



Erfahrungen mit Planung und Bau der Infrastruktur und Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitforschung der ersten Projektphase

Oberleitungs-LKW als ein Baustein für ein nachhaltiges Verkehrssystem: Das Projekt eWayBW in Baden-Württemberg



Inhalt

Kurzzusammenfassung	2
1 Einleitung	5
1.1 Warum werden alternative LKW-Antriebstechnologien benötigt?	5
1.2 Das Projekt eWayBW und die Pilotstrecke im Murgtal	5
1.2.1 Was ist eWayBW und wie ist es entstanden?	5
1.2.2 Was sind die Projektziele?	5
1.2.3 Durch welche Besonderheiten zeichnet sich die Pilotstrecke im Murgtal aus?	6
1.2.4 Welche LKW-Antriebstechnologien werden miteinander verglichen?	6
1.2.5 Wie sieht der Zeitplan des Projektes aus?	6
1.2.6 Was ist die Oberleitungstechnologie?	7
1.3 Welche Ziele verfolgt die wissenschaftliche Begleitforschung?	8
2 Erfahrungen mit Planung, Genehmigung und Bau der Oberleitungsinfrastruktur	9
2.1 Welche Erfahrungen wurden bei der Planung, Genehmigung und Vergabe gesammelt?	9
2.2 Was lässt sich zur Errichtung der Anlagen bilanzieren?	9
3 Zentrale Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitforschung von eWayBW	12
3.1 Was sind die relevanten Ergebnisse zu technisch-wirtschaftlichen Themen in eWayBW?	12
3.1.1 Inwieweit eignen sich Bundesstraßen in Baden-Württemberg für Oberleitungen und welches sind Ausbau-Szenarien für Oberleitungen an Autobahnen?	12
3.1.2 Welchen zusätzlichen Strombedarf würden Oberleitungs-LKW in Baden-Württemberg verursachen?	14
3.1.3 Wie verhält sich der Oberleitungs-LKW im Vergleich zum Schienenverkehr?	14
3.1.4 Wie lässt sich die Oberleitung auch durch andere Fahrzeuge nutzen?	18
3.1.5 Wie können Oberleitungs-LKW im Murgtal autonom betrieben werden?	19
3.2 Was sind die relevanten Ergebnisse zu sozialwissenschaftlichen und übergeordneten Themen in eWayBW?	20
3.2.1 Wie wird das Projekt eWayBW und Oberleitungs-LKW in verschiedenen Gruppen wahrgenommen und bewertet?	20
3.2.2 Was ist aus regulatorischer Sicht notwendig für die Einführung von Oberleitungs-LKW?	20
3.2.3 Wie aktiv sind angrenzende Länder im Thema Oberleitungs-LKW und von welchen Erfahrungen aus Deutschland können sie profitieren?	22
4 Ausblick auf die zweite Projektphase von eWayBW: Der Betrieb	25
4.1 Wann startet die zweite Projektphase und welche LKW-Typen werden die Pilotstrecke nutzen?	25
4.2 Ausblick auf zentrale Themen der wissenschaftlichen Begleitforschung in der zweiten Phase	25
4.2.1 Erhebung von realen Daten zu den LKW-Typen und Vergleich der unterschiedlichen LKW-Typen	25
4.2.2 Auswirkungen des Einsatzes von Oberleitungs-LKW auf Lärmbelastung und Luftschadstoffe	25
4.2.3 Auswirkungen des Einsatzes von Oberleitungs-LKW auf Straßenplanung, Straßenbetrieb und Nutzerverhalten	26
4.2.4 Akzeptanzforschung	27
4.2.5 Erfahrungsaustausch mit den beiden anderen Pilotversuchen	27
5 Literaturverzeichnis	28
Impressum	29

Kurzzusammenfassung

Die vorliegende Broschüre stellt die zentralen Ergebnisse der ersten Projektphase von eWayBW dar, in der es um den Aufbau der Oberleitungsinfrastruktur geht. Weiterhin gibt sie einen Ausblick auf die zweite Phase mit dem dann stattfindenden Pilotbetrieb von Oberleitungs-LKW.

Die Teststrecke eWayBW ist die einzige deutsche Pilotstrecke für Oberleitungs-LKW auf einer Bundesstraße. In der Folge des teilweise nur rudimentär vorhandenen Autobahnnetzes ergibt sich für Baden-Württemberg die Besonderheit, dass mehrere Bundesstraßen existieren, die insbesondere im Hinblick auf den Straßengüterverkehr eine herausragende Bedeutung haben. Kürzlich wurde der Bau der Oberleitung abgeschlossen. In dieser Phase konnte gezeigt werden, dass auch unter den speziellen Bedingungen einer derartigen Teststrecke im Murgtal im Schwarzwald wie beengte Platzverhältnisse, enge Kurvenradien, Brücken und Tunnel sowie Lärmschutzanforderungen tragfähige Lösungen gefunden wurden. Damit konnten gegenüber den anderen beiden Pilotstrecken in Hessen und Schleswig-Holstein, die auf geraden und ebenen Autobahnstrecken errichtet wurden, zusätzliche wertvolle Erkenntnisse gesammelt werden. Gleichzeitig ist positiv hervorzuheben, dass durch den Bau der Oberleitungen keine Verkehrsprobleme

– im Gegensatz zu vorherigen Befürchtungen – aufgetreten sind. Die Pilotstrecke auf der B 462 im Murgtal ist etwa 18 Kilometer lang. Zwei Abschnitte mit einer Gesamtlänge von knapp vier Kilometern wurden mit Oberleitungen ausgestattet. Auf der Strecke werden LKW im Pendelverkehr zwischen Papierfabriken im Murgtal und Logistikzentren in der Rheinebene verkehren.

Der Aufbau der Teststrecke wurde von einer Akzeptanzforschung eng begleitet. Die Ergebnisse zeigen, dass die am Projekt beteiligten Speditionen das Vorhaben positiv bewerteten. Die Erfüllung der Kundenbedürfnisse sowie die entstehenden Kosten sind dafür ausschlaggebende Kriterien. Die Auswertung von lokalen Zeitungsartikeln ergab, dass etwa die Hälfte aller Artikel das Projekt und die Technologie auf neutrale Weise beschrieben haben, rund ein Drittel waren eher positiv und rund ein Fünftel eher negativ. Die häufigsten Themen waren dabei die Beschreibung der Technologie, der Teststrecke und und deren Aufbaus. Außerdem zeigen die Artikel, dass in der öffentlichen Debatte Umweltauswirkungen, Auswirkungen auf Anwohner:innen und Verkehrsauswirkungen zu den wichtigsten Diskussionspunkten zählen. Teilweise spielt auch der Vergleich mit anderen Transportoptionen im Güterverkehr wie der Bahn eine Rolle. In der Bevölkerung vor Ort zeigten sich verschiedene Meinungen auf der Basis der Auswertung von Bürgeranfragen. Kritisch wurden insbesondere vermutete Verkehrsprobleme in der Bauphase genannt. Weitere erwähnte Vorbehalte waren eine allgemeinere Skepsis hinsichtlich der politischen Partizipation sowie gegenüber den Kosten des Projekts. Die Akzeptanzforschung wird in der zweiten Projektphase weiter fortgeführt.





Bezüglich eines weiteren möglichen Ausbaus der Infrastruktur mit Oberleitungen entlang der Autobahnen in Baden-Württemberg wurde in der ersten Projektphase gezeigt, dass ein solcher Ausbau mit der Verbindung der großen Logistikregionen Mannheim, Karlsruhe, Heilbronn und Stuttgart mit einem Netz von 210 km starten sollte. Ein möglichst flächendeckender Ausbau in Baden-Württemberg unter Einschluss von Bundesstraßen könnte dann ein Netz von 1.250 km umfassen. Weiterhin wurde festgestellt, dass auch ein autonomer Betrieb der LKW technisch umsetzbar ist, wofür jedoch noch Weiterentwicklungen notwendig wären.

Ein anderer Untersuchungsschwerpunkt betraf die Frage, ob die Bahnstrecke im Murgtal alternativ für den Güterverkehr genutzt werden könnte. Die Analysen ergaben, dass die Gleisanschlüsse der betrachteten Papierfabriken jedoch jahrelang weder genutzt noch gewartet und an einigen Stellen auch zurückgebaut wurden. Für eine Wiederaufnahme des Bahnbetriebs in die Werksgelände der Papierfabriken hinein wären daher erhebliche Investitionen notwendig. Darüber hinaus verbieten die räumlichen Beschränkungen auf den Werksgeländen der Papierfabriken einen gemischten Betrieb von Bahn und LKW. Aus diesen Gründen ist die Reaktivierung der Bahnstrecke an der Pilotstrecke keine sinnvolle Alternative.

Die Pilotstrecke zeichnet sich durch einen hohen lokalen LKW-Verkehr zwischen den Papierfabriken im Murgtal und den Logistikzentren in der Rheinebene aus. Der hier stattfindende Verkehr mit konventionellen LKW erfolgt rund um die Uhr an 365 Tagen. Die eingesetzten Oberleitungs-LKW werden somit während dem nun anstehenden Pilotbetrieb stark genutzt

werden und frequentieren die Oberleitungsabschnitte täglich mehrfach. Man erhofft sich hierdurch deutliche Umweltvorteile gegenüber den konventionellen LKW. Die Umweltwirkungen werden durch Messungen an der Teststrecke und auf einem eigens zu errichtenden Rollenprüfstand erhoben.

Ein weiteres Alleinstellungsmerkmal des Projektes ist, dass es in der jetzt startenden Phase zusätzlich zur Erprobung der Hybrid-Oberleitungs-LKW (HO-LKW) einen Technologievergleich mit allen derzeit in Betracht kommenden alternativen Antriebsformen für schwere Nutzfahrzeuge geben wird. Neben einem Hybrid-Oberleitungs-LKW, der mit einem Elektroantrieb ausgestattet ist (O-BEV), kommen ein Elektro-LKW und ein Wasserstoff-/Brennstoffzellen-LKW zum Einsatz. Außerdem werden temporär synthetische Kraftstoffe im Hybrid-Oberleitungs-LKW verwendet. Damit werden erstmals in einem Projekt alle erfolversprechenden Antriebsformen für schwere Nutzfahrzeuge zur Dekarbonisierung des Straßengüterverkehrs unter realen Bedingungen parallel eingesetzt und getestet. Hierfür werden reale Fahrdaten erhoben und darauf basierend Aussagen bezüglich der möglichen künftigen Rolle der verschiedenen Alternativen abgeleitet.

»Auf einer öffentlichen Teststrecke auf der Bundesstraße B 462 zwischen Kuppenheim und Gernsbach-Obertsrot werden zwei Abschnitte mit Oberleitungen elektrifiziert.«



Abbildung 1: Elektrifizierte Abschnitte (grün) innerhalb der Versuchsstrecke

1 Einleitung

1.1 Warum werden alternative LKW-Antriebstechnologien benötigt?

Durch eine Steigerung der Energieeffizienz bei LKW-Verbrennungsmotoren konnte in den letzten Jahren eine Senkung der CO₂-Emissionen pro Tonnenkilometer in Deutschland erreicht werden. Diese Gewinne wurden jedoch durch eine deutlich angestiegene Güterverkehrsleistung wieder aufgebraucht. Im Ergebnis werden derzeit rund 29 Prozent der CO₂-Emissionen im deutschen Verkehrssektor sowie rund 6 Prozent der gesamten CO₂-Emissionen in Deutschland durch den Straßengüterverkehr verursacht. Und die Verkehrsprognosen gehen von einem weiteren Wachstum der Straßengüterverkehrsleistung von bis zu 40 Prozent bezogen auf das Jahr 2010 aus. Das neue deutsche Klimaschutzgesetz von 2021 hat noch einmal die Treibhausgasminderungsziele deutlich verschärft und auch für den Verkehrssektor neue, ambitioniertere Ziele gesetzt. Somit steht der Güterverkehr in Bezug auf die Erreichung der Klimaziele vor einer besonderen Herausforderung.

Eine solche Zunahme des Güterverkehrs kann nicht allein durch eine forcierte Verlagerung des Transports auf die Schiene bewältigt werden. Die vom Umweltbundesamt in Auftrag gegebene Studie „Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050“ zeigt, dass – richtige Rahmenbedingungen vorausgesetzt – bis 2050 die Verkehrsleistung der Schiene im Vergleich zu heute zwar auf mehr als das Zweieinhalbfache gesteigert werden kann. Selbst dann verblieben 2050 jedoch noch 60 Prozent des Güterverkehrs auf der Straße. Dadurch ergibt sich neben der Verkehrsverlagerung auf die Schiene die dringende Erfordernis, LKW auf treibhausgasarme oder -neutrale Antriebstechnologien umzustellen.

1.2 Das Projekt eWayBW und die Pilotstrecke im Murgtal

1.2.1 Was ist eWayBW und wie ist es entstanden?

Mit der Verabschiedung des Aktionsprogramms Klimaschutz 2020 hat die Bundesregierung unter anderem beschlossen, Pilotprojekte zur Erforschung elektrischer Antriebe bei schweren Nutzfahrzeugen durchzuführen. Damit sollen die Aktivitäten der Projekte ENUBA und ENUBA2 fortgeführt werden, in deren Rahmen das Bundesumweltministerium Forschung zum elektrischen Betrieb von schweren Hybrid-Oberleitungs-LKW (HO-LKW) gefördert hat.

Zur Umsetzung dieses Beschlusses hat das Bundesumweltministerium am 23. Oktober 2015 die Richtlinien für das Förderprogramm „Erneuerbar mobil“ zur Förderung von Vorhaben im Bereich der Elektromobilität verabschiedet. In Bezug auf den dortigen Punkt 2.2 hat das Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg das Projekt eWayBW als eines von insgesamt drei derzeit laufenden Vorhaben zur Erprobung von Oberleitungs-LKW auf öffentlichen Straßen beantragt.

eWayBW ist ein Pilotprojekt zur Erforschung von elektrisch betriebenen HO-LKW. Auf einer ausgewählten öffentlichen Teststrecke auf der Bundesstraße B 462 zwischen Kuppenheim und Gernsbach-Obertsrot wurden zwei Abschnitte mit Oberleitungen elektrifiziert. In einer dreijährigen Pilotphase wird der Betrieb von Hybrid-Oberleitungs-LKW untersucht. Eine wissenschaftliche Begleitforschung begleitet das Projekt. Die Technologie, die im Rahmen von eWayBW unter Realbedingungen getestet werden soll, ist unter der Abkürzung „eHighway“ bekannt.

1.2.2 Was sind die Projektziele?

Mit der Durchführung des Pilotprojekts soll das eHighway-System im Rahmen einer anwendungsnahen Realisierung erprobt und evaluiert werden. Im Einzelnen ergeben sich die folgenden Zielsetzungen für das Gesamtprojekt:

1. Planung, Genehmigung, bauliche Umsetzung und Inbetriebnahme einer Infrastruktur zur Energieversorgung elektrisch angetriebener schwerer Nutzfahrzeuge via Oberleitung (HO-LKW) auf einem Abschnitt einer Bundesfernstraße in Baden-Württemberg.
2. Sicherstellung eines realitätsnahen, sicheren und zuverlässigen elektrischen Betriebs von HO-LKW auf der Pilotstrecke über einen mehrjährigen Zeitraum hinweg.
3. Erforschung relevanter verkehrs- und energietechnischer, gesellschaftlicher, ökologischer und ökonomischer Aspekte, die für einen späteren Ausbau des Systems relevant sind.
4. Untersuchung der Funktionalität und der Zuverlässigkeit der Oberleitungsinfrastruktur sowie der HO-LKW im Realbetrieb und Verknüpfung mit weiteren Zukunftstechnologien, wie zum Beispiel dem autonomen und vernetzten Fahren.
5. Öffentlich wahrnehmbares Schaufenster im Bereich der Elektromobilität für eine konkrete Handlungsoption zur Dekarbonisierung im Straßengüterverkehr.

1.2.3 Durch welche Besonderheiten zeichnet sich die Pilotstrecke im Murgtal aus?

Die Pilotstrecke auf der Bundesstraße B 462 hat eine Gesamtlänge von etwa 18 Kilometern und verläuft zwischen den Städten Kuppenheim und Gernsbach-Obertsrot. Zwei Abschnitte mit einer Gesamtlänge von knapp vier Kilometern wurden elektrifiziert.

Die Wahl der Strecke ist aus verschiedenen Perspektiven erfolgt. Zum einen zeichnet sich die Teststrecke durch ein hohes LKW-Verkehrsaufkommen zwischen zwei Papierfabriken und zwei Logistikzentren aus. Den Papierfabriken ist gemein, dass die Produktion bedingt durch die Tallage unter sehr beengten Verhältnissen erfolgt. Nennenswerte Flächen für die Lagerhaltung stehen nicht zur Verfügung, weshalb die fertiggestellten Produkte fortlaufend aus dem Murgtal in nahegelegene Logistikzentren abtransportiert werden. Dies erfolgt rund um die Uhr an jedem Tag im Jahr. Bei einer durchschnittlichen Auslastung der LKW in Höhe von 22 Tonnen Nutzlast ergeben sich rund 23.200 Umläufe pro Jahr oder durchschnittlich 64 Umläufe pro Kalendertag. Unter der Annahme, dass diese Transporte mit sechs HO-LKW durchgeführt werden, ergibt sich pro HO-LKW eine Jahreslaufleistung von nahezu 142.000 km. Die eingesetzten Oberleitungs-LKW werden insofern stark genutzt und frequentieren die Oberleitungsabschnitte häufig. Der elektrische Fahranteil, d. h. die Strecken, die elektrisch gefahren werden, wird deshalb hoch sein.

Herausforderungen der Pilotstrecke

- beengte Platzverhältnisse
- enge Kurvenradien
- Brücken und Tunnel
- bauliche Anforderungen aufgrund des zum Teil felsigen Untergrunds
- besondere Anforderungen durch den Naturschutz

Der heutige starke LKW-Verkehr rund um die Uhr führt zu einer hohen lokalen Belastung der Bevölkerung im Murgtal mit Lärm und Luftschadstoffen. Dies hat in der Vergangenheit zu Akzeptanzproblemen des Logistikverkehrs geführt. Die beteiligten Logistikunternehmen sind deshalb sehr an alternativen Lösungen zu den konventionellen LKW interessiert.

Die Pilotstrecke im Murgtal ist die einzige Pilotstrecke in Deutschland auf einer Bundesstraße, die beiden anderen deutschen Pilotstrecken wurden entlang von geraden Autobahnstrecken

geplant und umgesetzt. In der Folge eines teilweise nur rudimentär ausgebauten Autobahnnetzes ergibt sich für Baden-Württemberg das Alleinstellungsmerkmal, dass es im südlichen Landesteil, aber auch im Großraum Stuttgart mehrere Bundesstraßen gibt, die insbesondere im Hinblick auf den Straßen-güterverkehr eine herausgehobene Verkehrsbedeutung haben und im gesamten Straßeninfrastrukturnetz die fehlenden Autobahnverbindungen substituieren. Deshalb sind Untersuchungen der Oberleitungstechnologie auf Bundesstraßen für Baden-Württemberg von besonderem Interesse.

Aus der Wahl der Teststrecke ergeben sich eine Reihe von Herausforderungen, wie beengte Platzverhältnisse, enge Kurvenradien, Brücken und Tunnel, bauliche Anforderungen aufgrund des zum Teil felsigen Untergrunds sowie besondere Anforderungen durch den Naturschutz. Im Projektrahmen wird untersucht, welche Lösungsmöglichkeiten für diese Herausforderungen bestehen und ob die Oberleitungstechnologie universell eingesetzt werden kann. Damit werden im Vergleich zu den beiden anderen deutschen Pilotstrecken einzigartige Erfahrungen mit eWayBW gesammelt, was für zukünftige Pilotstrecken wichtige Erkenntnisse liefern kann.

Ein weiterer interessanter Aspekt, der das Projekt auszeichnet, besteht darin, dass früher die Logistik der beiden Papierfabriken zumindest teilweise über die Bahn abgewickelt wurde. Eine potenzielle Wiederinstandsetzung der Gleise und die Aufnahme dieses Bahnverkehrs kann somit ebenfalls als Alternative untersucht werden. Auf dieser Grundlage lassen sich dann ebenfalls Empfehlungen für eine mögliche Stärkung des Schienengüterverkehrs ableiten.

1.2.4 Welche LKW-Antriebstechnologien werden miteinander verglichen?

Ein weiteres Alleinstellungsmerkmal des Projektes ist, dass es zusätzlich zur Erprobung der Hybrid-Oberleitungs-LKW einen Technologievergleich mit allen derzeit in Betracht kommenden alternativen Antriebsformen für schwere Nutzfahrzeuge geben wird. Neben mehreren Hybrid-Oberleitungs-LKW, die mit einem Elektroantrieb ausgestattet sind, kommen außerdem ein Elektro-LKW und ein Wasserstoff-/Brennstoffzellen-LKW zum Einsatz. Zusätzlich werden temporär synthetische Kraftstoffe im HO-LKW verwendet. Damit werden erstmals in einem Projekt alle derzeit erfolgversprechenden alternativen Antriebsformen für schwere Nutzfahrzeuge zur Dekarbonisierung des Straßen-güterverkehrs unter realen Bedingungen parallel eingesetzt und getestet und können so direkt miteinander verglichen werden.

1.2.5 Wie sieht der Zeitplan des Projektes aus?

Offizieller Projektstart von eWayBW war am 11. September 2017 mit der Übergabe des Förderbescheids der damaligen Bundesumweltministerin Barbara Hendricks an Landesverkehrsminister



Abbildung 1: Hybrid-Oberleitungs-Lkw (Quelle: „Scania CV AB“)

Winfried Hermann. Die Planungen haben Anfang des Jahres 2018 begonnen und wurden im Oktober 2018 abgeschlossen. Das Ausschreibungsverfahren zum Bau der Oberleitungsinfrastruktur hat sich im Jahr 2019 verzögert, so dass die Auftragsvergabe erst im Dezember 2019 möglich wurde.

Der Bau der Anlage begann im Juni 2020 und wird im Juni 2021 beendet sein. Im Juli 2021 wird die Pilotstrecke dann in Betrieb genommen werden. Daran schließt sich der dreijährige Realbetrieb an, der somit von Juli 2021 bis Juni 2024 stattfinden soll. Nach der Betriebsphase soll die Oberleitungsinfrastruktur rückgebaut werden, sofern sich kein weiteres Betriebskonzept ergibt. Im Falle eines Weiterbetriebs wurde vom Land Baden-Württemberg die Durchführung eines Planfeststellungsverfahrens zugesagt.

Projektbaustein	Abschlussstermin
Projektstart	11. September 2017
Abschluss	
Genehmigungsverfahren	Oktober 2018
Vergabe der Bauleistungen	Dezember 2019
bauliche Umsetzung	Juni 2020 bis Juni 2021
Inbetriebnahme der Anlage	Juli 2021
Realbetrieb auf der Pilotstrecke	Juli 2021 – Juni 2024
Rückbau der Anlage	Herbst 2024

1.2.6 Was ist die Oberleitungstechnologie?

Bei der Oberleitungstechnologie wird zwischen den Fahrzeugen, d. h. den Hybrid-Oberleitungs-LKW und der Infrastruktur, also den Oberleitungen, unterschieden. Was die Fahrzeuge anbelangt, so erkennen Sensoren im Dach des LKW, ob sich eine Oberleitung über dem Fahrzeug befindet. Die eingebauten Stromabnehmer werden daraufhin ausgefahren, stellen einen Kontakt zur Oberleitung her und versorgen den Elektromotor des LKW mit Strom bzw. laden die Batterie. Sobald die Oberleitung endet oder der LKW zu einem Überholvorgang ansetzt, übernimmt ein Hybridantrieb, entweder ein Diesel- oder idealerweise ein Batteriebetrieb. Die Geschwindigkeit muss sowohl beim Schließen als auch beim Lösen der Stromverbindung nicht verringert werden und erfolgt automatisch im fließenden Verkehr. Durch einen Hybridantrieb auf Batteriebasis ergibt sich der Vorteil, dass die Batterie während der Stromversorgung über die Oberleitung geladen wird, so dass beim Verlassen der Oberleitungsstrecke die maximale Reichweite im Batteriemodus zur Verfügung steht.

Die Oberleitungen des eHighway-Systems sind an die Oberleitungstechnik der Bahn angelehnt. Die Oberleitungen sind an Masten aufgehängt, die in Abständen von etwa 50 Metern stehen. Die Masten verfügen über Querträger, die sogenannten Ausleger, an denen die Kettenwerke befestigt sind. Die Fahrdrähte werden in einer Regelhöhe von 5,12 Metern geführt und können bei Bedarf auf eine Höhe von bis zu 4,70 Meter gesenkt werden.

Im Hinblick auf die elektrische Sicherheit ist anzumerken, dass die Oberleitungs-LKW per Gleichstrom mit einer Niederspannung von lediglich 670 Volt betrieben werden. Durch die Regelaufhängung des Fahrdrachts in einer Höhe von 5,12 Metern über

der Fahrbahn sowie die Isolierung des Systems wird eine hohe passive Sicherheit gewährleistet. Zudem beinhaltet das System elektrische Schutzkonzepte, die aus der Bahntechnik übernommen werden. Aufgrund der Niederspannung bestehen auch im Hinblick auf die elektromagnetische Verträglichkeit keine Beeinträchtigung. Auch die mechanische Sicherheit ist gewährleistet. So kommen Oberleitungsstrukturen zum Einsatz, die ebenfalls aus der Bahntechnik übernommen worden sind. Von den Oberleitungen geht somit keine besondere Gefahr aus. Die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer:innen im Hinblick auf einen möglichen Anprall an einem Strommast wird durch Fahrzeugrückhaltesysteme (Schutzplanken) gewährleistet. Wie bei den anderen beiden Pilotstrecken erfolgt ein intensiver Austausch mit der Polizei und den Rettungskräften.

1.3 Welche Ziele verfolgt die wissenschaftliche Begleitforschung?

Der Feldversuch eWayBW ist mit der Zielsetzung verbunden, die verkehrs- und energietechnischen, gesellschaftlichen, ökologischen und ökonomischen Aspekte, die für einen späteren weiteren Ausbau des Systems relevant werden können, möglichst weitgehend im Realbetrieb zu betrachten. Die wissenschaftliche Begleitung durch eine Reihe an Instituten stellt die Ergebnisse und Erkenntnisse aus dem Feldversuch eWayBW gesichert dar und versucht, diese auf eine netzweite Realisierung der Technologie hochzurechnen.

Die Themenschwerpunkte der Begleitforschung sind vielfältig. So wird untersucht, welche ökologischen Auswirkungen sich durch den Einsatz der HO-LKW ergeben. Dies bezieht sich zum einen auf die möglichen Einsparungen an Treibhausgasen sowie Energieeinsparungen im Vergleich zu einem herkömmlichen Diesel-LKW. Zum anderen werden durch Messungen entlang der Teststrecke sowie durch Analysen auf einem LKW-Fahrzeugprüfstand die Auswirkungen auf lokale Lärm- und Luftschadstoffemissionen erhoben.

Eine weitere Fragestellung behandelt die Auswirkung des Pilotvorhabens auf den Verkehrsablauf, insbesondere auf Unfälle. Hierzu erfolgen u. a. Videoaufzeichnungen zur Beobachtung des Verkehrs auf der Teststrecke.

Die beiden vorangestellten Aspekte sind bedeutsam für die Akzeptanz der neuen Technologie. Die Akzeptanz für den Einsatz von HO-LKW bei Anwohner:innen, LKW-Fahrer:innen und Speditionen wird u. a. mit Interviews untersucht. Weiterhin wird die mediale Darstellung des Pilotversuches ausgewertet.

Offene Aspekte bei der Technologie, die insbesondere für eine weitere Verbreitung von Relevanz sind, betreffen Analysen zum zusätzlichen Strombedarf, Auswirkungen auf Stromnetze und den optimierten Einsatz von regenerativem Strom. Dies wird

über eine Betrachtung zur Entwicklung des Energiesystems und Stromnetzausbaus im Projekt bewertet. Dies ist eng damit verbunden, wie sich ein Markthochlauf in Baden-Württemberg künftig darstellen könnte – d. h. welche Strecken besonders interessant sind und wie viele LKW sich unter wirtschaftlichen Aspekten auf die neue Technologie sinnvoll umstellen lassen. Deshalb wird eine detaillierte Wirtschaftlichkeitsbewertung der Technologie im Vergleich zu alternativen Optionen vorgenommen und analysiert, welche Optionen unter welchen Bedingungen eine sinnvolle Lösung sind.

Da der Feldversuch in Baden-Württemberg einer von drei in Deutschland ist, erfolgt ein enger Erfahrungsaustausch und Abgleich mit den beiden anderen Feldversuchen in Hessen (ELISA) und Schleswig-Holstein (FESH). Gemeinsames Lernen ist hier das Schlagwort. Weiterhin werden die Ergebnisse auf internationaler Ebene vorgestellt und diskutiert und somit eine Vernetzung mit angrenzenden Ländern herbeigeführt.

Um einen Vergleich mit dem Schienengüterverkehr zu ermöglichen, erfolgt im Projektrahmen eine Prüfung der Wiederinbetriebnahme vorhandener Schienen und ein wirtschaftlicher und ökologischer Vergleich der verschiedenen Alternativen.

Weiterhin erfolgen Untersuchungen zur Funktionalität und Zuverlässigkeit der Oberleitungsinfrastruktur sowie der HO-LKW im Realbetrieb sowie eine Verknüpfung mit weiteren Zukunftstechnologien, wie zum Beispiel dem autonomen und vernetzten Fahren. Das Testfeld Autonomes Fahren Baden-Württemberg gehört ebenfalls zu den herausgehobenen regionalen Forschungsaktivitäten und Partner hiervon sind in der Begleitforschung vertreten. Die zentralen Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitforschung der ersten Phase von eWayBW sind in Kapitel 3 dargestellt.

Ziele der wissenschaftlichen Begleitforschung

Der Feldversuch eWayBW ist mit der Zielsetzung verbunden, die verkehrs- und energietechnischen, gesellschaftlichen, ökologischen und ökonomischen Aspekte, die für einen späteren weiteren Ausbau des Systems relevant werden können, möglichst weitgehend im Realbetrieb zu betrachten.

2 Erfahrungen mit Planung, Genehmigung und Bau der Oberleitungsinfrastruktur

2.1 Welche Erfahrungen wurden bei der Planung, Genehmigung und Vergabe gesammelt?

Mit der Planung der Anlage wurde zu Beginn des Jahres 2018 begonnen. Grundlagen waren u. a. die vermessungstechnische Aufnahme des Bestandes, die Erhebung der Versorgungsleitungen, die Durchführung von Baugrundanalysen sowie Kampfmittelerkundungen. Vorab waren auch Maßnahmen zur Baufeldfreimachung, wie das Verlegen einer kreuzenden Stromleitung oder die bauliche Anpassung einer Signalanlage umzusetzen.

Ziel dabei war es, die Oberleitungsanlage vorab so genau zu planen, dass die Maststandorte mit hinreichender Genauigkeit bestimmt und auch die Standorte der Unterwerke in der Entwurfsplanung bereits festgelegt werden konnten. Genaue Angaben zu den geplanten baulichen Anlagen erwiesen sich insbesondere in der öffentlichen Diskussion, im Genehmigungsverfahren und bei der vorzeitigen Identifizierung baulicher Zwangspunkte im Streckenverlauf, z. B. durch Brückenbauwerke und Lärmschutzwände oder die zahlreichen Versorgungsleitungen im Untergrund als sehr hilfreich. In einem Bauablaufkonzept wurden die unterschiedlichen Bauphasen definiert und die zugehörigen Verkehrsführungen entwickelt. Diese Planungen waren die Grundlagen für die Leistungsbeschreibungen der nachfolgenden Ausschreibung.

Im Vergleich zu den beiden Pilotprojekten an Autobahnen des Bundes erwiesen sich die reduzierten Straßenquerschnitte der Bundesstraße, der kurvigere Streckenverlauf sowie die Murgbrücke und die angrenzenden Lärmschutzwände als echte Herausforderung in der Planung.

Das Verkehrsministerium hatte sich mit der Planfeststellungsbehörde beim Regierungspräsidium Karlsruhe darauf verständigt, das Projekt über die Feststellung einer unwesentlichen Änderung genehmigungsrechtlich abzuarbeiten. Die Oberleitungsinfrastruktur wird gemäß § 1 Abs. 4 Nr. 3 Bundesfernstraßengesetz (FStrG) als Straßenzubehör angesehen und ist damit Teil der Bundesfernstraße.

Durch die Planfeststellungsbehörde des Regierungspräsidiums Karlsruhe wurde nach Vorprüfung entschieden, dass gemäß § 5 UVPG (Gesetz zur Umweltverträglichkeitsprüfung) für das Vorhaben eWayBW keine Pflicht zur Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung besteht. Da außerdem keine öffentlichen Belange berührt waren, konnte in diesem Fall von unwesentlicher Bedeutung auf die Durchführung eines Planfeststellungs- oder Plangenehmigungsverfahrens verzichtet werden.

Während dieser Zeit wurde den Umweltbehörden und den Naturschutzverbänden das Projekt vorgestellt und deren Bedenken und Anregungen gehört. Ein Monitoring zum Vogelflugverhalten, insbesondere der Graureiherpopulation im Abschnitt 2 der Teststrecke wurde zugesichert. Freiwillige Maßnahmen sind die Anlage eines Amphibientümpels sowie Baumpflanzungen zum Ausgleich des Eingriffes in das Landschaftsbild.

Die öffentliche Ausschreibung des Bauvorhabens erfolgte im Spätjahr 2018. Nach der Durchführung eines mehrstufigen Verhandlungsverfahrens wurde die Bauausführung zum Ende des Jahres 2019 an ein Konsortium aus Siemens Mobility GmbH und SPL Powerlines Germany GmbH vergeben.

2.2 Was lässt sich zur Errichtung der Anlagen bilanzieren?

Die Einrichtung der bauzeitlichen Verkehrsführung im Juni 2020 markierte den Beginn der baulichen Umsetzung. Das im Vorfeld mit den betroffenen Behörden und Gemeinden abgestimmte Verkehrskonzept trug dazu bei, dass die vorab befürchteten Behinderungen durch Rückstauungen oder Umleitungs- und Schleichverkehre in den Ortschaften weitgehend ausblieben.

Durch die seitens des Regierungspräsidiums Karlsruhe beauftragte Umwelt-Baubegleitung (UBB) wurden regelmäßige Begehungen der Baustelle durchgeführt, um die Einhaltung der umweltrelevanten Auflagen der straßenrechtlichen Absehensentscheidung zu überwachen. Im Rückverhältnis stimmte die Umwelt-Baubegleitung alle umweltrelevanten Fragestellungen mit den zuständigen Behörden ab.



Abbildung 2: Einbringen der Fundamentrohre im Dreh-Bohrverfahren (Quelle: „eWayBW“)



Abbildung 3: Montage der Hänger und windschiefe Oberleitung im Kurvenbereich (Quelle: „eWayBW“)

Bauabschnittsweise wurden die Fundamentrohre mittels Dreh-Bohrverfahren in den Untergrund eingebracht, die Masten eingesetzt, ausgerichtet und fixiert. Die Anbauteile wie Ausleger, Hängesäulen und Nachspanngewichte wurden Schritt für Schritt montiert und die Masten für den Kettenwerkszug vorbereitet.

Nach dem Einziehen und vorläufigem Ausrichten der Tragseile und Fahrdrähte wurden die Hänger eingemessen, vor Ort konfektioniert und montiert. Abschließend erfolgte die Feinregulierung der Fahrdrähtlagen und die technische Abnahme.

Bevor die Tragkonsolen für die Brückenmasten montiert werden konnten, waren umfangreiche Voruntersuchungen und Vorarbeiten an den Pfeilern der Murgbrücke erforderlich. Alle

Arbeiten in den Murgauen konnten aus Gründen des Naturschutzes nur bei trockener Witterung ausgeführt werden. Arbeiten an der Gleisseite waren zusätzlich nur in den nächtlichen Sperrpausen möglich.

Die Oberleitungsanlage wird aus zwei Gleichrichterunterwerken mit dem nötigen Fahrstrom versorgt. In den Gleichrichterunterwerken wird der, aus den Mittelspannungsnetzen der Stadtwerke Gaggenau GmbH und der eneREGIO GmbH gelieferte Wechselstrom (20 kV) in Gleichstrom (600 V) umgewandelt. Die Unterwerke wurden per LKW über die Straße angeliefert und auf den bauseits vorbereiteten Kabelkellern montiert.

Im Juni 2021 war die Anlage betriebsbereit hergestellt.



Abbildung 4: Mastkonsolen an der Murgbrücke (Quelle: „eWayBW“)



Abbildung 5: Gleichrichterunterwerk im Abschnitt 1 (Quelle: „eWayBW“)

Baufortschritt Juni 2020 bis Juni 2021

- Fundamentrohre in den Untergrund eingebracht
- Masten eingesetzt, ausgerichtet und fixiert
- Ausleger, Hängesäulen und Nachspanngewichte montiert
- Masten für den Kettenwerkszug vorbereitet
- Vorläufiges Ausrichten der Tragseile und Fahrdrähte
- Hänger einmessen, vor Ort konfektionieren und montieren
- Feinregulierung der Fahrdrähtlagen
- Technische Abnahme

3 Zentrale Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitforschung von eWayBW

Die Themen der Begleitforschung lassen sich zwei Schwerpunkten zuordnen: Analysen, in denen es vor allem um die technisch-ökonomische Machbarkeit und weitere Verbreitung der Oberleitungs-Technologie geht sowie Themen, bei denen die politischen und gesellschaftlichen Implikationen der Technologie betrachtet werden.

3.1 Was sind die relevanten Ergebnisse zu technisch-wirtschaftlichen Themen in eWayBW?

3.1.1 Inwieweit eignen sich Bundesstraßen in Baden-Württemberg für Oberleitungen und welches sind Ausbau-Szenarien für Oberleitungen an Autobahnen?

Gegenüber Autobahnen weisen Bundesstraßen ein geringeres LKW-Verkehrsaufkommen und damit auf den ersten Blick ein etwas niedrigeres Potenzial für die Einführung der Oberleitungstechnologie auf. Zudem ist die Umsetzbarkeit auf Autobahnen technisch einfacher (Streckenführungen, keine Kreuzung oder Einmündung von Straßen auf gleichem Niveau, mehr Fahrspuren je Richtung, geringere Eingriffe während der Bauphase und geringere Akzeptanzprobleme bei der Bevölkerung). Trotzdem sind Bundesstraßen im Gesamtkonzept der zu betrachtenden Elektrifizierungsszenarien wichtig, da sie als Ergänzung für Lückenschlüsse von elektrifizierten Bundesautobahnen sinnvoll und notwendig sind. Darüber hinaus finden sich auch auf Bundesstraßen häufige Punkt-zu-Punkt Pendelverbindungen und somit ein fokussierter Nutzerbereich. Dies ist in Abbildung 6 am Beispiel von Baden-Württemberg gut zu erkennen, da die meiste Verkehrsbelastung durch LKW auf den Autobahnen A5 (zwischen Heidelberg und Basel), A8 (zwischen Karlsruhe und Ulm), A6 (zwischen Mannheim und Crailsheim) sowie der A81 (zwischen Heilbronn und Singen) stattfindet. Auf den Bundesstraßen B30 (Ulm–Ravensburg), B31 (Freiburg–Stockach–Lindau) oder B34 an der südlichen Landesgrenze (Weil am Rhein–Waldshut–Tiengen) findet nicht annähernd so viel Verkehr statt.

Daher wird im Folgenden das Autobahnnetz in Baden-Württemberg und dessen Potential für die Errichtung von Oberleitungen genauer betrachtet. In Baden-Württemberg gibt es

vier große Logistikregionen, die für den Oberleitungsausbau eine entscheidende Rolle spielen (Veres-Homm et al. 2015). Die vier großen Logistikregionen (Rhein-Neckar, Stuttgart, Ulm und Oberrhein) haben sowohl heute eine hohe Logistikintensität und Attraktivität für Unternehmen zur Ansiedlung, als auch eine Wachstumsperspektive für die Zukunft. Diese werden durch vier wichtige Autobahnen verbunden (A5, A6, A8, A81), auf denen auch ein großer Teil des Schwerlastverkehrs in Baden-Württemberg stattfindet (BASt 2019). Auf Basis verschiedener Logistikaufgaben, die mit Sattelzugmaschinen verrichtet werden, und der Zuordnung zu den Regionen, kann die Region Oberrhein für HO-LKW und O-BEV (batterieelektrischer Oberleitungs-LKW) eher ausgeschlossen werden, da hier weniger für diese Antriebsvarianten geeignete Verkehrsarten stattfinden. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass vor allem Strecken von Fahrzeugen, die explizit in der Logistikbranche (Bereich Güterbeförderung im Linien- oder Gelegenheitsverkehr) zugelassen sind, eher für einen Einsatz von Oberleitungsfahrzeugen sprechen (Jöhrens et al. 2018). Da überdurchschnittlich viele Unternehmen in den Regionen Stuttgart und

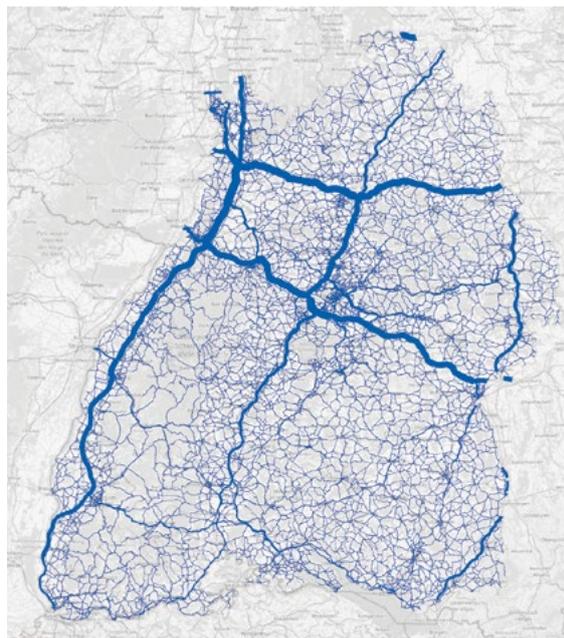


Abbildung 6: LKW-Belastung auf Straßen in Baden-Württemberg im Jahr 2030 (Quelle: PTV Validate)

Tabelle 1: Ausbau und Nutzen von Oberleitung im Jahr 2030 gemäß Wietschel et al. 2017

Gesamtausbau [km]	1.000	2.000	4.000
HO-LKW im Bestand	55.000	62.000	67.000
Gesamte elektrifizierte Fahrzeugkilometer im Jahr 2030	2,8 Mrd. km	3,8 Mrd. km	4,9 Mrd. km

Tabelle 2: Zusammenfassung der Ergebnisse für den Oberleitungsausbau und die Marktdiffusion von HO-LKW in Baden-Württemberg

Autobahnabschnitt	A5 (Mannheim – Karlsruhe)	A8 (Stuttgart – Karlsruhe)	A8 (Stuttgart – Ulm)
Gesamtausbau DE [km]	1.000	2.000	4.000
Ausbaustrecke [km]	44	59	87
Bestand HO-LKW 2030 BW	6.050	6.820	7.370
Gesamte elektrifizierte Fahrzeugkilometer 2030 in BW [km]	123 Mio.	196 Mio.	233 Mio.

Heilbronn dem verarbeitenden Gewerbe zuzuordnen sind, das eher kürzere Strecken fährt, kann man einen Großteil des Verkehrs auf der verbindenden A81 vermutlich mit BEV (Batterie-LKW) abwickeln. Gleiches gilt auf Basis der Analysen für den Verkehr von Heilbronn nach Mannheim (A6).

Es lässt sich somit festhalten, dass die Teilstrecken A81 (zwischen Stuttgart und Heilbronn) und A6 (zwischen Mannheim und Heilbronn) gut für den Einsatz von BEV geeignet sind, während die A5 (zwischen Mannheim und Karlsruhe) und die A8 (zwischen Karlsruhe und Stuttgart) eher für HO-LKW und O-BEV passfähig sind. Hierbei muss erwähnt werden, dass natürlich auch die jeweils anderen Antriebsarten auf den Strecken möglich sind und die Analyse nicht überschneidungsfrei ist.

Die Verkehrsbelastung mit Oberleitungs-LKW auf diesen Abschnitten ist abhängig vom Oberleitungs-Ausbau in Deutschland und vom Markthochlauf, d. h. der zukünftigen Verbreitung von Oberleitungs-LKW, in Deutschland. Daher wird für den Markthochlauf von Oberleitungs-LKW auf (Wietschel et al. 2017) zurückgegriffen. Hier ist der baden-württembergische Abschnitt der A5 unter den ersten 1.000 km Autobahnausbau mit Oberleitungen, da sie zu den meistbefahrenen in Deutschland zählt. Der Teil der A8 zwischen Stuttgart und Karlsruhe liegt innerhalb der ersten 2.000 km, die für Oberleitungen

deutschlandweit interessant wären, der Abschnitt von Ulm nach Stuttgart unter den ersten 4.000 km. Da die Autobahnen in (Wietschel et al. 2017) gemäß ihrer Auslastung absteigend sortiert sind, ergibt sich ein unterschiedlicher Nutzen für die Ausbaubereiche. Gemäß (Wietschel et al. 2017, Abb. 62 und 64) sind unterschiedliche Fahrzeugzahlen und elektrifizierte Kilometer denkbar, die in Tabelle 1 zusammengefasst sind. Anhand der Tabelle wird deutlich, dass vor allem die ersten 1.000 km Oberleitung eine große Elektrifizierung von Fahrzeugkilometern bringen.

Auswirkungen für Baden-Württemberg

Für Baden-Württemberg haben diese Ergebnisse verschiedene Bedeutungen. Es ist demnach möglich, die Fahrzeuge auf Baden-Württemberg über die Zulassungszahlen herunterzurechnen. Interessanter ist die Nutzung der verschiedenen Autobahnen durch HO-LKW. Diese kann über die Belastung des Autobahnabschnitts durch LKW gewichtet mit seiner Länge durch die Gesamtbelastung auf der gesamten Ausbaustrecke ermittelt werden. Die Ergebnisse sind abschließend in Tabelle 2 dargestellt.

Die elektrifizierten Fahrzeugkilometer in Baden-Württemberg ergeben sich als Anteil der Ausbaustrecke in Baden-Württemberg im Verhältnis zur gesamten Ausbaustrecke multipliziert mit den elektrifizierten Kilometern.

3.1.2 Welchen zusätzlichen Strombedarf würden Oberleitungs-LKW in Baden-Württemberg verursachen?

Eine flächendeckende Einführung von Oberleitungs-LKW kann Auswirkungen auf das Energieversorgungssystem haben. Aus energiewirtschaftlicher Perspektive ist dabei, neben der Gesamtstromnachfrage durch Oberleitungs-LKW, die regionale Verteilung des zusätzlichen Bedarfs von besonderem Interesse. Entsprechende Erkenntnisse können beispielsweise bei der Planung zukünftiger Stromnetze berücksichtigt werden.

Im Rahmen von eWayBW wird das Verkehrsaufkommen in Baden-Württemberg basierend auf Zählungen der Straßenverkehrszentrale analysiert (SVZ BW 2019). Anhand von vier Oberleitungs-Ausbaustufen wird der zusätzliche Energiebedarf der einzelnen Kreise und kreisfreien Städte durch Hybrid-Oberleitungs-LKW bestimmt. Als Referenz dient der zu erwartende Strombedarf 2030 (Elsland et al. 2016). Dabei werden im Minimalnetz im Wesentlichen die in Abschnitt 3.1.1 aus dem deutschlandweiten Markthochlauf heraus identifizierten ersten Oberleitungsstrecken betrachtet. Da wir nur Oberleitungs-LKW und keine BEV berücksichtigen, umfasst das Netz auch die Teilstücke auf der A81 und A6, die ursprünglich auch für den BEV-Betrieb als geeignet eingestuft wurden. Anschließend werden drei weitere Netze definiert, die einen forcierten Ausbau in Baden-Württemberg abbilden, um dessen Einfluss auf den Strombedarf aufzuzeigen. Im landesweiten Netz werden dabei erstmals auch Bundesstraßen integriert. Wie in Abbildung 6 zu erkennen, ist dies notwendig, um den Südosten Baden-Württembergs zu erschließen.

1. Minimalnetz zur Verbindung der wichtigsten Industriezentren

Das Minimalnetz umfasst die in Abschnitt 3.1.1 identifizierten großen Logistikregionen Mannheim, Karlsruhe, Heilbronn und Stuttgart und umfasst 210 km auf den Bundesautobahnen A5, A6, A8 und A81. In einer frühen Phase des Markthochlaufs wird davon ausgegangen, dass 10 Prozent des LKW-Verkehrs durch Oberleitungs-LKW erbracht wird.

2. Kernnetz zur Anbindung weiterer Industriestandorte

In der zweiten Ausbaustufe wird die Elektrifizierung auf den bereits ausgewählten Autobahnen insbesondere in Richtung Frankfurt und Ulm erweitert. Die Gesamtlänge (390 km) und der Anteil Oberleitungs-LKW (20 Prozent) verdoppeln sich.

3. Ausbaunetz zur Anbindung der Landesgrenzen

In der dritten Stufe erfolgt der Ausbau der A5 und A81 bis zur Schweiz. A6, A7, A8 und A81 werden bis an die Landesgrenze zu Bayern ausgebaut. Insgesamt umfasst das Oberleitungs-Netz in Baden-Württemberg dann 905 km. Ein solcher Ausbau ist nur wahrscheinlich, wenn gleichzeitig das Aufkommen von Oberleitungs-LKW deutlich steigt, hier auf 50 Prozent.

4. Landesweites Netz mit möglichst flächendeckendem Ausbau

Das landesweite Netz dient als Maximalszenario, bei dem Oberleitungen flächendeckend eingesetzt werden. Dabei wird der Ausbau auch auf Teile von Bundesstraßen (B14, B29, B30, B31, B34) erweitert. Das Netz umfasst dann 1.250 km. Um die maximalen Auswirkungen auf den Energiebedarf abzubilden, wird davon ausgegangen, dass auf den betroffenen Strecken der LKW-Verkehr vollständig auf Oberleitungen umgestellt wird.

Der zusätzliche jährliche Strombedarf beträgt im Minimalnetz 0,19 TWh. Im Kern- und Ausbaunetz steigt der Energiebedarf auf 0,64 TWh beziehungsweise 2,65 TWh an. Der maximale Strombedarf wird im landesweiten Netz benötigt und beträgt 5,7 TWh. Bei einem erwarteten Endenergiebedarf von 68 TWh für Baden-Württemberg in 2030 verursachen Oberleitungs-LKW damit eine Steigerung um bis zu 8 Prozent.

Abbildung 7 zeigt die Änderung der regionalen Stromnachfrage relativ zur Referenzentwicklung. Allgemein ist die größte Zunahme in Regionen zu erwarten, die vielbefahrene Autobahnen enthalten, deren sonstige Stromnachfrage jedoch gleichzeitig als gering angenommen wird. Hohe anteilige Steigerungen finden beispielsweise in Baden-Baden und Pforzheim statt. Der absolut höchste Zuwachs mit 539 GWh jährlich tritt im Maximalszenario im Rhein-Neckar-Kreis auf. Die Ursache sind vielbefahrene Autobahnabschnitte der A5 und A6 sowie das Autobahnkreuz Walldorf.

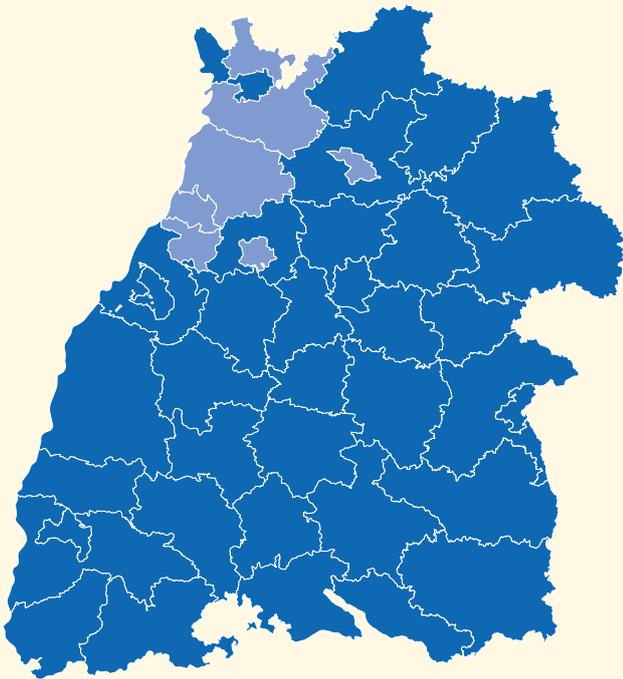
3.1.3 Wie verhält sich der Oberleitungs-LKW im Vergleich zum Schienenverkehr?

Welche Transporte können im Murgtal auf der Schiene, welche mit dem Oberleitungs-LKW abgewickelt werden?

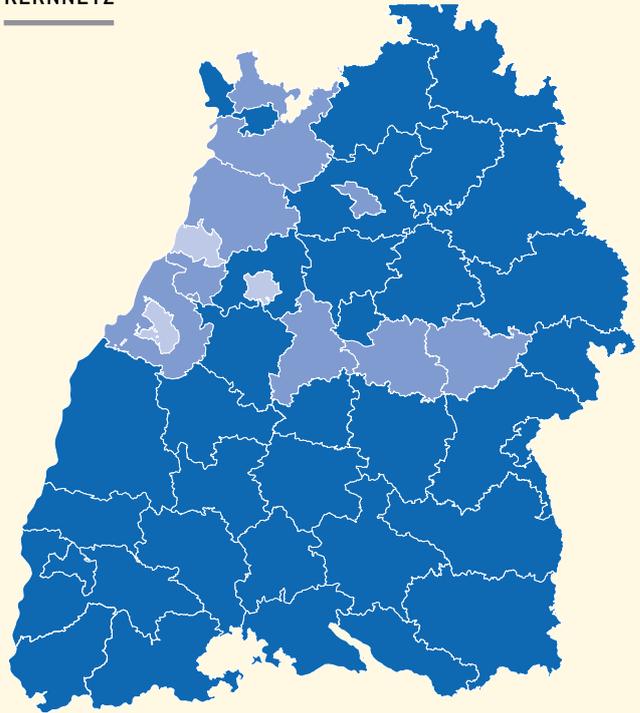
Im Rahmen der Begleitforschung zum Feldversuch eWayBW wurde geprüft, inwieweit eine Reaktivierung und ein anschließender Betrieb der existierenden S-Bahn-Strecke für den Gütertransport eine wirtschaftliche und klimaschonende Alternative zur Elektrifizierung der Bundesstraße zwischen Kuppenheim und Obertsrot darstellen kann.

Die eWayBW-Teststrecke verläuft entlang der S-Bahn-Linie S8/S81 (Karlsruhe - Freudenstadt, „Murgtalbahn“) der Albtal-Verkehrs-Gesellschaft (AVG). Diese voll elektrifizierte, aber großenteils eingleisige Nebenbahn wird derzeit vor allem durch den Personenverkehr bedient. In den 1860er Jahren war die Murgtalbahn jedoch primär für den Güterverkehr errichtet worden. Derzeit fährt noch werktäglich ein Güterzug zwischen Karlsruhe und Gaggenau. Die Gleisanschlüsse der betrachteten Papierfabriken wurden jedoch jahrelang weder genutzt noch gewartet und an einigen Stellen auch zurückgebaut. Für eine Wiederaufnahme des Bahnbetriebs in die Werksgebiete der Papierfabriken hinein sind daher erhebliche Investitionen für Gleise, Weichen, Querungen und Verladeanlagen notwendig.

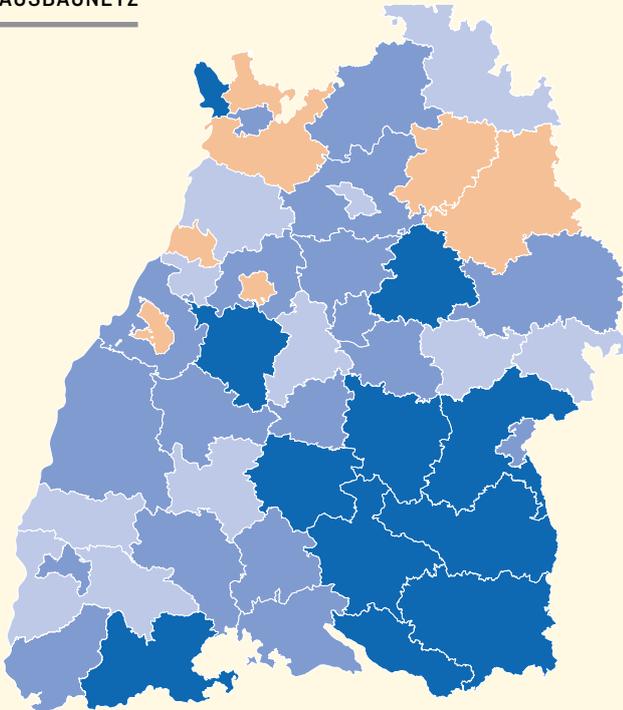
MINIMALNETZ



KERNNETZ



AUSBAUNETZ



LANDESWEITES NETZ

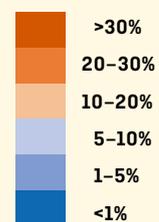
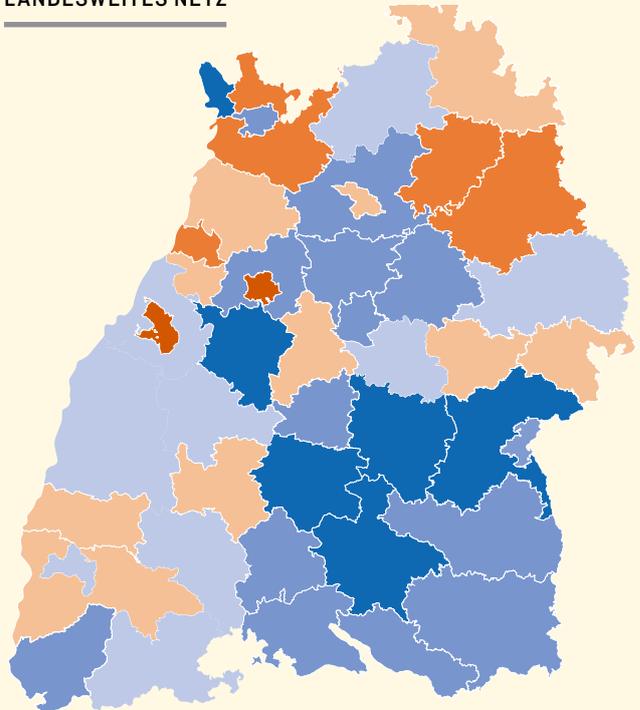


Abbildung 7: Relative Änderung der lokalen Stromnachfrage gegenüber der Referenzentwicklung 2030

Darüber hinaus verbieten die räumlichen Beschränkungen auf den Werksgeländen der Papierfabriken und der regelmäßige Zulieferbetrieb per LKW das ganztägige Abstellen und Beladen eines Güterzuges. Eine Alternative stellt ein Pendelbetrieb mit nur einem Waggon dar, der aufgrund der höheren Ladekapazität eine niedrigere Pendelfrequenz als der LKW-Pendelbetrieb aufweist. Um genauere Informationen über die Logistikanforderungen der betrachteten Kartonage-Hersteller und Güterverkehrspotenziale und Kosten auf der Murgtalbahn zu erhalten, wurden zunächst Experteninterviews u. a. mit Vertreter:innen der Papierfabriken und der AVG/VBK durchgeführt. In den weiteren Schritten wurden für folgende Transportalternativen die spezifischen Transportkosten und THG-Emissionen bestimmt:

- 1. Diesel-LKW
- 2. HO-LKW und O-BEV
- 3. Transport durch einen täglich verkehrenden Ganzzug¹-Shuttle je Werk
- 4. Transport durch einen gemeinsam genutzten Ganzzug-Shuttle für beide Werke pro Tag
- 5. Ein stündlich verkehrender Pendelzug je Werk mit nur jeweils einem Waggon

Die durch Modellrechnungen geschätzten THG-Emissionen und Transportkosten der Alternativen zum Diesel-LKW sind in Abbildung 8 dargestellt².

Sowohl HO-LKW als auch O-BEV sind im Pendelbetrieb deutlich günstiger als die Bahnalternative mit einem Waggon. Da aufgrund der fehlenden Oberleitung auf den Werksgeländen eine Diesellokomotive zum Einsatz kommen müsste, sind HO-LKW und O-BEV auch die klimaschonenderen Alternativen. Dabei ist das Klimaschutzpotenzial des O-BEV aufgrund des vollständig substituierten Dieselmotors deutlich höher als beim HO-LKW. Da es sich im betrachteten Fall um eine Pilotstudie handelt, sind Effizienzgewinne bis zum Realbetrieb zu erwarten. Für das Jahr 2030 sind sowohl Kostensenkungen bei Fahrzeug und Infrastruktur, als auch ein deutlich höherer Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung anzusetzen. Weiterhin stellt ein wachsender Nutzerkreis ein deutliches Kostenreduktionspotenzial dar, da die Investitionskosten nicht mehr nur von wenigen Nutzern getragen werden müssen.

Allerdings muss auch festgestellt werden, dass dort, wo ein Bahnbetrieb mit nur täglich verkehrenden Zügen möglich ist, dieser aufgrund der spezifischen Eigenschaften der Bahn (geringer Reibungs- und Luftwiderstand und die Möglichkeit, viele Güter in einer Fahrt zu transportieren) immer noch die

günstigere und klimaschonendere Alternative ist. Dies ist im vorliegenden Fall jedoch nicht gegeben.

Die Kombination von Schienen- und elektrifiziertem Straßengüterverkehr bietet die Möglichkeit, die Vorteile beider Verkehrsmittel für die Dekarbonisierung des Transportsektors zu nutzen.

Wie lassen sich Oberleitungs-LKW mit dem Schienenverkehr kombinieren?

Ergänzend zum ökologischen und ökonomischen Vergleich zwischen Bahn und HO-LKW in der Belieferung des Lagers Kuppenheim wurden die Potenziale des HO-LKW als Element intermodaler Verkehre auf der Langstrecke untersucht. Dahinter steckt die Annahme, dass sich durch eine Kombination beider Verkehrsträger die Vorteile der vollständig elektrifizierten Bahn auf der Langstrecke mit HO-LKW abseits existierender Zulaufstrecken der Bahn zu Terminals des Güterfernverkehrs kombinieren lassen.

Aufbauend auf den Ergebnissen im ersten Teil dieses Abschnitts werden dabei Transporte vom Lager Kuppenheim zu unterschiedlichen Destinationen im In- und Ausland betrachtet. Zielgrößen sind Transportzeiten (inklusive Bedienfenster), Transportkosten und Treibhausgasemissionen. Betrachtet werden dabei drei Varianten des Abtransports von Waren vom Lager Kuppenheim zu verschiedenen Destinationen:

- Unimodal per LKW mit Diesel-LKW und HO-LKW.
- Direktbelieferung der Destination per Bahn-Einzelwagenverkehr über einen neuen Gleisanschluss im Lager Kuppenheim.
- Kombiniertes Verkehr (KV) mit Containern vom Güterbahnhof (GBF) Karlsruhe. Diesel- und HO-LKW fungieren hier als Zubringer vom Lager zum Terminal.

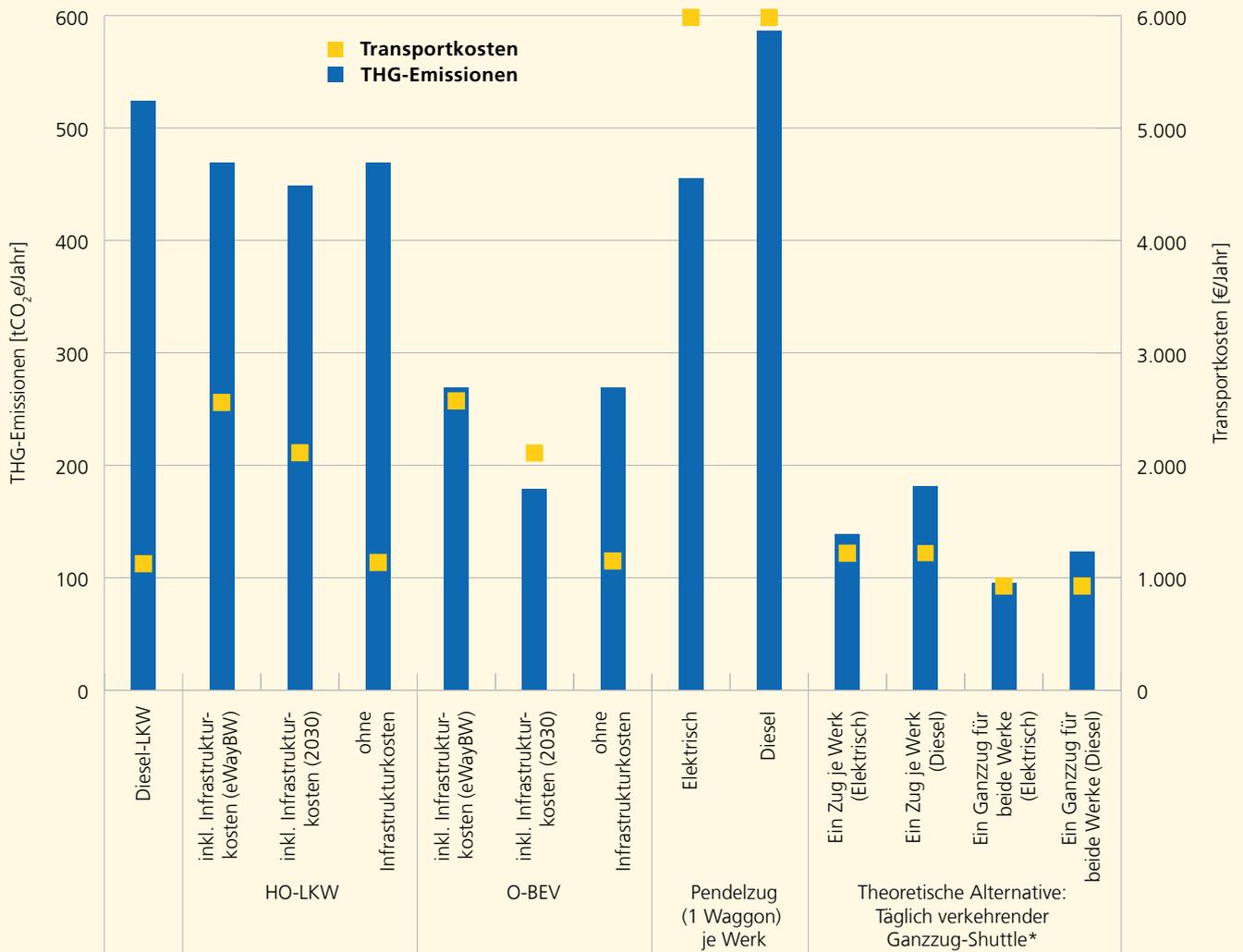
In allen Fällen werden Vergleiche der Zielgrößen ab dem Lager Kuppenheim getroffen. Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten wird für alle Transportmittel jeweils eine Losgröße von 10t als Referenz herangezogen. Für die Ermittlung von Transportzeiten, Transportkosten und THG-Emissionen werden grundsätzlich Einweg-Verbindungen inklusive Rast- und Transferzeiten betrachtet.³

Für den Einzelwagenverkehr direkt ab dem Lager Kuppenheim ergeben sich um das 4,5- bis 5,5-fache längere Transportzeiten als mit dem LKW. Im KV benötigen Transporte bis zur 7-fachen Zeit. Der Schienengüterverkehr ist im Allgemeinen relativ unflexibel: Wöchentliche Bedienfenster der Terminals sind begrenzt und je nach Vorbelegung von Güter- oder Containerzügen entstehen

¹ Feste Zugformation, die ohne Rangieren zwischen Ausgangs- und Zielort verkehrt und bei dem die Waggon sukzessive bis zur Abfahrt beladen werden (Lagerfunktion).

² Datenquellen: IVE 2019; BGL 2021; Wietschel et al. 2017; Jöhrens et al. 2018.

³ Datenquellen: PTV AG 2020; HaCon Ingenieurgesellschaft mbH 2015; IVE 2019; BGL 2016; Toll Collect 2019.



* Aufgrund der Platzverhältnisse sind diese Alternativen auf den Werksgeländen der Papierfabriken und in deren unmittelbarer Umgebung nicht umsetzbar. Da jedoch auch Anwendungsfälle existieren, in denen diese Alternativen realistisch durchführbar wären, wurden sie rein informativ in den Vergleich aufgenommen.

Abbildung 8: THG-Emissionen und Transportkosten der Transportalternativen auf der Pilotstrecke⁴

Wartezeiten bis zu mehreren Wochen. Ausnahmen stellen jedoch die Verbindungen per KV nach Neuss und Antwerpen dar.

Kostenseitig schneidet insbesondere der Einzelwagenverkehr der Bahn trotz der Investitionen für den Gleisanschluss in Kuppenheim mit etwa der Hälfte der Transportkosten gegenüber den LKW-Varianten sehr konkurrenzfähig ab. Allerdings wird hier die Nutzung des Gleisanschlusses auch durch andere Verkehre als die der hier betrachteten Papierhersteller

angenommen. In der Betrachtung je 100 km schneiden die internationalen kombinierten Verkehre deutlich besser ab als die nationalen Verkehre, da auf langen Distanzen der günstigere Schienenast der KV-Kette dominiert.

Die Betrachtung der THG-Bilanz der Alternativen zeigt unter den Annahmen der klimaneutraleren Stromerzeugung 2030 gegenüber 2018/2019 um 44 % geringere Emissionen des HO-LKW gegenüber dem Diesel-LKW in der Belieferung der

⁴ Transportkosten für das Jahr 2030 wurden anhand der in Wietschel et al. (2017) genannten Infrastrukturkosten und der Kostendegression für HO-LKW und O-BEV aus Jöhrens et al. (2018) ermittelt. Die THG-Emissionen für 2030 wurden anhand des Szenarios „KS 80 – Strommix Deutschland 2030“ aus Wietschel et al. (2017) bestimmt.

nationalen und internationalen Ziele über die Straße. Dabei wird eine elektrische Fahrleistung von 65% unterstellt auf allen Relationen. Mit der Direktbelieferung per Bahn-Einzelwagen vom Lager Kuppenheim ließen sich jedoch bis zu 70% THG-Emissionen einsparen. Eine Kombination aus Anlieferung der Waren vom Lager Kuppenheim zum GBF Karlsruhe mit anschließendem Weitertransport per Bahn (KV) ergibt eine ähnlich gute Klimabilanz.

Anhand der dargestellten Beispielrechnungen ergibt sich eine überschaubare Synergie zwischen HO-LKW und dem Schienengüterverkehr. Während der Zulauf zum KV mittels HO-LKW etwas teurer ist als mit dem Diesel-LKW erzielt der HO-LKW hier eine bessere Umweltbilanz, diese fällt jedoch geringer aus als auf der Langstrecke. Insgesamt ermöglicht der kombinierte Verkehr die kurzfristige Nutzung des auch gegenüber dem HO-LKW THG-effizienteren Schienenverkehrs auf der Langstrecke ohne Investition in Gleisanschlüsse und Oberleitungs-Infrastrukturen im Autobahnnetz. Auf längeren Distanzen fällt die Umweltbilanz der Zulaufstrecke jedoch weniger ins Gewicht.

3.1.4 Wie lässt sich die Oberleitung auch durch andere Fahrzeuge nutzen?

Die Wirtschaftlichkeit des Konzeptes der Oberleitungstechnologie hängt wesentlich von einer guten Auslastung der Infrastruktur ab. Die Ausweitung des Nutzerkreises der Oberleitungsinfrastruktur ist deshalb interessant und kann in zwei Unterpunkte gegliedert werden, deren Untersuchungsergebnisse im Folgenden zusammenfassend vorgestellt werden:

Die Nutzung der Oberleitungsinfrastruktur durch weitere Fahrzeuggruppen

Im Rahmen des Projektes wurden drei weitere Fahrzeuggruppen als potenzielle Nutzer der Oberleitungen untersucht: PKW bis 3,5 t, leichte Nutzfahrzeuge bis 7,5t und Busse. Die Nutzung der Oberleitung wiederum wurde wiederum untergliedert in eine direkte Nutzung und eine indirekte Nutzung der Oberleitungsinfrastruktur. Bei der direkten Nutzung wird das untersuchte Fahrzeug mit einem Stromabnehmer ausgestattet. Das größte Problem bei diesem Ansatz stellen allerdings das Gewicht und die Größe des Stromabnehmers dar, so dass – gerade bei PKW mit einer Dachlast von maximal 75kg – der Stromabnehmer nicht vom LKW auf kleinere Fahrzeuge übertragen werden können. Die geringe Höhe des PKW führt ebenfalls dazu, dass der Pantograph eine Höhendifferenz von 3 – 3,5 m überbrücken müsste, was eine erhebliche Instabilität und einen nachteiligen Schwerpunkt zur Folge hätte. Zudem ist der Bauraum in einem Pkw deutlich kleiner im Vergleich zu einem LKW. Die gesamte Technik könnte nicht ohne größere Probleme untergebracht werden. Gleiches gilt ebenfalls bereits für kleine Nutzfahrzeuge.

So lässt sich für die Pkw, als auch für die leichten Nutzfahrzeuge für den heutigen Stand festhalten, dass technisch sinnvoll nur eine indirekte Nutzung der Oberleitung in Frage kommt. Das vielversprechendste Konzept ist dabei ein Andocken des Zielfahrzeugs am oberleitungsführenden LKW: es ist technisch umsetzbar, die Technologie ist weitestgehend bekannt (vgl. Abschleppstange) und die Sicherheit im Straßenverkehr ist gegeben. Zudem kann das angedockte Fahrzeug, falls dies einen elektrifizierten Antriebsstrang besitzt, durch Rekuperation geladen werden. Schafft man es, eine einfache und sichere stromführende Verbindung zwischen Fahrzeug und LKW herzustellen, ist derselbe Ansatz mit Stromführung noch besser, da das Fahrzeug zusätzlich geladen wird. Das Andocken während der Fahrt erfordert allerdings einen immensen Entwicklungsaufwand, weshalb in erster Instanz nur ein Andocken im Stand erfolgen kann. Dies erfordert zum einen Standflächen zum Andocken sowie eine zusätzliche Standzeit von circa 15 Minuten, wodurch es sowohl beim LKW als auch beim andockenden Fahrzeug zu einer Störung des eigentlichen Betriebsablaufes kommt. Auf Grund der kurzen Strecken, die durch die Oberleitungen abgedeckt werden, ist der Zeitverlust im Vergleich zur Verbrauchseinsparung gerade für gewerbliche Nutzer immens. Der LKW, an dem angedockt wird, hat bei diesem Vorgang keinen Vorteil: es bleibt einzig eine Störung des normalen Betriebsablaufes. Die für das Andocken nötigen Umwege und die Zeitverluste durch größere Standzeiten könnten hierbei das Geschäftsmodell gefährden.

So bleibt festzuhalten, dass die technisch sinnvolle Lösung der indirekten Nutzung der Oberleitung unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Aspekte und Auswirkungen unter den vorliegenden Rahmenbedingungen (Streckenlänge und aktueller Stand der Technik) für den Betreiber des LKW nur bei einem An- und Ankopplungsvorgang während der Fahrt sinnvoll ist.

Derzeit existente HO-Busse können ohne Anpassungen nicht an den Oberleitungen von eWayBW betrieben werden. Der zu betreibende Aufwand, um die Stangenstromabnehmer so zu modifizieren, dass diese an die Oberleitungen verwendet werden können, ist größer als den vorhandenen LKW-Pantographen mit Schleifleisten an den HO-Bus zu adaptieren. Sollte diese Variante in Betracht gezogen werden, ist die, im Vergleich zu einem LKW, immer noch deutlich größere Höhendifferenz zur Oberleitung zu beachten.

Aufbau einer peripheren Infrastruktur zur Erhöhung des elektrischen Fahranteils der LKW

Neben der gezeigten Ausweitung des Nutzerkreises durch eine Zweitnutzung der Oberleitungen durch andere Fahrzeuggruppen, ist die Ausweitung des Nutzerkreises auch durch den gezielten Aufbau einer peripheren Infrastruktur möglich. Die Zu- und Abfahrten zum und vom Oberleitungsnetz sowie die Streckenabschnitte zwischen zwei Elektrifizierungsbereichen können bei HO-LKW über verschiedene Hybridlösungen

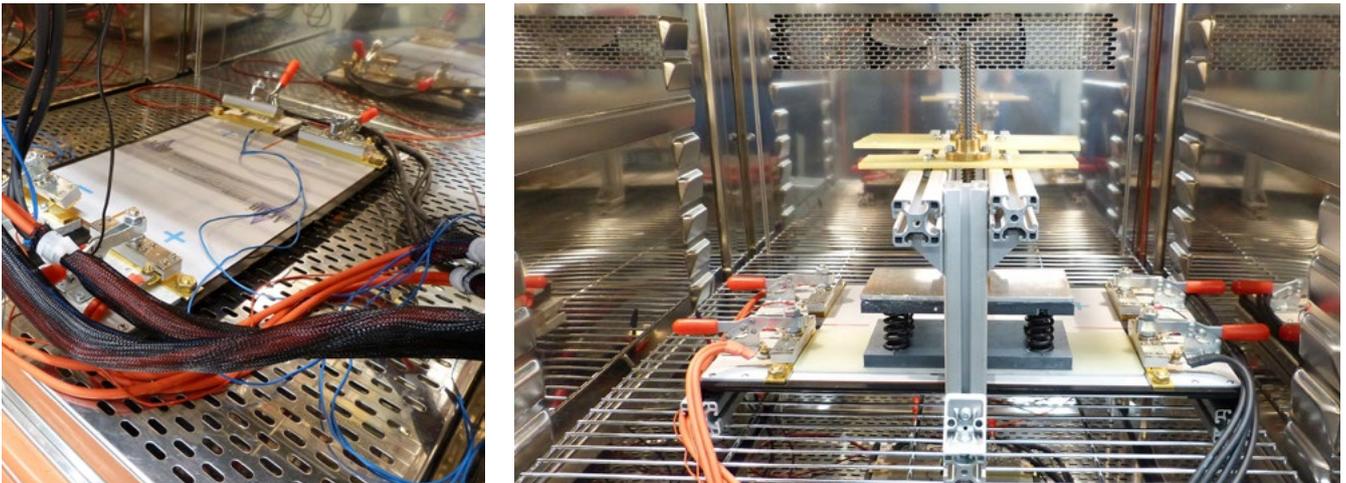


Abbildung 9: Testvorrichtung im Klimaschrank für den elektrochemischen Test der Zellen unter Druckbeaufschlagung.

realisiert werden. Eine Möglichkeit stellt der batterieelektrische Antrieb dar. Aus Bewegungsprofilen wird der Energie- und Leistungsbedarf zum Fahren berechnet und die entsprechenden Anforderungen an eine Batterie sowohl für einen hybrid-elektrischen als auch einen vollelektrischen LKW erfasst. Diese Anforderungen werden wiederum auf Einzelzellen der Batterie heruntergerechnet und an geeigneten EV Batterien getestet. Hierzu würde im bisherigen Projektverlauf eine Methodik aufgebaut und die Untersuchungen werden in eWayBW II ausgeweitet:

- Welche Dimensionierungsanforderungen ergeben sich an die Traktionskomponenten (Leistung, Batteriekapazität)?
- Welchen Einfluss haben die wegseitigen- und stationären Lademöglichkeiten und die daraus folgenden Nutzungsprofile auf die Alterung der Batteriezellen und damit auf die elektrische Reichweite?

3.1.5 Wie können Oberleitungs-LKW im Murgtal autonom betrieben werden?

Neben der Elektrifizierung der Fahrzeuge stellt die Einführung des automatisierten Fahrens bis hin zum fahrerlosen Betrieb ein zweites, hochaktuelles Entwicklungsfeld in der Automobilbranche dar. Daher wurde anhand der Strecke im Murgtal untersucht, ob und in welcher Weise der Betrieb von HO-LKW automatisiert werden kann. Hierbei stellt das Fahren unter Fahrdrabt einen besonders wichtigen Punkt dar. Daneben wurden die technischen und betrieblichen Rahmenbedingungen untersucht und eine Abschätzung der betriebswirtschaftlichen Folgen getroffen.

Die Ergebnisse der Untersuchung können wie folgt zusammengefasst werden.

- Das Fahren unter Fahrdrabt stellt für die Automatisierung keine wesentliche Erschwernis dar. Da aktuelle Ansätze zur Automatisierung ohnehin einer virtuellen Referenzlinie folgen, lässt sich die Fahrleitung einfach integrieren, indem der Verlauf der Fahrleitung selbst zur Referenzlinie wird. Im normalen Verkehr bleibt das automatisierte Fahrzeug dann nahezu durchweg unter der Fahrleitung, so dass die Stromversorgung über den Dachstromabnehmer gewährleistet werden kann.
- Die Automatisierung der LKW-Verkehre im Murgtal erscheint auf dem größten Teil der Strecke technisch umsetzbar zu sein. Einige Problemstellen erfordern jedoch Weiterentwicklungen gegenüber dem heutigen Stand der Technik. Dies betrifft insbesondere Bereiche, in denen der LKW in den fließenden Verkehr einbiegen oder einfädeln muss. Neben technischen Weiterentwicklungen wird die Entwicklung einer Richtlinie zur Automatisierung von Fahrzeugen vorgeschlagen, um eine rechtssichere Umsetzung zu ermöglichen.
- Betriebswirtschaftlich wird ein automatisierter Betrieb erst dann sinnvoll, wenn auf den Fahrer überwiegend oder gänzlich verzichtet werden kann, d. h. in den Automatisierungsstufen 4 und 5 nach Definition der BAST. Auf Stufe 4 wäre ein fahrerloser Verkehr zwischen den Betriebsgeländen denkbar, während das Rangieren innerhalb der Betriebsgelände weiterhin durch einen Fahrer unterstützt würde.

Daraus ergibt sich, dass eine Automatisierung der Verkehre unter Berücksichtigung der zu erwartenden technischen Weiterentwicklungen der kommenden Jahre möglich erscheint. Der Betrieb unter Fahrleitung erfordert keinen wesentlichen Zusatzaufwand gegenüber einer Automatisierung eines rein batterieelektrischen Fahrzeugs. Betriebswirtschaftlich ist eine Automatisierung ab Automatisierungsstufe 4 sinnvoll.

3.2 Was sind die relevanten Ergebnisse zu sozial-wissenschaftlichen und übergeordneten Themen in eWayBW?

3.2.1 Wie wird das Projekt eWayBW und Oberleitungs-LKW in verschiedenen Gruppen wahrgenommen und bewertet?

Wie das Projekt eWayBW und Oberleitungs-LKW wahrgenommen werden, wurde für drei verschiedene Gruppen untersucht: Speditionen, die Allgemeinbevölkerung und die Bevölkerung vor Ort. Speditionen nutzen die Technologie im Feldversuch und konnten im Vorfeld des Tests ihre Erwartungen und Wahrnehmungen auf der Anwendungsseite schildern. Wie die Allgemeinbevölkerung das Projekt eWayBW und Oberleitungs-LKW wahrnimmt und bewertet, wurde darüber gemessen, wie dieses Thema in den wichtigsten Zeitungen vor Ort dargestellt und diskutiert wurde. Ein erstes Stimmungsbild der Bevölkerung vor Ort wurde mit Hilfe von anonym ausgewerteten Bürgeranfragen an das Verkehrsministerium erstellt.

Die am Projekt beteiligten Speditionen zeigten von Beginn des Projekts an eine positive Wahrnehmung und Bewertung des Vorhabens und erläuterten in einem Gruppeninterview (Ende 2018) auch detailliertere Erwartungen und Anforderungen an das Projekt. Als eine zentrale Anforderung nannten die Speditionen die Befriedigung ihrer jeweiligen Kundenbedürfnisse. Ihnen war es wichtig, dass bisherige Logistikketten weiterhin reibungslos funktionieren würden, inklusive rechtzeitiger Abtransporte bei Unternehmen mit geringen Lagerkapazitäten. Zu Beginn planten sie daher für den Fall, dass nicht alle Kundenbedürfnisse direkt durch die neue Technologie abgedeckt werden konnten, regulär dieselbetriebene Ersatzfahrzeuge bereitzustellen. Die befragten Verantwortungsträger beschrieben die Meinungen anderer Speditionen zu diesem Thema als breit gefächert von vielen positiven, aber abwartenden Rückmeldungen, bis zur völligen Ablehnung der Technologie. Ein Vertreter des Verbands für Spedition und Logistik Baden-Württemberg bestätigte diese Einschätzung in einem darauffolgenden Interview Anfang 2019. Der Vertreter schätzte die Meinungen seiner Verbandsmitglieder vor dem Start des Feldversuchs als gemischt ein mit rund einem Drittel positiven und zwei Drittel kritischeren Einstellungen. Insgesamt war sein Eindruck, dass Logistikfirmen offen dafür sind, neue Optionen auszuprobieren, aber die Kosten entscheidend sind. In der Diskussion um alternative Antriebe sah der Verband Oberleitungs-LKW an vierter oder fünfter Stelle, hinter Gasantrieben, Elektroantrieben und synthetischen Kraftstoffen. Insgesamt seien größere Flottenbetreiber zwischen 50 und 200 Einheiten interessierter an alternativen Antrieben als kleinere Betreiber.

Die Darstellung von Oberleitungs-LKW wurde zu zwei verschiedenen Zeitpunkten durch eine Auswertung von Artikeln in lokalen Zeitungen zum Projekt eWayBW und Oberleitungs-LKW

erfasst. Die Auswertung der insgesamt 49 Zeitungsartikel zeigt, wie häufig das Thema im Verlauf der Zeit diskutiert wurde, wie sich die Stimmung in Bezug auf die Technologie verändert hat und anhand welcher Themen die Technologie diskutiert wurde. Ein erstes Medieninteresse gab es zu Beginn des Projekts im September 2017 als der Projektstart und erste Details zur Planung der Teststrecke bekannt gegeben wurden. Ein zweites Mal stieg die Artikelzahl in der abschließenden Phase des Genehmigungsverfahrens im Sommer 2018 an. Anschließend nahm das Medieninteresse bis Ende 2019 wieder ab. Etwa die Hälfte aller Artikel beschrieb das Projekt und die Technologie auf neutrale Weise, rund ein Drittel waren eher positiv und rund ein Fünftel eher negativ. Das häufigste Thema war in den Artikeln die Beschreibung der Technologie und der Teststrecke und ihrem Aufbau. Außerdem zeigen die Artikel, dass in der öffentlichen Debatte Umweltauswirkungen, Auswirkungen auf Anwohner:innen und Verkehrsauswirkungen zu den wichtigsten Diskussionspunkten zählten. Positive Umweltwirkungen waren vor allem in den eher positiven Artikeln ein Thema. Bei den eher negativen Zeitungsartikeln spielte auch der Vergleich mit anderen Antriebsoptionen im Güterverkehr wie der Bahn eine Rolle.

In der dritten Gruppe, der Bevölkerung vor Ort, zeigen sich verschiedene Meinungen. Dafür wurden 83 eingegangene Bürgeranfragen im Zusammenhang mit einer Informationsveranstaltung des Projektes eWayBW anonym ausgewertet. In vielen der Anfragen wurden Argumente gegen den Feldversuch vorgebracht. Am häufigsten wurden vermutete Verkehrsprobleme in der Bauphase genannt (in 14 Anfragen), welche zum Teil starke Emotionen hervorriefen. Diesen Befürchtungen konnte im Projekt bereits dadurch begegnet werden, dass in der Bauphase keine größeren Störungen des Verkehrs aufgetreten sind. Weitere genannte Vorbehalte waren eine allgemeinere Skepsis hinsichtlich der politischen Partizipation sowie gegenüber den Kosten des Projekts. Einige der Bürger:innen waren zudem der Meinung, das Projekt sei politisch nicht hinreichend legitimiert und fürchteten Umweltschäden durch den Bau und / oder den Betrieb. Vier Bürger:innen wünschten sich zudem noch mehr und / oder transparentere Öffentlichkeitsbeteiligung (Abbildung 11).

3.2.2 Was ist aus regulatorischer Sicht notwendig für die Einführung von Oberleitungs-LKW?

Hebel der Ordnungs- und Verkehrspolitik zur Beschleunigung des Markthochlaufs von HO-LKW im Rahmen eines Gesamtgüterverkehrskonzeptes sind: Normen und Standards, Raum- und Infrastrukturplanung, Finanzierung und Förderprogramme sowie Bildung und Ausbildung.

Die notwendigen Anfangsinvestitionen in die HO-Infrastruktur kann von den Transportunternehmen nicht getragen werden, da die Infrastruktur am Anfang stark unterausgelastet ist. Der

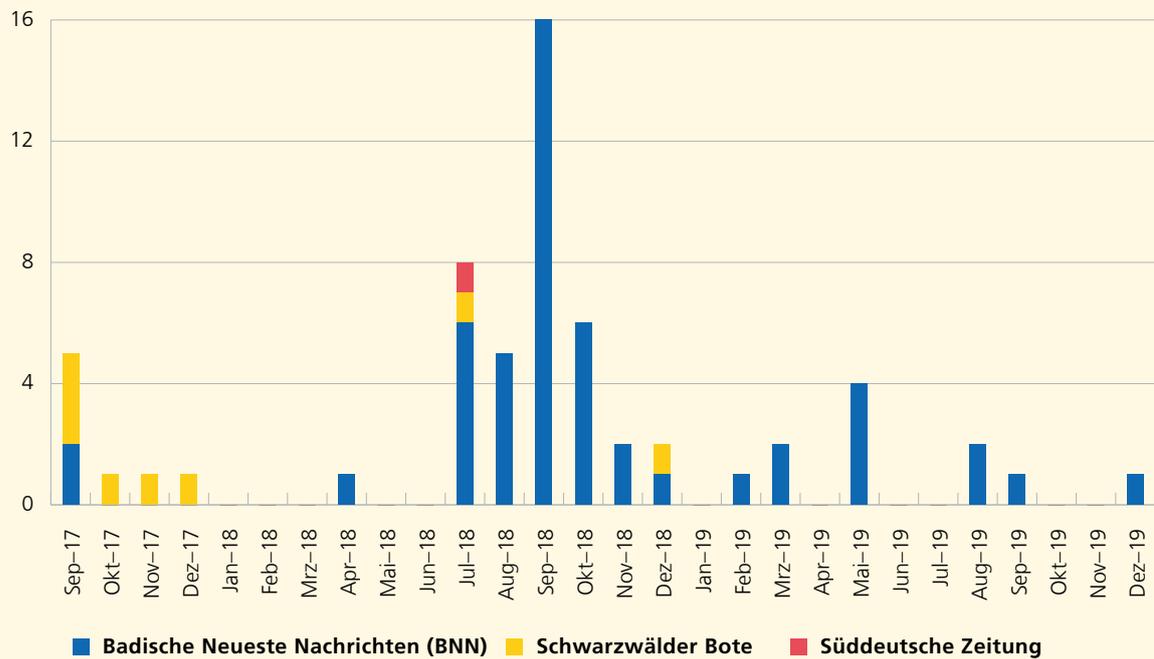


Abbildung 10: Häufigkeitsverteilung der Zeitungsartikel für den Zeitraum September 2017 bis einschließlich Dezember 2019

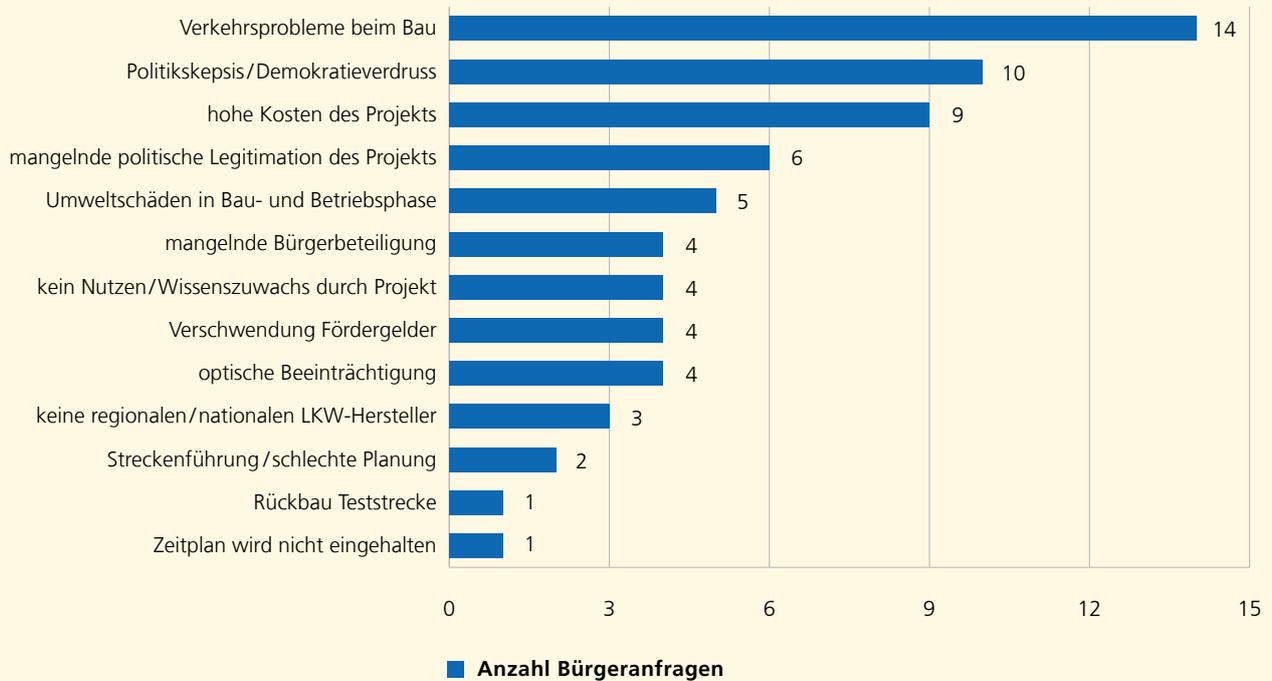


Abbildung 11: Argumente gegen den Feldversuch (in 26 der Bürgeranfragen)

Bund sollte in Ergänzung zum Investitionsprogramm der Bundesverkehrswegeplanung (BVWP) ein Förderprogramm für die Elektrifizierung von Bundesstraßen und Autobahnen von 1,5 bis 2,0 Mrd. Euro über 4 Jahre für ein Startnetz von 4.000 km auflegen. Die Strecken sollten durch den Bund koordiniert werden und den Zulauf zu Bahngüterterminals und wichtigen internationalen Korridoren priorisieren. Europäische Standards und Normen zu Leitungsquerschnitten, Sicherheit und Betreibermodellen sollten durch die Förderung des Einsatzes von HO-LKW speziell für kleine Unternehmen sowie praxisnahe Aus- und Weiterbildungsprogramme im Bereich klimaneutrale und multimodale Logistik begleitet werden.

Zentrale Ergebnisse der Akzeptanzforschung

- Am Projekt beteiligte Expeditionen zeigten von Beginn des Projekts an positive Wahrnehmung des Vorhabens
- Häufigstes Thema in lokaler Medienberichterstattung war Beschreibung der Technologie, Teststrecke und Aufbau. Zudem werden Umweltauswirkungen, Auswirkungen auf Anwohner:innen und Verkehrsauswirkungen angesprochen
- In Bürgeranfragen spielten vermutete Verkehrsprobleme in der Bauphase wichtigste Rolle

Die laufenden Kosten elektrischer Antriebe können deutlich unter den von Dieselantrieben liegen und somit auf langen Strecken eine Verlagerung von der Schiene auf die Straße begünstigen. Neben Qualitätsverbesserungen im Schienengüterverkehr kann die Herstellung der Kostenwahrheit im Verkehr durch die Anlastung der externen Kosten von Klima- und Umweltwirkungen oder von Verkehrsunfällen entsprechende Verlagerungen begrenzen. Die Umlage der Kapital- und Betriebskosten der HO-LKW-Infrastruktur auf die LKW-Mauttarife aller mautpflichtigen Fahrzeuge erhöhen diese um ca. 13 Prozent in der Startphase, und um bis zu 30 Prozent bei Vollausbau. Insbesondere für kleine Fuhrunternehmen könnte diese Kostensteigerung zusätzlich zu den höheren Investitionen in HO-LKW aufgrund ihrer schwächeren Verhandlungsposition gegenüber den Verladern den Markteintritt erschweren. Die

EU-Eurovignetten-Richtlinie soll ab 2023 um die Berücksichtigung des CO₂-Ausstoßes der betroffenen Fahrzeuge ergänzt werden. Bei einem elektrischen Fahranteil von 65 Prozent könnten HO-LKW etwa 9 Ct./km einsparen und damit die Mehrkosten für die HO-Infrastruktur vollständig kompensieren. Eine stringenter Kontrolle von Sozialstandards könnte die Wettbewerbssituation heimischer Unternehmen verbessern und damit auftretende Mehrkosten zum Teil kompensieren.

Aufgrund immer deutlicher hervortretender Kapazitätsengpässe in allen Verkehrsnetzen gilt es, Straße und Schiene parallel zu dekarbonisieren und zu modernisieren. Die Ordnungspolitik kann zur Stützung der Schiene durch europäische Standards die vollständige Digitalisierung der Schiene über Echtzeit-Schnittstellen zur verladenden Wirtschaft, Zugleitsystem (ETCS), Automatisierung von Terminals und die Digitalisierung von Güterwagons unterstützen.

3.2.3 Wie aktiv sind angrenzende Länder im Thema Oberleitung-LKW und von welchen Erfahrungen aus Deutschland können sie profitieren?

Im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitforschung wurde Anfang 2020 ein Workshop mit Expert:innen der Energieversorgung, des Güterverkehrs und der Verkehrsinfrastruktur aus Baden-Württemberg und den Staaten Frankreich, Schweiz, Österreich, Italien und Ungarn durchgeführt. Die Ziele des Workshops waren es, praktische Erfahrungen zu diskutieren und an bisher noch nicht aktive Länder weiterzugeben. Da die Teststrecke in Baden-Württemberg in einigen Punkten, wie bspw. hinsichtlich Topographie, bestimmte Eigenschaften hat, die teilweise auch in den Alpen zu finden sind, sind gerade die Ergebnisse dieser deutschen Teststrecke für die Alpenländer Österreich, Schweiz und Frankreich von besonderem Interesse.

Auf dem Workshop herrschte weitgehende Einigkeit bei dem Thema, dass ein Erfolg der Oberleitungstechnologie nur durch ein gemeinsames Handeln vieler europäischer Staaten in Europa, am besten abgestimmt durch die EU, erreicht werden kann. Aufgrund des hohen Anteils an Transitverkehr in der Schweiz und Österreich (Amt der Tiroler Landesregierung 2016; UVEK 2014)⁵ ist ein Erfolg der Oberleitungsinfrastruktur direkt und in hohem Ausmaß auch von europaweiten Aktivitäten abhängig.

Für einen Erfolg ist es dabei wichtig, dass frühzeitig eine Standardisierung und Harmonisierung erfolgen muss. Die Effizienz und Leistungsfähigkeit des europäischen Schienengüterverkehrs wird dabei u. a. durch zu langsame Fortschritte bei Normung und Standardisierung ausgebremst. Die Bemühungen der EU-Kommission und der europäischen Eisenbahnbehörde

⁵ Zum Beispiel beträgt dieser in Alpenkorridoren über den Gotthard in der Schweiz mehr als 73 % (siehe UVEK 2014) und in Österreich über den Brenner mehr als 85 % (Amt der Tiroler Landesregierung 2016)



(ERA) hin zu einem harmonisierten europäischen Eisenbahnraum stoßen dabei auf gewachsenen nationalen Protektionismus und auf hohe Sicherheitsstandards im Bahnsystem (Doll et al. 2019; Europäische Kommission 2019).

Der Schienenverkehr besitzt in manchen an Baden-Württemberg angrenzenden Ländern eine sehr hohe Bedeutung, mit Güterverkehrsanteilen, die teils deutlich über den Anteilen in Deutschland liegen. Ein weiterer Ausbau der Schieneninfrastruktur in Österreich und insbesondere der Schweiz zielt darauf ab, zur Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene beizutragen. Von den Schweizer Expert:innen auf dem Workshop wurde deshalb auch eingeschätzt, dass aufgrund der Konkurrenzsituation zur Schiene (Priorität des Schienengüterverkehrs ist gesetzlich verankert) Oberleitungs-LKW in der Schweiz relevante Akzeptanzprobleme haben könnten. Generell wurde von den Expert:innen aus der Schweiz gesagt, dass das Thema Oberleitungs-LKW keine besondere Relevanz in der Schweiz besitzt und diese Technologie allenfalls für den Nah- und Regionalbereich genutzt werden könnte. Allerdings ist die Schweiz als Transitland mit erheblichem Transitverkehr konfrontiert und muss mit gesamteuropäischer Technologien umgehen.

In Österreich ist der Bau des Brennerbasistunnels für den Güter- und Personenverkehr ein wichtiges Infrastrukturprojekt zur Stärkung des Schienenverkehrs. Der Tunnel soll bis 2022 fertig gestellt sein. Die Güterkapazität der Bahn soll dadurch verdreifacht werden (Tagesspiegel 2007). Die Expert:innen aus Österreich haben die Situation im Land so eingeschätzt, dass nach Lösungen für den schweren Straßengüterverkehr gesucht wird und dabei u. a. auch die Diskussion um Oberleitungs-LKW eine gewisse Rolle spielt (diese wird in der Roadmap für die nächsten 20 Jahre erwähnt). Man befindet sich derzeit eher in

einer Orientierungsphase bei der Neuausrichtung des schweren Straßengüterverkehrs und Studien über Vor- und Nachteile der Alternativen werden benötigt. Zudem wird abgewartet, in welche Richtung sich die EU-Politik ausrichten wird. Generell wurde allerdings eine gewisse Skepsis geäußert gegenüber Technologien, die den Aufbau einer neuen Infrastruktur erforderlich machen und/oder eine Konkurrenz zur Schiene darstellen. Dass Vertreter aus Österreich recht zahlreich zum Workshop erschienen sind, deutet jedoch auf ein grundsätzliches Interesse an der Technologie hin.

Auch die Vertreter:innen aus Frankreich, Ungarn und Italien zeigen ein gewisses Interesse an der Technologie; zum Teil sind dort auch schon Feldversuche in Planung.



4 Ausblick auf die zweite Projektphase von eWayBW: Der Betrieb

4.1 Wann startet die zweite Projektphase und welche LKW-Typen werden die Pilotstrecke nutzen?

Im Juni 2021 wird die Oberleitungsinfrastruktur fertiggestellt sein und dann ab Juli der Pilotbetrieb mit den ersten LKW-Fahrten starten. Dabei werden im Projekt eWayBW Hybrid-Oberleitungs-LKW (HO-LKW) erprobt, die neben einem herkömmlichen Dieselaggregat auch über einen Elektroantrieb verfügen. Darüber hinaus wird es einen Technologievergleich mit allen derzeit in Betracht kommenden alternativen Antriebsformen für schwere Nutzfahrzeuge geben. Folgende Fahrzeuge werden eingesetzt:

Es handelt sich bei den eingesetzten Fahrzeugen um Sattelzugmaschinen, die jeweils vergleichbare Transportaufgaben (Einsatz bei denselben Speditionen mit derselben Transportstrecke, gleiche Lasten, ganzjähriger Einsatz) erledigen werden. Dadurch ist eine direkte Vergleichsmöglichkeit der alternativen Antriebe gegeben und die Vor- und Nachteile der einzelnen Lösungen können herausgearbeitet werden.

Damit werden erstmals in einem Projekt alle derzeit erfolgversprechenden alternativen Antriebsformen für schwere Nutzfahrzeuge zur Dekarbonisierung des Straßengüterverkehrs unter realen Bedingungen parallel eingesetzt und getestet. Die wissenschaftliche Begleitforschung wird den Technologievergleich vornehmen und dabei die Antriebskonzepte objektiv miteinander vergleichen. Damit können nun die bisherigen theoretischen Überlegungen und Studien klimafreundlicher Antriebe verifiziert werden und geben somit weitere Hinweise auf eine bessere Einschätzung geeigneter Einsatzbedingungen.

Stationärer Oberleitungsladepunkt

Nach derzeitiger Einschätzung wird es aufgrund des begrenzten Elektrifizierungsgrads der Teststrecke nicht möglich sein, die Batterien der OH-LKW im Bereich der Oberleitungsinfrastruktur jeweils voll aufzuladen. Um einen ausgeglichenen Batteriezustand herzustellen, wird daher eine stationäre Lademöglichkeit vorgesehen. Eine solche stationäre Lademöglichkeit ist auch im Falle längerer Standzeiten der OH-LKW erforderlich, um die Batterien mit einer Erhaltungsladung versorgen

zu können. Der Ladepunkt soll im Bereich des Betriebsgeländes der Speditionen Fahrner und Hüttemann in Kuppenheim errichtet werden.

4.2 Ausblick auf zentrale Themen der wissenschaftlichen Begleitforschung in der zweiten Phase

4.2.1 Erhebung von realen Daten zu den LKW-Typen und Vergleich der unterschiedlichen LKW-Typen

Im vorangestellten Kapitel wurden die unterschiedlichen LKW-Typen, die in der zweiten Projektphase zum Einsatz kommen, dargestellt. Eine künftige wesentliche Aufgabe der wissenschaftlichen Begleitforschung wird sein, reale Daten zu den Fahrzeugen zu erheben (z.B. zum Energieverbrauch oder zu den Tank- bzw. Ladedauern). Anhand der erhobenen Daten werden dann die Oberleitungs-LKW bezüglich ihrer wirtschaftlichen und ökologischen Daten ausgewertet und mit den anderen LKW-Typen verglichen, die dieselbe Logistikaufgabe auf der Pilotstrecke erfüllen. Hieraus werden dann die Vor- und Nachteile der einzelnen Optionen herausgearbeitet und sinnvolle Logistikkonzepte abgeleitet.

4.2.2 Auswirkungen des Einsatzes von Oberleitungs-LKW auf Lärmbelastung und Luftschadstoffe

Wie in Kapitel 1 ausgeführt, sind die Umweltvorteile ein ins Feld geführtes Argument für diese Technologie. Die Pilotstrecke eWayBW weist wie oben dargestellt allerdings diverse Alleinstellungsmerkmale auf, wodurch Vorarbeiten und Erkenntnisse anderer Pilotstrecken nur zum Teil übertragbar sind. Daher ist eine Quantifizierung der durch den Güterverkehr verursachten, abgasseitigen Emissionen auf dieser speziellen Strecke essentiell und dient der erfolgreichen Umsetzung des Vorhabens vor allem vor dem Hintergrund der bislang teilweise mangelnden Akzeptanz einer Oberleitungsinfrastruktur und deren Auswirkungen auf die Luftschadstoffe, die mit der Substitution des klassischen Dieselantriebs durch elektrifizierte HO-LKW einhergehen. Des Weiteren werden im Rahmen des Pilotversuches weitere LKW mit weiteren Antriebsvarianten auf der Strecke

Tabelle 3: Eingesetzte Fahrzeuge auf der Pilotstrecke eWayBW

Anzahl	LKW	Hersteller	Antrieb	Pantograf für die Oberleitungen	Bemerkung
5x	Hybrid-Oberleitungs-LKW (HO-LKW)	Scania CV AB	Diesel- und Elektroantrieb	vorhanden	temporärer Einsatz von synthetischen Kraftstoffen auf Basis erneuerbarer Energien (sogenannte reFuels) anstatt Diesel während Laufzeit vorgesehen
1x	Oberleitungs-Elektro-LKW (O-BEV-LKW)	Noch nicht bekannt	Elektroantrieb	vorhanden	Anstelle von Verbrennungskraftmaschinen auf den nicht-elektrifizierten Teilstrecken werden diese mit Batterien überbrückt
1x	Elektro-LKW (BEV-LKW)	Daimler Truck AG	Elektroantrieb	nicht vorhanden	Reiner Betrieb über Fahrzeugbatterien mit entsprechenden Schnellladepunkten an der Strecke
1x	Wasserstoff-/Brennstoffzellen-LKW (FCEV-LKW)	Iveco Magirus AG / Nikola Corporation	Elektroantrieb mit Wasserstoff-/Brennstoffzelle	nicht vorhanden	

fahren und deren Technik erprobt werden, wie in Kapitel 4.1 dargestellt ist. Bei dieser Technologievelfalt bleibt – neben der generellen Erprobung der Technik im realen Straßenverkehr – die Frage nach repräsentativen und reproduzierbaren Testmöglichkeiten und damit Bewertungswerkzeugen.

In dem Projekt erfolgen die Erhebungen der Umweltauswirkungen über zwei Wege. Einmal ist für die Betrachtung der Auswirkung ein kombinierter Ansatz aus Messung und Modellierung vorgesehen. Auf Schall-Messungen und Verkehrszählungen an der Pilotstrecke aufbauend, werden mit Hilfe von Verkehrsmodellen Gesamtbilanzen für die Emissionen aufgestellt. Durch die modellbasierte Emissions- und Lärmberechnung können Auswirkungen für Anwohner und Umwelt abgebildet werden und in einem Vorher-Nachher-Vergleich gegenübergestellt werden. Für die Vorher-Betrachtungen wurden in der ersten Projektphase entsprechende Messungen bereits vorgenommen. Es ist davon auszugehen, dass die HO-LKW auf den Schallmittelungspegel keinen signifikanten Einfluss haben werden, da während des Feldversuchs deren Anteil am Gesamtschwerverkehrsaufkommen mit prognostizierten 2 bis 3% gering ist. Parallel zu den Lärmessungen wurden an den Messquerschnitten Videoaufzeichnungen durchgeführt. Damit können Messwerte einzelnen Fahrzeugen zugeordnet werden. Dadurch sind im Feldversuch HO-LKW und deren Emissionen im Messprotokoll identifizierbar und können mit den Wirkungen von LKW mit konventionellem Antrieb direkt verglichen werden. Des Weiteren erfolgten an den Messquerschnitten Verkehrszählungen. So kann in den

Vorher-Nachher-Vergleich das absolute Verkehrsaufkommen mit einbezogen werden, um die Wirkungen der HO-LKW auf die Emissionsbelastung besser zu quantifizieren.

Allerdings lassen sich nicht für alle Umweltauswirkungen Messungen vor Ort durchführen, weshalb zusätzlich in der zweiten Projektphase die auf den Pilotstrecken anfallenden Last- und Ladezyklen auf dem Rollenprüfstand deckungsgleich dargestellt werden. Um verschiedenste Ausführungsvarianten des HO-LKW, so auch des geplanten HO-BEV-LKW unter reproduzierbaren Teststandbedingungen testen zu können, wird zunächst eine Oberleitungsladeinfrastruktur am Teststand aufgebaut und erprobt. Dieser Aufbau macht den Rollenprüfstand einzigartig und erweitert das Spektrum an notwendigen Test- und Erprobungswerkzeugen für schwere Nutzfahrzeuge. Dies ermöglicht zum einen einen reproduzierbaren Vergleich verschiedener Antriebskonzepte für bestehende Pilotstrecken und zum anderen bietet diese Testeinrichtung die Möglichkeit, weitere Strecken und Einsatzszenarien zu untersuchen, die bisher nicht Teil des Pilotversuches sind.

4.2.3 Auswirkungen des Einsatzes von Oberleitungs-LKW auf Straßenplanung, Straßenbetrieb und Nutzerverhalten

Im Fokus der Analysen wird der Vergleich des Fahr- und Verkehrsverhaltens vor und nach Aufbau der Oberleitungsinfrastruktur stehen. In der ersten Phase wurden bereits Videobeobachtungen



im Vorher-Zeitraum an unfallauffälligen Stellen durchgeführt, welche durch Erhebungen während des Oberleitungsbetriebs komplettiert wurden. Es wird überprüft, ob sich durch die Oberleitungsinfrastruktur sowie die zusätzlichen HO-LKW andere Geschwindigkeiten, Verteilungen auf die Fahrstreifen sowie Folgeverhalten ergeben. Bei auffälligem Befund werden daraus Empfehlungen für eine Verbesserung der Verkehrssicherheit der Strecke mit Oberleitungsinfrastruktur abgeleitet.

Parallel dazu wird die Einschätzung des Straßenbetriebsdienstes hinsichtlich des Unterhalts der Oberleitungsstrecke mit den tatsächlichen Erfahrungen gespiegelt, und es werden Empfehlungen daraus abgeleitet.

4.2.4 Akzeptanzforschung

Die laufende Medienbeobachtung wird weitergeführt, um zu ermitteln, wie die Technologie Oberleitungs-LKW und der Feldversuch eWayBW in unterschiedlichen Zeitungen dargestellt wird.

Während des Betriebs werden Anwohner:innen der Teststrecke in einer Gruppendiskussion befragt, um deren Wahrnehmungen und Bewertungen des Feldversuchs und der Oberleitungstechnologie zu ermitteln. Daneben spielen Aspekte, wie Einstellung zu einem weiteren Technologieausbau, Aspekte der Sicherheit beim Befahren der Strecke sowie ästhetische Aspekte im Hinblick auf das Landschaftsbild eine Rolle.

Um die Wahrnehmung des Speditionsgewerbes zu erfassen, werden Interviews mit Vertreter:innen von Speditionen durchgeführt. Insbesondere werden hierbei auch diejenigen Spediteure befragt, die den Betrieb mit HO-LKW auf der Pilotstrecke sicherstellen. Die Fahrer, die die Pilotstrecke befahren, werden mit einem Kurzfragebogen befragt. Zusätzlich werden Interviews mit drei LKW-Herstellern geführt.

Schließlich werden auch politische Entscheidungsträger zu ihrer Bewertung der Oberleitungs-Technologie befragt.

4.2.5 Erfahrungsaustausch mit den beiden anderen Pilotversuchen

Der Erfahrungsaustausch mit den beiden anderen Pilotversuchen wird weiter fortgesetzt. Im Zentrum stehen dann weniger die Erfahrungen beim Aufbau der Infrastruktur, sondern die Erfahrungen bei der Nutzung der Infrastruktur. Durch die Unterschiede in den Pilotstrecken sowohl vom Streckenprofil wie auch von den Logistikaufgaben sind aufschlussreiche Ergebnisse zu erwarten.

5 Literaturverzeichnis

- Amt der Tiroler Landesregierung (2016): Verkehr in Tirol – Bericht 2016 – Alpenquerender Güterverkehr. Hg. v. Amt der Tiroler Landesregierung. Innsbruck. Online verfügbar unter https://www.tirol.gv.at/fileadmin/themen/verkehr/verkehrsdatenerfassung/downloads/VB_2016_web.pdf, zuletzt geprüft am 22.04.2021.
- BGL (2016): Kosteninformationssystem für die leistungsorientierte Kalkulation von Straßengütertransporten. Hg. v. Bundesverband Güterkraftverkehr, Logistik und Entsorgung (BGL) e.V. BGL. Frankfurt am Main.
- BGL (2021): Dieselpreis-Information. Hg. v. Bundesverband Güterkraftverkehr, Logistik und Entsorgung (BGL) e.V. BGL. Online verfügbar unter <https://www.bgl-ev.de/images/downloads/dieselpreisinformation.pdf>, zuletzt geprüft am 10.02.2021.
- Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) (2019): Automatische Zählstellen auf Autobahnen und Bundesstraßen. Online verfügbar unter https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v2-verkehrszahlung/Stundenwerte.html?nn=1819490, zuletzt geprüft am 24.01.2020.
- Doll, C.; Köhler, J.; Sievers, L.; Grimm, A.; Horvat, D.; Eiband, A. et al. (2019): From local to European low emission freight concepts. Summary report 3. LowCarb RFC. Hg. v. Fraunhofer ISI. Fraunhofer ISI; Mercator Stiftung; European Climate Foundation; M-Five GmbH; Infrast & Environment. Online verfügbar unter https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccn/2019/lowcarb_summary_report3.pdf, zuletzt geprüft am 24.01.2019.
- Elsland, Rainer; Boßmann, Tobias; Klingler, Anna-Lena; Herbst, Andrea; Klobasa, Marian; Wietschel, Martin (2016): Netzentwicklungsplan Strom – Entwicklung der regionalen Stromnachfrage und Lastprofile. Begleitgutachten. Studie im Auftrag der deutschen Übertragungsnetzbetreiber.
- Europäische Kommission (2019): Bericht der Kommission an das europäische Parlament und den Rat. Sechster Bericht über die Überwachung der Entwicklung des Schienenverkehrsmarkts. Brüssel.
- HaCon Ingenieurgesellschaft mbH (2015): Güterfahrplan. Online verfügbar unter <http://gueterfahrplan.hacon.de/bin/db/query.exe/dn?OK#focus>, zuletzt aktualisiert am 13.12.2020, zuletzt geprüft am 08.03.2021.
- IVE (2019): EcoTransIT World. EcoTransIT Consortium. Online verfügbar unter <https://www.ecotransit.org/imprint.de.html>, zuletzt geprüft am 08.02.2021.
- Jöhrens, J.; Rücker, J.; Helms, H.; Schade, W.; Hartwig, J. (Hg.) (2018): Roadmap OH-LKW: Hemmnisanalyse. Analyse technischer und logistischer Hemmnisse der OH-LKW Technologie im Rahmen des Verbundvorhabens „Roadmap OH-LKW“. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg; M-Five GmbH. Heidelberg. Online verfügbar unter https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/Roadmap-OH-LKW_Hemmnisanalyse.pdf, zuletzt geprüft am 21.04.2021.
- Kühnel, S.; Hacker, F.; Görz, W. (Hg.) (2018): Oberleitungs-LKW im Kontext weiterer Antriebs- und Energieversorgungsoptionen für den Straßengüterfernverkehr. Ein Technologie- und Wirtschaftlichkeitsvergleich. Erster Teilbericht des Forschungsvorhabens „StratON – Bewertung und Einführungsstrategien für oberleitungsgebundene schwere Nutzfahrzeuge“. Öko-Institut e.V. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.erneuerbar-mo-bil.de/sites/default/files/2018-09/Teilbericht%201%20O-LKW-Technologievergleich-2018.pdf>, zuletzt geprüft am 21.04.2021.
- PTV AG (2020): PTV Map&Guide internet. Online verfügbar unter <https://mginter.mapandguide.com/v7.4/>, zuletzt aktualisiert am 27.04.2020, zuletzt geprüft am 08.03.2021.
- SVZ BW (2019): Straßenverkehrszentrale Baden-Württemberg: Verkehrszählung. Online verfügbar unter <https://www.svz-bw.de/verkehrszahlung>, zuletzt geprüft am 24.01.2020.
- Tagesspiegel (2007): Brenner Tunnel wird gebaut. Online verfügbar unter <https://www.tagesspiegel.de/kooperationsabkommen-brenner-tunnel-wird-gebaut/982282.html>, zuletzt geprüft am 23.08.2018.
- Toll Collect (2019): Mauttarife. Online verfügbar unter https://www.toll-collect.de/de/toll_collect/bezahlen/maut_tarife/maut_tarife.html, zuletzt geprüft am 08.03.2021.
- UVEK (2014): Güterverkehr auf Straße und Schiene durch die Schweizer Alpen 2014. Hg. v. Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation. Online verfügbar unter https://www.bav.admin.ch/dam/bav/de/dokumente/themen/verlagerung/alpenquerender_gueterverkehr2014.pdf.download.pdf/alpenquerender_gueterverkehr2014.pdf, zuletzt geprüft am 22.04.2021.
- Veres-Homm, U.: Logistikimmobilien. Markt und Standorte 2015. Hg. v. Fraunhofer IIS. Arbeitsgruppe für Supply Chain Services SCS. Nürnberg.
- Wietschel, M.; Gnann, T.; Kühn, A.; Plötz, P.; Moll, C.; Speth, D. et al. (2017): Machbarkeitsstudie zur Ermittlung der Potentiale des Hybrid-Oberleitungs-LKW. Studie im Rahmen der Wissenschaftlichen Beratung des BMVI zur Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie. Karlsruhe: Fraunhofer ISI (Hrsg.).

Impressum

Vorhabenträger:

Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg

Herausgeber:

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe

Projektpartner

Regierungspräsidium Karlsruhe
Südwestdeutsche Verkehrs-Aktiengesellschaft (SWEG)
Landkreis Rastatt
Konsortium Forschung eWayBW:
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI)
PTV Transport Consult GmbH (PTV)
Forschungszentrum Informatik (FZI)
Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT)

Assoziierte Partner

Spedition Fahrner GmbH
Huettemann Logistics GmbH
Casimir Kast Verpackung und Display GmbH
Mayr-Melnhof Gernsbach GmbH
Smurfit Kappa Baden Karton GmbH
Netze BW GmbH
Bundesanstalt für Straßenwesen
e-mobil BW GmbH
Verband Spedition und Logistik Baden-Württemberg

Ansprechpartner Projektgesamtleitung

Marcel Zembrot
Regierungspräsidium Tübingen
Landesstelle für Straßentechnik
Heilbronner Straße 300–302
70469 Stuttgart
E-Mail: Marcel.Zembrot@rpt.bwl.de

Wissenschaftliche Begleitforschung

Prof. Dr. Martin Wietschel
Leitung Competence Center Energietechnologien und
Energiesysteme
Dr. Uta Burghard
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe
Telefon: +49 721 6809-254
E-Mail: martin.wietschel@isi.fraunhofer.de

Autorinnen und Autoren

Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg:
Marcel Zembrot, Harald Böttiger, Frank Schollbach

Regierungspräsidium Karlsruhe:
Rainer Flotho

**Fraunhofer-Institut für System- und Innovations-
forschung (ISI):**

Martin Wietschel, Uta Burghard, Aline Scherrer,
Till Gnann, Daniel Speth, Patrick Plötz, John Fritz,
Claus Doll, Clemens Brauer

PTV Transport Consult GmbH:

Volker Waßmuth, Nadine Köllermeier, Hagen Schüller

Forschungszentrum Informatik (FZI):

Martin Lauer

Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT):

Tobias Burgert, Lars Berg

Grafik

Renata Sas

Bildnachweise

eWayBW: S. 2, 10, 11, 19; PTV: S. 12; Renata Sas: S. 3,
23, 24, 27; Scania: S. 9

© Fraunhofer ISI
Karlsruhe 2021

www.isi.fraunhofer.de

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

