigten Ladepunkte in unterschiedlichen Leistungsklassen (Übernachtladen versus Megawattladen) im Zeitverlauf. Die Wasserstoffinfrastruktur hingegen ist aktuell noch eher als Nischenanwendung zu betrachten. Sie ist stark von wenigen Ankern Kunden (z. B. Busflotten) abhängig, da die Marktdurchdringung der Wasserstoff-Lkw bislang hinter den Herstellerankündigungen zurückbleibt und das Investitionsrisiko ohne gesicherte Abnahmemengen hoch ist. Daraus resultiert insbesondere auch eine unterschiedlicher Förderbedarf: Für Ladeinfrastruktur ist Förderung hilfreich, um den Hochlauf zu beschleunigen und ein flächendeckendes Netzwerk zu formen. Für Wasserstofftankstellen ist Förderung essenziell, um erste Projekte, auch unter dem Aspekt eines Testbetriebs zur Weiterentwicklung, realisieren zu können.

Synergien zwischen Lade- und H₂-Infrastruktur an einem Standort sind gegenwärtig eher überschaubar. Dies liegt auch daran, dass die Betreiber in der Regel nicht identisch sind (CPOs auf der einen, Energie- bzw. Tankstellenbetreiber auf der anderen Seite). Dennoch konnten konkrete Synergiepunkte identifiziert werden: Die gemeinsame Nutzung des Netzanschlusses (z. B. gemeinsamer Trafo), geteilte Shop- und Sanitäreinrichtungen sowie potenziell die Rückverstromung von H₂ zur Abdeckung von Lastspitzen beim Laden. Insgesamt zeigen die Interviews jedoch, dass eine Kombination beider Technologien Projekte insgesamt komplexer macht.

Aus den Erkenntnissen leiten sich folgende Handlungsempfehlungen für verschiedene Akteursgruppen ab:

Politik und Fördergeber:

- **Planungssicherheit schaffen:** Verlässliche, langfristige Rahmenbedingungen (z. B. bezüglich des THG-Quotenhandels) sind entscheidend, um das Investitionsrisiko zu senken.
- **Bürokratie abbauen und Prozesse standardisieren:** Genehmigungsverfahren und Netzanschlussprozesse sollten harmonisiert und beschleunigt werden. Ein geringerer administrativer Aufwand kann die Hemmschwelle besonders für kleinere Unternehmen senken.
- **Fördermittel zielgerichtet einsetzen:** Besonders in der Aufbauphase sind finanzielle Anreize wichtig. Die Förderung sollte jedoch so gestaltet sein, dass langfristig eine Eigenwirtschaftlichkeit der Betreiber angestrebt wird. Insbesondere sind unterschiedliche Förderregime beider Technologien, angesichts unterschiedlicher Entwicklungsstände, vorstellbar.
- **Proaktive Flächenbereitstellung:** Gemeinden können den Ausbau unterstützen, indem sie geeignete Flächen proaktiv zur Verfügung stellen.

Netzbetreiber:

- **Spezialisierte Teams und Prozesse:** Der Aufbau von Expertenteams zur Bearbeitung von Netzanschlussanfragen für Ladehub-Projekte kann helfen, diese Anfragen standardisiert und lösungsorientiert zu bearbeiten.
- **Datenbereitstellung:** Eine kontinuierliche Veröffentlichung aktuell verfügbarer Netzanschlusskapazitäten könnten von Ladeinfrastrukturbetreibern zur Planung genutzt werden und Anfragen reduzieren.

Ladeinfrastrukturbetreiber:

- **Modularität und Skalierbarkeit:** Infrastruktur sollte von Beginn an so geplant werden, dass sie bedarfsorientiert erweitert werden kann. Flexibilität, zum Beispiel durch Lastmanagement, ermöglicht Anpassungen an zukünftigen Entwicklungen.
- **Frühzeitige Stakeholder-Einbindung:** Die frühzeitige Einbindung von Netzbetreibern und die zeitnahe Akquise geeigneter Flächen sind zentrale Erfolgsfaktoren.

H₂-Tankstellenbetreiber:

- **Ankerkunden vorab sichern:** Aufgrund der hohen Investitions- und Betriebskosten ist der Aufbau einer HRS ohne vertraglich gesicherte Abnahmemengen riskant. Die Infrastruktur sollte anfangs stark vom Verbrauch her gedacht werden.
- **Dezentrale Ökosysteme bilden:** Die Verknüpfung von lokaler Erzeugung und gesicherter Nachfrage sowie die frühe Einbindung aller Behörden können Risiko und Versorgungspässe minimieren.

Speditionen und Logistikunternehmen

- **Use-Case-Analyse vor Fahrzeugbeschaffung:** Die Wahl der Technologie sollte zum Fahrprofil passen. Für viele Verteilerfahrzeuge reicht Depot-Laden, was Elektro-Lkw vergleichsweise schnell wirtschaftlich machen kann.
- **Kooperationen eingehen:** Interessengemeinschaften in Gewerbegebieten können helfen, Infrastrukturkosten zu teilen und als Ankerkunden für H₂-Tankstellen oder teilöffentliche Ladehub-Systeme zu fungieren.

6 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Struktur des Fragebogens und beispielhafte Fragen	6
Abbildung 2:	Übersicht Interviewteilnehmende	7
Abbildung 3:	Bewertung der zukünftigen Nutzung von batterieelektrischen Lkw und Wasserstoff-Lkw durch Ladeinfrastrukturexperten (grün) und H ₂ -Tankstelleninfrastrukturexperten (blau).....	8
Abbildung 4:	Erwartete Marktanteile von batterieelektrischen Lkw und Wasserstoff-Lkw aus den Cleanroomgesprächen (NOW, 2024) (Linien) sowie aus Interviews (Punkte).....	9
Abbildung 5:	Herausforderungen bei der Errichtung von Ladeinfrastruktur für Lkw	12
Abbildung 6:	Maßnahmen zur Risikoreduktion bei der Errichtung von Ladeinfrastruktur für Lkw.....	17
Abbildung 7:	Bewertung der Relevanz von Förderprogrammen und finanziellen Anreizen für E-Lkw Infrastrukturprojekte	18
Abbildung 8:	Bewertung von Behörden (links) und der politischen Unterstützung in Baden-Württemberg (rechts) im Hinblick auf E-Lkw Infrastrukturprojekte	19
Abbildung 9:	Bewertung der Relevanz von technischen (links) und wirtschaftlichen (rechts) Rahmenbedingungen im Hinblick auf E-Lkw Infrastrukturprojekte	20
Abbildung 10:	Genannte Chancen von H ₂ -Infrastruktur für Schwerlastmobilität	21
Abbildung 11:	Bewertung der Relevanz von Förderprogrammen und finanziellen Anreizen für Wasserstoff-Lkw Infrastrukturprojekte.....	24
Abbildung 12:	Bewertung von Behörden (links) und der politischen Unterstützung in Baden-Württemberg (rechts) im Hinblick auf H ₂ -Lkw Infrastrukturprojekte	24
Abbildung 13:	Bewertung der Relevanz von technischen (links) und wirtschaftlichen (rechts) Rahmenbedingungen hinsichtlich H ₂ -Lkw Infrastrukturprojekten	25
Abbildung 14:	Bewertung der Vorteile einer Kombination von Tank- und Ladeinfrastruktur: Links aus Sicht der Lade-, rechts aus Sicht der H ₂ -Infrastrukturbetreiber.....	25
Abbildung 15:	Zusammenfassung der wichtigsten Aspekte zur Kombination von Tank- und Ladeinfrastruktur aus Sicht der Lade- (links) und H ₂ -Infrastrukturbetreiber (rechts)	27

7 Literaturverzeichnis

- Anderhofstadt, B.; Spinler, S. (2019): Factors affecting the purchasing decision and operation of alternative fuel-powered heavy-duty trucks in Germany – A Delphi study. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 73, S. 87–107.
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.06.003>.
- Braun, V.; Clarke, V. (2006): Using thematic analysis in psychology. In: *Qualitative Research in Psychology*, 3 (2), S. 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>.
- EU (2023): Regulation (EU) 2023/1804 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on the deployment of alternative fuels infrastructure, and repealing Directive 2014/94/EU (Text with EEA relevance). Brussels: European Union. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32023R1804>, zuletzt geprüft am 30.11.2023.
- Gläser, J.; Laudel, G. (2010): *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse*. VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Kippelt, S.; Probst, F.; Greve, M.; Burges, K. (2022): Einfach laden an Rastanlagen. Auslegung des Netzanschlusses für E-Lkw-Lade-Hubs. Gefördert durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV), zuletzt geprüft am 13.03.2023.
- Krippendorff, K. (2019): *Content analysis. An introduction to its methodology*. Los Angeles: SAGE.
<https://doi.org/10.4135/9781071878781>.
- Löfving, J.; Brynolf, S.; Grahn, M. (2025): Geospatial distribution of hydrogen demand and refueling infrastructure for long-haul trucks in Europe. In: *International Journal of Hydrogen Energy*, 128, S. 544–558. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.04.257>.
- Mayring, P. (2000): Qualitative Content Analysis. In: *Forum qualitative Sozialforschung*, 1 (2).
- NOW (2024): Marktentwicklung klimafreundlicher Technologien im schweren Straßengüterverkehr. Auswertung der Cleanroom-Gespräche mit Nutzfahrzeugherstellern 2024. Im Auftrag des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV). Berlin: NOW GmbH.
- Plotz, N. E., Mugrauer, M., Gutjar, M., & Kowald, M. (2023): Wie ist die Erfahrung mit der Ladeinfrastruktur in Rüsselsheim? Wiesbaden: Hochschule Rhein Main.
- Shoman, W.; Yeh, S.; Sprei, F.; Plötz, P.; Speth, D. (2023): Battery electric long-haul trucks in Europe: Public charging, energy, and power requirements. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 121, S. 103825. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103825>.
- Speth, D.; Plötz, P. (2024): Depot slow charging is sufficient for most electric trucks in Germany. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 128, S. 104078.
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104078>.
- Spilett, CEP, LBST, LifteH2, ZBT, ZSW (2026): Tankstelle der Zukunft. Im auftrag der NOW GmbH. Online verfügbar: <https://www.tankstelle-der-zukunft.de/>. Zuletzt geprüft am 20.08.2026

A.1 Interviewleitfaden

Nur relevant für Wasserstoff-Projekte

Nur relevant für Strom-Projekte

Relevante Fragen für Nutzerinnen und Nutzer von Ladeinfrastruktur (15 Fragen)

Stand: 08.04.2025

Einleitung

Hallo. Vielen Dank, dass Sie sich für dieses Interview Zeit nehmen. Das Interview wird voraussichtlich circa **75 Minuten** dauern.

Mein **Name ist XX** und ich werde dieses Interview im Wesentlichen führen. **Meine Kollegin YY** wird ebenfalls ausgewählt bleiben und gegebenenfalls vertiefende Fragen stellen.

Dieses Interview findet im Rahmen des **Projekts BWeRoads** statt, das vom Ministerium für Verkehr sowie vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes **Baden-Württemberg gefördert** wird. Ziel ist es verschiedene Infrastrukturprojekte zum Aufbau von **Lade- bzw. Betankungsinfrastruktur für Lkw zu begleiten** und übergeordnete Erkenntnisse für einen zukünftigen Markthochlauf zu gewinnen. Das Projekt wird unter der Leitung des Instituts für Energie- und Umweltforschung (**ifeu**) gemeinsam mit dem Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (**ZSW**) sowie dem Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (**ISI**) durchgeführt. Aufgrund der jeweils unterschiedlichen Expertise nehmen heute am Interview auch mehrere Vertreterinnen und Vertreter der unterschiedlichen Institute teil.

Ihre Meinung und Erkenntnisse aus realen Projekten zum Aufbau von Tank- bzw. Ladeinfrastruktur sind uns dabei sehr wichtig. Daher möchten wir mit Ihnen heute über die folgenden **Themenfelder** sprechen:

1. Hintergrundinformationen (5 min)
2. Projekt (15 min)
3. Erfahrungen, Chancen, und Herausforderungen (20 min)
4. Allgemeine Marktentwicklung und Infrastrukturbedarf (15 min)

Vor diesem Interview haben wir Ihnen eine **Einverständniserklärung** zukommen lassen. Wie dort aufgeführt, würden wir gerne eine Tonaufnahme des Gesprächs machen, damit keine wichtigen Informationen verloren gehen. Alle **Auswertungen erfolgen selbstverständlich anonym**, wörtliche Zitate werden nicht einer bestimmten Person zugeordnet.

Haben Sie noch **Fragen oder Anmerkungen**, bevor wir das Interview starten?

Dann starten wir jetzt die Tonaufnahme.

Teil 1: HINTERGRUNDINFORMATIONEN (5min)

Beginnen wir mit allgemeinen Informationen zu Ihnen und Ihrer Organisation.

1. Können Sie uns bitte etwas zu Ihrem **beruflichen Hintergrund** sowie Ihrer **Organisation** erzählen?
 - **Beruflicher Werdegang:**
 - Berufserfahrung:
 - Persönliche Rolle im Unternehmen:
 - Sonstiges:
 - **Organisation:**
 - Art der Organisation [Unternehmen, Behörde ...]:
 - Tätigkeit der Organisation:
 - Historie [optional]:

- **Erfahrungen mit Infrastruktur** [optional]:
 - Was wurde bereits installiert?
 - Was ist das zentrale Geschäftsmodell?

Teil 2: PROJEKT (15min) [optional; nur für geförderte Projekte]

Im nächsten Teil unseres Gesprächs möchten wir über Ihr im Rahmen des Programms „Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung“ gefördertes Projekt sprechen.

2. Können Sie bitte Ihr **Projekt** kurz schildern?
 - **Name des Projekts** [ggf. vorher eingeben]:
 - **Projekt Ziele:**
 - **Zentrale Eigenschaften** [Elektrolyse onsite, Pufferspeicher, Pkw, Lkw ...]:
 - Investition und Förderung [optional]:
 - Weiteres [optional]:
3. Wie ist der **Status** des Standortes (geplant / in Umsetzung / in Betrieb)?
4. Wo befindet sich der Standort?
 - **Ort / Adresse:**
 - AFIR-relevant oder „städtischer Knoten“ (TEN-V) [optional]:

Im Folgenden würden wir gerne auf die **technischen Details** näher eingehen.

5. Für **welche Fahrzeuge** ist die Infrastruktur ausgelegt (gerne mit Angabe der Leistung/des Durchsatzes pro Abgabepunkt)?
 - Pkw Anzahl und Art **der Ladepunkte / Zapfsäulen:**
 - Leichte Nutzfahrzeuge Anzahl und Art **der Ladepunkte / Zapfsäulen:**
 - Schwere Nutzfahrzeuge Anzahl und Art **der Ladepunkte / Zapfsäulen:**
 - Gesamte Anzahl [optional]
6. Wie groß ist der Flächenbedarf?
 - Für die **Versorgungstechnik:**
 - Für die **Infrastruktur gesamt** und pro **Lade-/Betankungsplatz:**
7. **Für welche Fahrzeugtankgrößen und welche Durchsätze pro Tag / pro Woche ist die Tankstelle ausgelegt?**
8. **Für welche maximale Ladeleistung ist die Ladeinfrastruktur ausgelegt [ggf. unterschieden nach Fahrzeugtyp]:**
 - **Maximale Ladeleistung je Punkt:**
 - **Gesamtleistung:**
 - **Gleichzeitigkeitsfaktor:**
 - **Dauer der Leistungsbereitstellung:**
9. Wie lange wird ein Tank- / Ladevorgang im Durchschnitt **dauern**?
10. **Wie wird H₂ bereitgestellt** (Elektrolyseur vor Ort, Belieferung CGH2/LH2 Trailer/ND/MD-Speicher, leitungsgebunden)?
 - **Bei Belieferung:**
 - **Art der H₂-Quelle:**
 - **Entfernung:**
 - **Druckniveau:**
 - **Bei vor-Ort-Erzeugung:**
 - **Leistung des Elektrolyseurs oder Reformers**
 - **Anlagenkonfiguration**
11. Wie wird **Strom bereitgestellt** (Netzanschluss, Spannungsebene, Stromspeicher, Eigenenerzeugung)?
 - **Netzanschluss** (ggf. geplant, beantragt, vorhanden):
 - Stromspeicher [optional]:

- Typ (Batterie, Schwungrad, ...):
 - Kapazität:
 - Maximale Leistung (Ein-, Ausspeichern):
 - C-Rate:
12. Wie lange dauert die Installation eines Netzanschlusses?
 13. Kann "**Abfallwasserstoff**" (aus Druckentlastungen oder Wartungen) genutzt werden?
 14. Wie sind **die Anlagen vor Ort** ausgelegt?
 - **H₂-Speicher:**
 - Druckniveau(s):
 - Größe:
 - **Verdichter:**
 - Leistung:
 - Druckniveau:
 15. Wie sind die Betankungen ausgelegt (Druckniveaus, gekühlt/ungekühlt, Befülldauer)? LowDuty (bis 60g/s) und/oder HeavyDuty (bis 120/./300 g/s)?
 16. Welche **Auslastung** erwarten Sie bei **Inbetriebnahme** und **zukünftig** (2035)?
 17. Erwarten oder Planen Sie in den **Jahren 2025 bis 2035 Änderungen** bei der Auslegung Ihrer Infrastruktur (z. B. Ladeleistung, Anschluss, Druck, Kühlung)?
 18. Ist zukünftig (gerne mit Angabe des Zeitraums) eine **gemeinsame Infrastruktur** für batterieelektrische Fahrzeuge sowie Wasserstofffahrzeuge an Ihrem Standort vorgesehen? Gibt es **Synergieeffekte**?

Teil 3: ERFAHRUNGEN, CHANCEN UND HERAUSFORDERUNGEN (20min)

Im Folgenden würden wir gerne von Ihnen erfahren welche **Erfahrungen** Sie bislang bei der Errichtung von **Ladestationen** / **Wasserstofftankstellen** gemacht haben, welche **Chancen** und **Herausforderungen** Sie sehen.

Wir möchten gerne mit Ihren Erfahrungen und Herausforderungen aus bisherigen Projekten beginnen.

19. Welche Herausforderungen erleben Fahrer und Logistikunternehmen bei der Nutzung von E-Lkw-Ladestationen?
20. Wie sieht heute und in Zukunft ein **typischer Infrastrukturstandort** für Lkw aus?
 - Anzahl und Art **Ladepunkte** / **Tankstellen**:
 - Kombination Pkw / Lkw [optional]
21. Was sind die **zentralen Schritte** von der ersten Idee bis hin zur finalen Umsetzung eines Infrastrukturstandorts für Lkw (auch im Vergleich / basierend auf Erfahrungen von Pkw)?
22. Welche (unerwarteten) Herausforderungen sind in bisherigen Infrastrukturprojekten für **Batterie-Lkw** / **Wasserstoff-Lkw** aufgetreten?
23. Welche Maßnahmen haben sich als besonders effektiv erwiesen, um Infrastruktur für Lkw erfolgreich umzusetzen?

Zu Fragen 21 bis 27:

Stimme überhaupt nicht zu	Stimme eher nicht zu	Neutral	Stimme eher zu	Stimme voll und ganz zu
1	2	3	4	5

24. Inwiefern stimmen Sie der folgenden Aussage zu: „**Behörden** spielen eine entscheidende Rolle für den Erfolg von Infrastrukturprojekten für Lkw.“

- **Warum und worauf ist besonders zu achten?**

25. Inwiefern stimmen Sie der folgenden Aussage zu: „**Die Politik in Baden-Württemberg** unterstützt den Ausbau der Ladeinfrastruktur für Lkw ausreichend.“
26. Inwiefern stimmen Sie der folgenden Aussage zu: „**Technische Rahmenbedingungen** spielen eine entscheidende Rolle für den Erfolg von Infrastrukturprojekten für Lkw.“

- **Warum und worauf ist besonders zu achten?**

27. Inwiefern stimmen Sie der folgenden Aussage zu: „**Wirtschaftliche Rahmenbedingungen** spielen eine entscheidende Rolle für den Erfolg von Infrastrukturprojekten für Lkw.“

- **Warum und worauf ist besonders zu achten?**

In den nächsten Fragen soll es um **Chancen** gehen, die Infrastrukturprojekte attraktiv machen.

28. Was sind für einen Infrastrukturbetreiber **relevante Kriterien** bei der Entscheidung **für oder gegen einen Standort?** [z. B. Konkrete Nachfragen? Bauchgefühl? Fördergelder? Vorhandene Infrastruktur?]
29. Welche **Faktoren** machen einen Standort aus Betreibersicht für Infrastruktur **besonders attraktiv?**
30. Welche **Auslastung in Fahrzeugen pro Tag** und/oder **abgegebener Energiemenge pro Tag** sollte ein attraktiver Standort erreichen?

Skala zu Fragen 31 bis 34:

Stimme überhaupt nicht zu	Stimme eher nicht zu	Neutral	Stimme eher zu	Stimme voll und ganz zu
1	2	3	4	5

31. Inwiefern stimmen Sie der folgenden Aussage zu: „**Förderprogramme und finanzielle Anreize** spielen eine wichtige Rolle bei der Entwicklung von Lkw-Infrastrukturprojekten.“

- **Warum und worauf ist besonders zu achten?**

32. Inwiefern stimmen Sie der folgenden Aussage zu: „**Die Kombination von Wasserstofftankstellen und Lkw-Ladepunkten** an einem Standort steigert die Attraktivität des Standortes.“

- **Warum und worauf ist besonders zu achten?**

Teil 4: ALLGEMEINE MARKTENTWICKLUNG UND INFRASTRUKTURBEDARF (15 min)

Im letzten Abschnitt unseres Interviews möchten wir mit Ihnen gerne über allgemeine **Marktentwicklungen** und die daraus resultierenden **Infrastrukturbedarfe** sprechen.

33. Inwiefern stimmen Sie der folgenden Aussage zu: „E-LKW werden in der Praxis gut akzeptiert und genutzt [werden].“

- **Warum?**

34. Inwiefern stimmen Sie der folgenden Aussage zu: „Wasserstoff-LKW werden in der Praxis gut akzeptiert und genutzt [werden].“

- **Warum?**

35. Welche Marktanteile erwarten Sie bis 2030, 2035 und 2040 für

- Batterieelektrische Lkw?
- Wasserstoff-Lkw?
 - Brennstoffzelle?
 - Wasserstoffverbrennungsmotor?

36. Welche Rolle spielt **öffentlich zugängliche und private** (Betriebshöfe, Depots ...) Infrastruktur für Lkw?
37. An welchen Standorten wird **Ladeinfrastruktur/Tankinfrastruktur** aktuell am meisten benötigt, und welche Faktoren beeinflussen diese Nachfrage?
38. Gibt es **Synergieeffekte oder potenzielle Konfliktpotenziale** zwischen der Ladeinfrastruktur für batterieelektrische Lkw und Wasserstoff-Lkw?
 - Allgemein:
 - Am gleichen Standort:
 - Konkrete Praxisbeispiele [optional]

Damit haben wir das Ende unseres Interviews erreicht. Haben **Sie weitere Anmerkungen** oder **Rückfragen**?

Vielen Dank. An dieser Stelle beenden wir die Aufzeichnung.

Haben Sie **außerhalb der Aufzeichnung** noch **Anmerkungen oder Rückfragen**?

Nochmals vielen Dank für Ihre Unterstützung. Auf Wiedersehen.

A.2 Ergebnistabelle Merkmale von H₂-Tankstellen

Eine Zusammenfassung der wichtigsten abgefragten Merkmale zeigt die folgende Tabelle.

[Tabellenbeschriftung]

Abfragekriterium		Kat. 1		Kat. 2		Kat. 3		Kat. 4
Status	9	in Betrieb	2	in Umsetzung				
Integration	7	stand-alone	5	integriert				
AFIR: 200km TEN-V	7	ja	2	teilweise	2	nein		
AFIR: städtische Knoten	3	ja	0	teilweise	9	nein		
<i>350 bar</i>								
Anzahl Zapfpunkte	5	ein	6	zwei	1	drei		
Kapazität Tanksysteme	12	>=30 kg H ₂	11	>= 40 kg H ₂	5	> 50 kg H ₂		
Betankungsdauer	10	10-15min	1	15-20min	1	k.A.		
<i>700 bar</i>								
Anzahl Zapfpunkte	6	ein	1	zwei	1	vier	4	keiner
Kapazität Tanksysteme	7	>5 kg H ₂	5	>= 10 kg H ₂	2	>= 50 kg H ₂		
Betankungsdauer	6	10-15min	1	15-20min	5	k.A.		
Durchsatz in kg H ₂ /Tag	12	>=100 kg	10	>=1.000 kg	3	>=2.000 kg		
<i>Versorgung</i>								
vor Ort Elektrolyse	3	ja	5	nein	4	k.A.		
Wechselcontainer	8	ja	0	nein	4	k.A.		
grüner Wasserstoff	10	ja	2	teilweise				
Batteriespeicher vorh.?	1	ja	11	nein	0	k.A.		
<i>Mittelwerte</i>								
O Flächenbedarf Technik	484,4	m ²						
O Größe Netzanschluss	304,0	kW / kVA						