

# ELISA II-B – Vorbereitung, Durchführung und Evaluation eines realitätsnahen Probebetriebs von OH-Lkw auf der ELISA-Versuchsanlage

Ergebniszwischenbericht

01.11.2018 - 31.08.2021

## Band 0: Zusammenfassender Ergebniszwischenbericht

Laufzeit des Vorhabens:

01.11.2018 - 31.12.2022

Erstellungsdatum

11.03.2022

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und nukleare Sicherheit



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Die  
Autobahn

**SIEMENS**

*Ingenuity for life*

## DOKUMENTENINFORMATION

### AUTOREN

#### **Technische Universität Darmstadt, Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik**

Prof. Dr.-Ing. Manfred Boltze  
Regina Linke  
Özgür Öztürk, Ph.D  
Ferdinand Schöpp  
Danny Wauri  
Jürgen K. Wilke

#### **Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Stoffstrommanagement und Ressourcenwirtschaft**

Prof. Dr. rer. nat. Liselotte Schebek  
Susanne Hanesch

#### **Die Autobahn GmbH des Bundes**

Dr.-Ing. Achim Reußwig  
Susanne Schulz  
Adriana Bedoya Zapata  
Dominik Gurske  
Henrik Koch  
Igor Rudgartser  
Jonathan Siegfried

#### **Siemens Mobility GmbH**

Holger Sommer  
Bernhard Mayer  
Hans-Peter Lang  
Werner Pfliegl  
Markus Staub

#### **ENTEKA AG**

Bernhard Fenn  
David Petermann  
Kirstin Chesi  
Christian Hein

#### **COUNT+CARE GmbH & Co. KG**

Maximilian Burger  
Jens Schwarz

## KONTAKT

Technische Universität Darmstadt  
Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik  
Otto-Berndt-Straße 2  
64287 Darmstadt  
Tel.: 06151 16-22500  
E-Mail: [ivv@verkehr.tu-darmstadt.de](mailto:ivv@verkehr.tu-darmstadt.de)

## HINWEIS

Aufgrund der besseren Lesbarkeit wird im gesamten Text das generische Maskulinum verwendet. Gemeint sind jedoch immer alle Geschlechter.

## INHALTSVERZEICHNIS

|                                                                                        |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Dokumenteninformation .....</b>                                                     | <b>ii</b> |
| <b>Inhaltsverzeichnis .....</b>                                                        | <b>iv</b> |
| <b>1 Allgemeines .....</b>                                                             | <b>2</b>  |
| 1.1 Einführung und Zielstellung .....                                                  | 2         |
| 1.1.1 Struktur der Teilprojekte in ELISA .....                                         | 2         |
| 1.1.2 Informationen zur ELISA-Versuchsanlage .....                                     | 3         |
| 1.1.3 Beteiligte und assoziierte Projektpartner .....                                  | 5         |
| 1.1.4 Zielstellung dieses Ergebniszwischenberichts .....                               | 8         |
| 1.2 Stand der Technik des eHighway-Systems im Projekt ELISA .....                      | 8         |
| 1.2.1 Stand der Technik der Oberleitungsinfrastruktur .....                            | 8         |
| 1.2.2 Stand der Technik des OH-Lkws .....                                              | 9         |
| 1.3 Verwendete Einheiten .....                                                         | 13        |
| 1.4 Tangierende Ergebniszwischenberichte, Vorschriften und Richtlinien zum eHighway .. | 14        |
| <b>2 Evaluationskonzept des Feldversuchs .....</b>                                     | <b>15</b> |
| <b>3 Ergebnisse des Projekts ELISA II-B .....</b>                                      | <b>20</b> |
| 3.1 Ergebnisse aus Sicht der Transporteure .....                                       | 20        |
| 3.1.1 Technische Eignung der OH-Lkw für Transportunternehmen .....                     | 20        |
| 3.1.2 Integration der OH-Lkw in Logistikprozesse .....                                 | 22        |
| 3.1.3 Kraftstoff- und Stromverbrauch .....                                             | 25        |
| 3.1.4 THG-Emissionen .....                                                             | 29        |
| 3.1.5 Luftschadstoff-Emissionen NO <sub>x</sub> , PM .....                             | 29        |
| 3.2 Ergebnisse aus Sicht der Fahrzeughersteller .....                                  | 30        |
| 3.2.1 Technikbewertung von OH-Lkw .....                                                | 30        |
| 3.2.2 Technikbewertung des Pantographen .....                                          | 32        |
| 3.2.3 Herstellungsaufwand .....                                                        | 33        |
| 3.2.4 Life Cycle Assessment des OH-Lkws .....                                          | 35        |
| 3.3 Ergebnisse aus Sicht der Energieversorgungsunternehmen .....                       | 38        |
| 3.3.1 Umgang mit Lastspitzen .....                                                     | 38        |
| 3.3.2 Potential zur dezentralen Stromversorgung .....                                  | 39        |
| 3.3.3 Aufbau eines modellhaften Abrechnungssystems für den Feldversuch .....           | 40        |
| 3.4 Ergebnisse aus Sicht der Oberleitungsinfrastrukturbetreiber .....                  | 43        |
| 3.4.1 Erkenntnisse zum Oberleitungsbetrieb .....                                       | 43        |
| 3.4.2 Bedienbarkeit und Integrierbarkeit in Verkehrszentralen .....                    | 45        |
| 3.4.3 Einrichtungskosten ELISA-Leitstelle .....                                        | 47        |
| 3.4.4 Aufwandsänderungen bei Integration der ELISA-Leitstelle .....                    | 49        |
| 3.4.5 Aufwandsänderungen Leittechnik .....                                             | 50        |
| 3.4.6 Störfallmanagement und Zuständigkeiten ELISA-Leitstelle .....                    | 52        |

|                                                                                                         |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.5 Ergebnisse aus Sicht der Oberleitungsinfrastrukturerrichter .....                                   | 54         |
| 3.5.1 Zuverlässigkeit der Fahrleitungsanlage .....                                                      | 54         |
| 3.5.2 Passive Schutzmaßnahmen .....                                                                     | 55         |
| 3.5.3 Bautechnische Machbarkeit .....                                                                   | 57         |
| 3.5.4 Erstellungskosten .....                                                                           | 60         |
| 3.5.5 Life Cycle Assessment Infrastruktur .....                                                         | 62         |
| 3.6 Ergebnisse aus Sicht der Straßeninfrastrukturbetreiber .....                                        | 66         |
| 3.6.1 Verkehrsablauf .....                                                                              | 66         |
| 3.6.2 Fahrverhalten .....                                                                               | 68         |
| 3.6.3 Sichtbarkeit der Beschilderung durch Verkehrsteilnehmer .....                                     | 70         |
| 3.6.4 Bauliche Änderungen an Bestandsbauwerken im Anlagenbereich .....                                  | 70         |
| 3.6.5 Durchführung von Großraumtransporten im Anlagenbereich .....                                      | 72         |
| 3.6.6 Einfluss der baulichen Änderungen auf die Gesamterstellungskosten eines<br>eHighway-Systems ..... | 72         |
| 3.6.7 Life Cycle Assessment Passive Schutzeinrichtung .....                                             | 73         |
| 3.6.8 Bewertung des Betriebskonzepts .....                                                              | 77         |
| 3.7 Ergebnisse aus Sicht des Straßenbetriebsdienstes .....                                              | 79         |
| 3.7.1 Einflüsse auf Unterhaltungsmaßnahmen aus arbeitstechnischer Sicht .....                           | 79         |
| 3.7.2 Akzeptanz auf Seiten des Straßenbetriebsdienstes .....                                            | 81         |
| 3.8 Ergebnisse aus Sicht der Gesellschaft .....                                                         | 84         |
| 3.8.1 Einflüsse auf Arbeitsstellen kürzerer/längerer Dauer .....                                        | 84         |
| 3.8.2 Einflüsse auf Großraum- und Schwerlasttransporte .....                                            | 86         |
| 3.8.3 Zuverlässigkeit des Gesamtsystems .....                                                           | 87         |
| 3.8.4 Nachnutzung Teststrecke .....                                                                     | 89         |
| 3.8.5 Akzeptanz auf Seiten der Verkehrsteilnehmenden .....                                              | 90         |
| 3.8.6 Akzeptanz auf Seiten der Öffentlichkeit .....                                                     | 92         |
| <b>4 Zusätzlich generierte Projektergebnisse .....</b>                                                  | <b>95</b>  |
| 4.1 Vernetzung mit anderen Feldversuchen .....                                                          | 95         |
| 4.2 Wiki eHighway .....                                                                                 | 96         |
| 4.3 Besuchergruppen und Streckenbesichtigungen .....                                                    | 96         |
| 4.4 Veröffentlichungen und Konferenzbeiträge .....                                                      | 97         |
| 4.4.1 Bücher und Buchbeiträge .....                                                                     | 97         |
| 4.4.2 Dissertationen .....                                                                              | 102        |
| 4.4.3 Veröffentlichungen in Fachzeitschriften und Konferenzbänden .....                                 | 102        |
| 4.4.4 Konferenzbeiträge und -vorträge .....                                                             | 103        |
| 4.4.5 Projektinterne Berichte .....                                                                     | 106        |
| <b>5 Schlussfolgerungen .....</b>                                                                       | <b>108</b> |
| 5.1.1 Transporteure .....                                                                               | 108        |
| 5.1.2 Fahrzeughersteller .....                                                                          | 109        |

|                                                |             |
|------------------------------------------------|-------------|
| 5.1.3 Energieversorgungsunternehmen .....      | 110         |
| 5.1.4 Oberleitungsinfrastrukturbetreiber ..... | 111         |
| 5.1.5 Oberleitungsinfrastrukturerrichter ..... | 111         |
| 5.1.6 Straßeninfrastrukturbetreiber .....      | 112         |
| 5.1.7 Straßenbetriebsdienst.....               | 113         |
| 5.1.8 Gesellschaft .....                       | 113         |
| <b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>             | <b>I</b>    |
| <b>Abbildungsverzeichnis .....</b>             | <b>V</b>    |
| <b>Tabellenverzeichnis .....</b>               | <b>VI</b>   |
| <b>Literaturverzeichnis .....</b>              | <b>VIII</b> |
| <b>Anhang .....</b>                            | <b>XI</b>   |
| I. Evaluationsmatrix.....                      | XI          |

## 1 ALLGEMEINES

### 1.1 Einführung und Zielstellung

„Mit Verabschiedung des Aktionsprogramms Klimaschutz 2020 beschloss die Bundesregierung, Feldversuche zur Erprobung elektrischer Antriebe bei schweren Nutzfahrzeugen und deren Energieversorgung per Oberleitung durchzuführen. Diese Feldversuche sollen der Fortführung des Projekts ENUBA – „Elektromobilität bei schweren Nutzfahrzeugen zur Umweltentlastung von Ballungsräumen“ dienen. Das damalige Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit förderte in ENUBA Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu einem im öffentlichen Verkehrsraum einsetzbaren Gesamtsystem zum oberleitungsgebundenen elektrischen Betrieb von schweren Nutzfahrzeugen für den Güterverkehr.

**ELISA – „Elektrifizierter, innovativer Schwerverkehr auf Autobahnen“** ist das hessische Projekt zur Durchführung des ersten Feldversuchs in Deutschland. Es wird vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) gefördert. ELISA erprobt das in Deutschland bisher nur unter Laborbedingungen getestete System eHighway unter realen baulichen, verkehrlichen und straßenbetrieblichen Bedingungen auf einer hochbelasteten deutschen Fernstraße. Die Einsatzfähigkeit der Testfahrzeuge für reale Transportaufgaben in Transportunternehmen oder ähnlichen Unternehmen wird dabei detailliert untersucht. Alltägliche und besondere Umwelteinflüsse sowie Störfälle werden ebenso analysiert wie der Verkehrsablauf auf dem eHighway. Darüber hinaus entwickelt das Projekt zahlreiche neue Prozesse für das System eHighway, bspw. Genehmigungs- und Vergabeprozesse, Prozesse zum praktischen Betrieb der Infrastrukturanlagen und Fahrzeuge oder für Störfälle und Rettungseinsätze. Zudem werden zweckmäßige Systemanpassungen und Systemerweiterungen identifiziert. Schließlich dient ELISA auch der Untersuchung der Akzeptanz verschiedener Gesellschaftsgruppen sowie der Verbreitung von Kenntnissen über das System eHighway. Nicht zuletzt kann die Teststrecke auf der Bundesautobahn A 5 bei einem erfolgreichen Verlauf auch zum Ausgangspunkt für einen großräumigeren Systemausbau werden. Insgesamt leistet ELISA damit einen wesentlichen Beitrag, die Vision eines weitgehend emissionsfreien Straßengüterverkehrs bereits in naher Zukunft Wirklichkeit werden zu lassen.“ [1]

#### 1.1.1 Struktur der Teilprojekte in ELISA

„ELISA wurde in zwei zeitlich aufeinanderfolgende Teilprojekte gegliedert. Das Teilprojekt ELISA I (2017–2018) umfasst die Planung, die Genehmigung und die Errichtung der Infrastruktur, ELISA II (2019–2022) die Vorbereitung, die Durchführung sowie die ausführliche Evaluation eines realitätsnahen Probetriebs von [Oberleitungs-Hybrid-Lastkraftwagen (OH-Lkw)] auf der ELISA-Versuchsanlage.

Das Teilprojekt ELISA I verfolgte im Wesentlichen das Ziel, eine entsprechende Versuchsanlage im öffentlichen Straßenraum zu realisieren. Weiterhin wurden geeignete und in ihren Einsatzbereichen variierende Unternehmen als Teilnehmer am Feldversuch akquiriert. Als

sichtbares Ergebnis wurde auf der Bundesautobahn A 5 zwischen Frankfurt am Main und Darmstadt eine Teststrecke mit oberleitungsgebundener Energieversorgung für den Betrieb elektrisch angetriebener Nutzfahrzeuge errichtet. Damit wurden erstmals in Deutschland die Aspekte von Planung, Errichtung und Betrieb einer eHighway-Infrastruktur und die Integration in ein bestehendes Verkehrssystem betrachtet. Dies schloss insbesondere das vollständige Durchlaufen des Genehmigungs- und Zulassungsverfahrens sowie des Vergabeverfahrens für die Errichtung der eHighway-Infrastruktur ein. Alle Prozesse der Planung und Errichtung sowie der Genehmigung und Vergabe wurden ausführlich dokumentiert, um eine fundierte Basis für den möglichen späteren Ausbau des Systems eHighway in Deutschland zu schaffen. Mit der fertiggestellten Versuchsanlage wurden schließlich in ELISA I die Voraussetzungen dafür geschaffen, das System eHighway unter realistischen Einsatzbedingungen zu betreiben.

Das anschließende Teilprojekt ELISA II wurde wiederum in zwei Teile gegliedert. Dabei umfasst ELISA II-A den eigentlichen Betrieb der Oberleitungsanlage und ELISA II-B die dazugehörige wissenschaftliche Begleitforschung [...]. Während des Versuchsbetriebs (2019–2022) werden offene Forschungsfragen beantwortet sowie Problemlösungen erarbeitet, mit denen die Entwicklung eines zukunftsfähigen Systems bis zur Marktreife wesentlich unterstützt wird. Hierfür werden einerseits die Funktionalität und Zuverlässigkeit der zugehörigen Fahrzeug- und Infrastruktursysteme sowie andererseits die Integrationsfähigkeit in das Straßenverkehrssystem, in das Energieversorgungssystem und in vorhandene logistische Prozesse von Transportunternehmen grundlegend erforscht. Der Betrieb der Oberleitungsanlage unter realen Verkehrsbedingungen und der Einsatz der OH-Lkw durch Transportunternehmen für reale Transportaufgaben ermöglichen es ELISA, sämtliche Aspekte zu untersuchen, die für einen späteren Ausbau des Systems eHighway relevant sind. Dabei werden verkehrstechnische, energietechnische, ökologische, ökonomische und rechtliche Aspekte, aber auch die gesamtgesellschaftliche Perspektive berücksichtigt. Mit Ausarbeitung zielgruppenspezifischer Hinweisepapiere werden die Erkenntnisse abschließend dokumentiert, mit dem Ziel, damit einen Grundstein für zukünftige Ausbaubestrebungen des Systems zu legen.“ [1]

Der vorliegende Ergebniszwischenbericht berichtet zusammenfassend zum Teilprojekt ELISA II-B.

### 1.1.2 Informationen zur ELISA-Versuchsanlage

„Um eine möglichst repräsentative Einsatzumgebung sicherzustellen, wurde für den Feldversuch zunächst eine Teilstrecke der Bundesautobahn A 5 zwischen den Anschlussstellen Zeppelinheim und Weiterstadt ausgewählt. Die Teilstrecke weist eine Reihe von Vorteilen auf, darunter eine große Spannweite verkehrlicher Belastungen im Tagesgang und einen repräsentativen Schwerverkehrsanteil. Darüber hinaus verfügt die Teilstrecke über eine gute bauliche Machbarkeit für die Fahrleitung und die Maststandorte sowie eine günstige Lage in den Touren zahlreicher Unternehmen. Die Teilstrecke hat zudem eine hohe öffentliche Sichtbarkeit auf regionaler, nationaler und internationaler Ebene. Die hohe Verkehrsbelastung der Teilstrecke sowie ihre zentrale Lage im deutschen Bundesfernstraßennetz und in der



Metropolregion Frankfurt Rhein-Main gewährleisten ein großes Potenzial, Aufmerksamkeit für den Elektroverkehr zu erzeugen. Die Teilstrecke verbindet zudem eine Vielzahl regional bedeutsamer logistischer Zentren und sorgt so für eine hohe Sichtbarkeit bei Unternehmen aus Logistik, Handel und Industrie. Daneben erschließt die Teilstrecke die Cargo City Süd des Frankfurter Flughafens für den nationalen Zuliefer- und Verteilerverkehr von Luftfracht und liegt an einer bedeutsamen An- und Abfahrtroute für Fluggäste des Frankfurter Flughafens. Auf der insgesamt ca. 13 km langen Teilstrecke, die sich im Rahmen einer Voruntersuchung für die Errichtung einer solchen Oberleitungsinfrastruktur als technisch machbar erwiesen hatte, ergab sich infolge der Ausschreibung dann ein 5 km langer Streckenabschnitt mit einer Elektrifizierung des rechten Fahrstreifens in beiden Fahrtrichtungen. Der genaue Standort der Versuchsanlage ergab sich aufgrund von Randbedingungen, wie bspw. bautechnischen Aspekten, einem möglichst einfachen Zugang zum Mittelspannungsnetz, planungsrechtlichen Bedingungen oder zu gewährleistenden Ladezyklen der beteiligten Testfahrzeuge.“ [1]

Abbildung 1 gibt einen Einblick in die realisierte ELISA-Teststrecke auf der Bundesautobahn A5.



Abbildung 1: OH-Lkw auf dem ELISA-eHighway  
 (links: Rynkowski 2019; rechts: IVV 2019)

Dem hessischen Feldversuch wurden zunächst fünf OH-Lkw zur Verfügung gestellt, die von fünf breit diversifizierten Logistikpartnern in ihren realen Transportprozessen eingesetzt werden (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2: Im ELISA-Feldversuch eingesetzte OH-Lkw (IVV 2020)

### 1.1.3 Beteiligte und assoziierte Projektpartner

Das Projekt ELISA II-B wird im Verbund aus **vier beteiligten Projektpartnern** bearbeitet:

**Die Autobahn GmbH des Bundes** (Die Autobahn) ist seit dem 1. Januar 2021 für sämtliche Aufgaben in Bezug auf Planung, Bau, Betrieb und Erhaltung von Autobahnen und ausgewählten Bundesstraßen sowie das Verkehrsmanagement auf den Autobahnen in Deutschland zuständig. Die Verantwortung von Hessen Mobil Straßen- und Verkehrsmanagement, das als zuständige Obere Straßenbaubehörde für die Errichtung des eHighway im Rahmen des Projektes ELISA I zuständig war und als Verbundkoordinator des Gesamtprojektes ELISA eingesetzt war, ist demnach vollumfänglich an die Autobahn übergegangen. Die Autobahn stellt somit in ELISA sicher, dass die straßenseitige Infrastruktur des eHighway-Systems entsprechend der Regelwerke des Bundes in die vorhandene Straßeninfrastruktur sowie deren Betrieb integriert ist und die straßen- bzw. straßenverkehrsrechtlichen Voraussetzungen für den Betrieb des Gesamtsystems eHighway geschaffen sind und ständig überprüft werden. Im Rahmen des Teilprojektes ELISA II-B wird die Autobahn GmbH des Bundes Erkenntnisse und Erfahrungswerte aus Sicht des Oberleitungs- und Straßeninfrastrukturbetreibers sowie des Straßenbetriebsdienstes verifizieren, ergänzen und um entsprechende Empfehlungen für den späteren Systemausbau erweitern.

„Die Forschungsschwerpunkte am **Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik (IVV)** der Technischen Universität Darmstadt liegen vorrangig im Verkehrsmanagement, in welchem methodische Grundlagen zur systematischen Planung erarbeitet sowie spezifische Maßnahmen untersucht und weiterentwickelt werden. Der Einsatz neuer Technologien wurde in zahlreichen Projekten untersucht. Traditionell bildet auch die Lichtsignalsteuerung für den Straßenverkehr einen Schwerpunkt. Seit einigen Jahren werden verstärkt die Wirkungen des Verkehrs auf Umwelt und menschliche Gesundheit sowie die umweltabhängige Verkehrsbeeinflussung erforscht. Seit 2011 wird im Verkehrsmanagement auch der Güterverkehr vertieft behandelt, und die methodischen Grundlagen zur Nachfragebeeinflussung im Güterverkehr (Transportmanagement) werden analog zum Mobilitätsmanagement weiterentwickelt. Das IVV ist im Projekt ELISA [...] Ansprechpartner für das entwickelte Forschungs- und Evaluationsprogramm, verifiziert und differenziert in diesem Rahmen ausgewählte Evaluationsaspekte und ergänzt seine Analysen um weitere Evaluationsaspekte.

Die **Siemens Mobility GmbH**, die bereits seit 2010 an der eHighway-Technologie arbeitet und im Rahmen der Forschungsprojekte ENUBA und ENUBA 2 in Zusammenarbeit mit der Firma Scania zur technischen Realisierbarkeit und Machbarkeit geforscht hat, wurde in ELISA I mit der Planung und Errichtung der Versuchsanlage beauftragt.“ [2] In ELISA II vertieft die Siemens Mobility GmbH die gewonnenen Ergebnisse und definiert neue Evaluationsaspekte. „Als Entwickler des Systems unterstützt die Siemens Mobility GmbH generell bei Fragestellungen rund um Energieversorgung, Fahrzeugtechnik und Systemintegration.“ [2]

Mit der **ENTEKA AG** konnte ein Energieversorgungsunternehmen als Projektpartner gewonnen werden, dessen geschäftlicher Schwerpunkt im Bereich der nachhaltigen Energieerzeugung

liegt. Die ENTEGA AG arbeitet als Projektpartner an energietechnischen und planungsrechtlichen Fragestellungen und stellt den Zugang der Versuchsanlage zum Mittelspannungsnetz her.“ [2] Der Zugang zur Versuchsanlage wird mittels der e-netz Süd Hessen AG (Konzerntochter ENTEGA AG) umgesetzt. Im Rahmen der Entwicklung eines praktikablen und rechtskonformen Abrechnungskonzeptes wird die COUNT+CARE GmbH & Co KG (Konzerntochter ENTEGA AG) ein für die Oberleitungsnutzer spezifisches Abrechnungssystem, in Kooperation mit den Transportpartnern, entwickeln und hierauf basierend Modelle für die Zukunft ableiten. Die so verifizierten Abrechnungsmodelle werden zur Überprüfung ihrer Funktionalität an der Pilotanlage getestet. „Daneben begleitet die ENTEGA AG die Stromversorgung während des Versuchsbetriebs und steht für energietechnische Fragen als Ansprechpartner bereit.“ [2]

Weiterhin haben sich **mehrere assoziierte Partner** durch Absichtserklärungen bereit erklärt, im Rahmen ihrer täglich ablaufenden logistischen Prozesse jeweils mindestens einen OH-Lkw einzusetzen und so zu einem erfolgreichen Pilotbetrieb beizutragen.

Mit den Transportpartnern **Spedition Hans Adam Schanz GmbH & Co. KG** (im Folgenden als Spedition Schanz benannt) und **Hegro Eichler GmbH** (im Folgenden als Hegro benannt) konnten zwei mittelständische Unternehmen für das Projekt ELISA II-B gewonnen werden, die durch ihre unterschiedlichen Geschäftsmodelle die Erprobung des eHighway-Systems für verschiedenste Fahrzeugeinsatzmuster erlauben.

Die Spedition Schanz hat sich auf nationale Terminverkehre, Baustellenlogistik, Ladungs- und Sammelgutverkehre, Teilladungen und Transport von frostempfindlicher Ware spezialisiert. Neben den Transporten bietet die Spedition darüber hinaus weitere logistische Dienstleistungen sowie die Übernahme der Kommissionierung und Konfektionierung an. Beim Einsatz des OH-Lkws hat sich Schanz für den Transport von Dispersionsfarbe im Direktverkehr mittels Shuttletransporten zwischen Ober-Ramstadt und Frankfurt entschieden. Täglich sollen mit dem OH-Lkw bis zu drei Fahrten über die Teststrecke absolviert werden.

Hegro ist das größte und umsatzstärkste Unternehmen innerhalb der Eichler-Kammerer Gruppe und in der Region Rhein-Main tätig. Als Großhandelsbetrieb hat das Unternehmen seinen geschäftlichen Schwerpunkt im Bereich der professionellen Reinigungs- und Hygieneartikel und betreibt zur Versorgung seiner Kunden eine eigene Fahrzeugflotte. Im Rahmen dieser distributionslogistischen Aufgaben soll mindestens ein OH-Lkw eingesetzt werden, so dass auch der Batteriebetrieb im innerstädtischen Bereich erprobt werden kann.

Neben den beiden mittelständigen Transportunternehmen konnten ein kleines Unternehmen sowie ein Kleinstunternehmen für das Projekt gewonnen werden. Hierzu zählen die **Spedition Knauf GmbH** (im Folgenden als Spedition Knauf benannt) sowie das Fuhrunternehmen **Heldmann** (im Folgenden als Heldmann benannt).

Die Spedition Knauf konnte über das Großunternehmen Knauf Gips KG für das Projekt angeworben werden. Die Spedition hat sich auf Krantransporte, Transporte mit

Mitnahmestaplern, Transporte von Teil- und Komplettladungen sowie die Lagerhaltung spezialisiert. Organisatorisch begleitet werden die Transporte der Spedition durch die Knauf Gips KG (im Folgenden als Knauf benannt), welche sich auf die Herstellung von Systemen für Trockenbau und Boden, Putz und Fassade spezialisiert hat. Knauf unterstützt dabei die Aufträge für Fahrten an die Spedition für den OH-Lkw zu gewährleisten und repräsentiert das Projekt sowie das eHighway-System nach außen. Von Knauf wurden für den Transport mit dem OH-Lkw ca. 3 Fahrten pro Tag über die Anlage vorhergesagt.

Das Kleinstunternehmen „Führunternehmen Heldmann“ mit einem Standort in der Nähe von Darmstadt hat sich auf den Transport von Sand, Stein und Kies spezialisiert. Für Auftragnehmer aus der Region führt es Komplettladungsverkehre zwischen einem Kieswerk und verschiedenen Standorten in der Region Rhein-Main durch. Eine Mehrzahl der Fahrten führt das Unternehmen bei seinen Transporten über eine Teilstrecke der A5, welche mit der Oberleitungsinfrastruktur ausgestattet ist. Insgesamt sagt das Unternehmen für den Transport mit dem OH-Lkw ca. 7 Fahrten über die Teststrecke pro Tag vorher.

Zu den am Projekt beteiligten Großunternehmen zählen die Transportpartner **Ludwig Meyer GmbH & Co. KG** (im Folgenden benannt als **Ludwig Meyer**), **Contargo GmbH & Co. KG** (im Folgenden benannt als **Contargo**) in Kombination mit der Auftragsvergabe an **Rhenus GmbH & Co. KG** (im Folgenden benannt als Rhenus) und die **Merck KGaA** (im Folgenden benannt als **Merck**).

Ludwig Meyer hat sich mit europaweit rund 2.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern und 1.200 Fahrzeugen auf den Transport von temperaturempfindlichen Waren spezialisiert. Der OH-Lkw wird für die Versorgung von Supermärkten mit Lebensmitteln im Rhein-Main-Gebiet eingesetzt. Täglich passiert der OH-Lkw die Teststrecke ca. dreimal pro Tag.

Contargo besitzt mit einer Jahrestransportleistung von 2,3 Millionen TEU eines der marktführenden Container-Hinterlandlogistik-Netzwerke in Europa. Im Rahmen des Projekts ELISA vergibt das Unternehmen Contargo Aufträge für den Vor- und Nachlauf mittels OH-Lkw an das Transportunternehmen Rhenus. Nach Abschätzungen von Contargo beläuft sich das tägliche Fahrtenaufkommen über die Teststrecke auf ca. 2 Fahrten.

Mit Merck, einem börsennotierten Unternehmen der chemischen Industrie als Verladere mit eigenem Fuhrpark, konnte das Spektrum der Transportleistungen um Gefahrgut- und Abfalltransporte aus der Chemieindustrie erweitert werden. Merck plant den OH-Lkw für Transporte von Dünnschlamm, Gefahrgut und Luftfracht im Zweischichtbetrieb einzusetzen. Dadurch rechnet das Unternehmen mit einem Aufkommen von ca. 12 Fahrten pro Tag.

Da dem Projekt lediglich fünf OH-Lkw zur Verfügung gestellt wurden, konnten nur fünf der sieben Transporteure einen OH-Lkw in den Realbetrieb nehmen. Es handelt sich hierbei um die Unternehmen Schanz, Ludwig Meyer, Contargo, Knauf Gips und Merck. Hegro und Heldmann standen und stehen dem Projekt jedoch für Rückfragen und Expertengespräche weiterhin zur Verfügung und wurden in die Evaluation aus Sicht der Transporteure miteinbezogen.

#### 1.1.4 Zielstellung dieses Ergebniszwischenberichts

Dieser Ergebniszwischenbericht fasst die (Zwischen-)Ergebnisse zum Projekt ELISA II-B übergeordnet zusammen. Es werden die wesentlichen Erkenntnisse zu den verschiedenen Akteursgruppen

- Transporteure,
- Fahrzeughersteller,
- Energieversorgungsunternehmen,
- Oberleitungsinfrastrukturbetreiber,
- Oberleitungsinfrastrukturerrichter,
- Straßeninfrastrukturbetreiber,
- Straßenbetriebsdienst sowie
- Gesellschaft

dargelegt.

### 1.2 Stand der Technik des eHighway-Systems im Projekt ELISA

*Detaillierte allgemeine Beschreibungen zum eHighway-System sind in dem Buch „Elektrifizierung von Autobahnen für den Schwerverkehr – Umsetzung des Systems eHighway“ (Boltze et al. (2021) [1] zu finden, das im Kontext des Projekts ELISA entstanden ist. Im Folgenden wird die spezifische Umsetzung der Technik im Projekt ELISA für die beiden wesentlichen Komponenten des eHighway-Systems, Oberleitungsinfrastruktur und OH-Lkw, zusammenfassend dargestellt.*

#### 1.2.1 Stand der Technik der Oberleitungsinfrastruktur

Die im Feldversuch ELISA errichtete Oberleitungsinfrastruktur besteht aus zwei Gleichrichterunterwerken, welche an das Mittelspannungsnetz angeschlossen sind, und aus der eigentlichen Oberleitungsanlage, bestehend aus Masten, Ausleger, Tragseil und Fahrdrabt sowie weiteren Komponenten. In Abbildung 3 ist der Grundaufbau der Oberleitungsanlage dargestellt.

Die Gleichrichterunterwerke sind auf dem Parkplatz Bornbruch West im Norden der ELISA-Teststrecke und auf der Tank- und Rastanlage Gräfenhausen West aufgestellt. Hauptaufgabe der Gleichrichterunterwerke ist die Versorgung der Oberleitung mit dem Fahr- und Ladestrom durch Umwandlung und Anpassung der Spannung aus dem Mittelspannungsnetz. Weiterhin dienen die Gleichrichterunterwerke auch zur Steuerung und Überwachung der Oberleitungsanlage. Zur Aufrechterhaltung des Oberleitungsbetriebs durch die Gleichrichterunterwerke wird ebenfalls Strom aus dem Mittelspannungsnetz bezogen. [3]

Insgesamt sind etwa fünf Kilometer Autobahnstrecke je Fahrtrichtung zwischen der Anschlussstelle Langen / Mörfelden und der Anschlussstelle Weiterstadt mit Oberleitung ausgestattet. Hierzu wurden in einem Abstand von etwa 57 Metern insgesamt 223 Maste parallel zum äußeren Fahrbahnrand und 6 Maste im Bereich der Tank- und Rastanlage Gräfenhausen in Mittellage errichtet. [3] Eine Übersicht über die relevanten Parameter der Oberleitungsinfrastruktur in ELISA ist über Tabelle 1 gegeben.

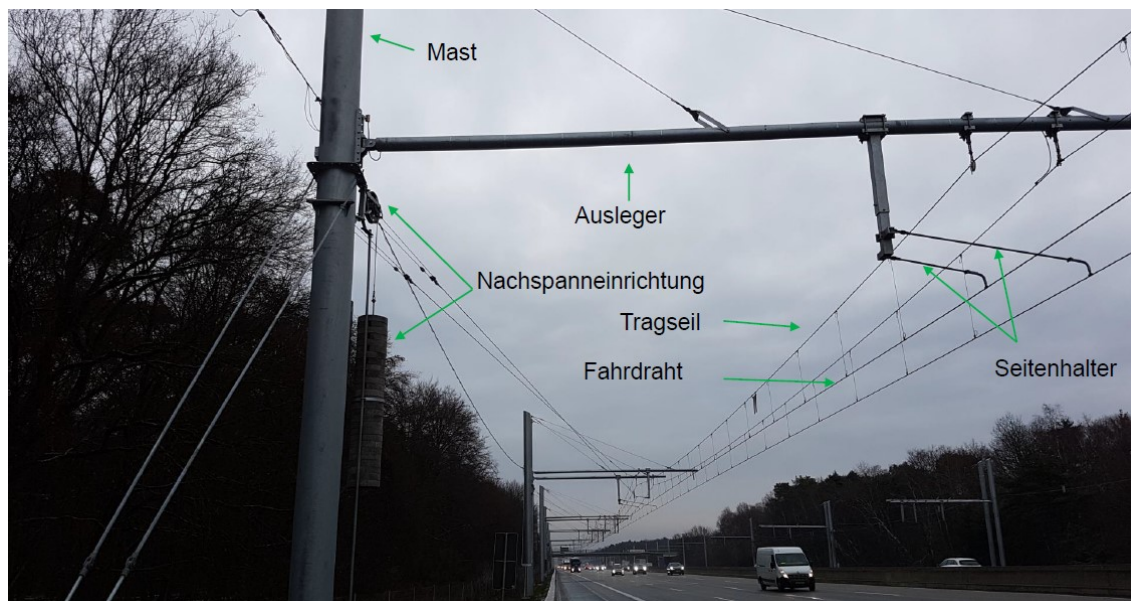


Abbildung 3: Aufbau der Oberleitung im Projekt ELISA [4]

Tabelle 1: Übersicht der relevanten Parameter der ELISA-Oberleitungsinfrastruktur [3]

| Parameter                 | Wert      |
|---------------------------|-----------|
| Mittelspannung 3AC        | 20 kV     |
| Nennspannung DC           | 670 V     |
| Nennleistung je Unterwerk | 1.000 kVA |
| Anzahl der Unterwerke     | 2         |
| Streckenlänge je Richtung | 5 km      |
| Regelfahrdrabhöhe         | 5,1 m     |
| Anzahl der Masten im      |           |
| - Randstreifen            | 223       |
| - Mittelstreifen          | 6         |

Eine einseitige Erweiterung der ELISA-Teststrecke in Fahrtrichtung Süden um etwa 7 km ist in Planung.

### 1.2.2 Stand der Technik des OH-Lkws

Während der Projektlaufzeit wurden Informationen zu den fünf aktuell im Feldversuch eingesetzten OH-Lkw mittels Anfragen von fahrzeugrelevanten Dokumenten an den Fahrzeughersteller Scania zusammengetragen. Die fünf OH-Lkw haben nahezu die gleiche Konfiguration.

Bei allen OH-Lkw handelt es sich um Sattelzugmaschinen der Scania Baureihe R450 A4x2NB R17N. Diese sind mit einem parallelen Hybridantrieb ausgestattet. Im Wesentlichen besteht die in den Lkw verbaute Technik aus einem 450 PS starken Verbrennungsmotor, einer 130 kW starken E-Maschine, einer 18,5 kWh-Batterie und einem Stromabnehmer – dem sogenannten Pantographen – für den Kontakt mit der Oberleitung zur Stromübertragung. Eine detaillierte Übersicht über die Konfiguration kann Tabelle 2 entnommen werden. Die OH-Lkw sind mit allen

standardmäßig verbauten Assistenzsystemen ausgestattet, dazu gehören z.B. der Abstandwarner oder der Notbremsassistent. Zu den besonderen Ausstattungsmerkmalen, die die Bedienung des OH-Lkw durch die Fahrer erleichtern sollen, gehören der „Catenary Keep Assist“ (CKA), und die Pantographenkamera, welche im Folgenden näher erläutert werden. Der CKA unterstützt den Fahrer dabei das Fahrzeug bei der Nutzung des Pantographen mittig in der Spur zu halten. Das System nutzt sowohl eine in der Frontscheibe verbaute Kamera als auch das „electric assisted steering“ (EAS) zur Informationsgewinnung und -übertragung an den Fahrer. Keinesfalls darf das System mit einem Autopiloten verwechselt werden, denn der Fahrer muss während der Nutzung die vollständige Kontrolle über das Fahrzeug behalten. Der CKA muss von dem Fahrer über die vorgesehenen Taster im Cockpit des OH-Lkws eigenständig angeschaltet werden. Seitens des Fahrzeugherstellers wird empfohlen, den CKA bereits kurz nach der Auffahrt auf die Autobahn einzuschalten, da das System eine gewisse Zeitdauer benötigt, um vollständig verfügbar zu sein. Der CKA kann ab einer Geschwindigkeit von 60 km/h eingesetzt werden und schaltet sich automatisch ab, sobald das Fahrzeug eine Geschwindigkeit von 56 km/h unterschreitet. Um zu verhindern, dass der Fahrer den CKA als Autopilot nutzt, wird ständig kontrolliert, ob der Fahrer mindestens eine Hand am Lenkrad hat. Ist dies nicht der Fall, wird der Fahrer mittels eines Tons und einer Nachricht in der Anzeige darauf hingewiesen, das Lenkrad in die Hand zu nehmen. Führt der Fahrer diese Aktivität nicht durch, wird der CKA automatisch abgeschaltet.

**Tabelle 2: Übersicht der OH-Lkw-Konfiguration – Generation 1.1 und 1.2 (IVV 2021)**

| Bezeichnung                                                                    | OH-Lkw-Konfiguration                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Generation                                                                     | Generation 1.1 und 1.2                                                                                                                                           |
| Fahrzeugtyp                                                                    | Scania R450 A4x2NB                                                                                                                                               |
| Fahrerkabine                                                                   | R17N (nur Notliege)                                                                                                                                              |
| Antrieb                                                                        | Parallelhybrid                                                                                                                                                   |
| Leistung des Verbrennungsmotors                                                | 450 PS                                                                                                                                                           |
| Kraftstoff                                                                     | Diesel                                                                                                                                                           |
| Tankgröße                                                                      | 300 l                                                                                                                                                            |
| Leistung der E-Maschine                                                        | 130 kW                                                                                                                                                           |
| Batterie                                                                       | 18,5 kWh                                                                                                                                                         |
| Abmessung                                                                      | Gesamtlänge inkl. Trailer ca. 16,85 m<br>Höhe: 3,95 m<br>Länge: 6,1 m<br>Breite: 2,55 m                                                                          |
| Leergewicht der Sattelzugmaschine (SZM)                                        | ca. 9,1 - 9,2 t                                                                                                                                                  |
| Eigengewicht des Pantographensystems (Siemens)                                 | ca. 350 kg                                                                                                                                                       |
| Zulässige Gesamtmasse der SZM                                                  | 19 t                                                                                                                                                             |
| Zulässiges Gesamtgewicht des Sattelzugs (Sonderzulassung/ Ausnahmegenehmigung) | 41,786 t (KV: 44 t)                                                                                                                                              |
| Höchstgeschwindigkeit laut Fahrzeughersteller                                  | 90 km/h                                                                                                                                                          |
| Anzahl der Achsen                                                              | 2                                                                                                                                                                |
| Anzahl der Antriebsachsen                                                      | 1                                                                                                                                                                |
| Technisch zulässige Achslast je Achsgruppe                                     | Achse 1: 7.500 kg<br>Achse 2: 11.500 kg                                                                                                                          |
| Nationale Emissionsklasse                                                      | EURO VI                                                                                                                                                          |
| Assistenzsysteme                                                               | Elektronisches Stabilitätsprogramm<br>Abstandswarner<br>Notbremsassistent<br>Spurhalteassistent<br><i>Catenary Keep Assis (CKA)</i><br><i>Pantographenkamera</i> |

Der CKA wurde erst im Verlauf der Betriebsphase in die Fahrzeuge integriert. Die drei OH-Lkw, die im Juni 2020 ausgeliefert wurden, waren bereits zu Beginn mit dem CKA ausgestattet. Die ersten beiden OH-Lkw, die an das Projekt ELISA in 2019 ausgeliefert wurden, wurden im Januar 2020 während eines umfangreicheren Updates mit dem CKA ausgestattet.

Die Ausstattung der OH-Lkw mit einer Kamera zur Beobachtung des Pantographen während der Fahrt war eine Nachrüstung, die im Zuge der Beobachtungen während des Feldversuchs angeregt und durchgeführt wurde. Die Pantographenkamera liefert eine Live-Übertragung des Zustands des Pantographen in das Fahrercockpit. Die Kamera ist direkt unter dem Dachspoiler angebracht, und das Bild wird auf einen zusätzlichen Bildschirm übertragen, der meist rechts im Innenraum des Fahrerhauses auf Höhe des Außenspiegels angebracht ist. Die Pantographenkamera unterstützt den Fahrer sowohl bei der Sichtkontrolle vor der Fahrt als auch bei der Ausrichtung des Pantographen innerhalb der Fahrleitungen während der Fahrt.



Berücksichtigt man den zeitlichen Verlauf des Fahrzeugbaus und der Auslieferung, so wird deutlich, dass im Zuge der Weiterentwicklung der Fahrzeuge Unterschiede hinsichtlich der Software und teilweise auch Hardware aufgetreten sind. Eine Aussage über die softwareseitigen Unterschiede zwischen den OH-Lkw lassen die vom Fahrzeughersteller dem Projekt zur Verfügung gestellten Unterlagen derzeit nicht zu, jedoch kann eine Aussage über die hardwareseitigen Unterschiede vorgenommen werden. In diesem Sinne können die fünf OH-Lkw in zwei Gruppen eingeteilt werden. Zur ersten Generation 1.1 gehören die Fahrzeuge „El Leon“ und „El Fidel“, zur zweiten Generation 1.2 die OH-Lkw „El Fondo“, „El Femina“ und „El Salto“. Die beiden Generationen unterscheiden sich insbesondere im Hinblick auf drei Komponenten:

- Positionierung der Taster zur Bedienung, z.B. des Pantographen
- Zeitlicher Verlauf der Ausrüstung mit der Pantographenkamera
- Zeitlicher Verlauf der Ausrüstung mit dem CKA

Eine Übersicht zu den Generationen befindet sich in Tabelle 3.

Über die zusätzlich verbaute E-Maschine kann dem Fahrer kurzzeitig während der Fahrt mit dem Verbrennungsmotor zusätzliche Energie über die E-Maschine bereitgestellt werden. Hierzu kann der Fahrer das Fahrpedal in Kickdown-Stellung bringen.

**Tabelle 3: Übersicht über die Unterschiede der OH-Lkw Generationen 1.1 und 1.2 im Projekt ELISA (IVV 2021)**

| Generationsbezeichnung | Generation 1.1                      |          | Generation 1.2                     |           |          |
|------------------------|-------------------------------------|----------|------------------------------------|-----------|----------|
| Name des OH-Lkws       | El Leon                             | El Fidel | El Fondo                           | El Femina | El Salto |
| Auslieferung           | 05.2019                             | 09.2019  | 06.2020                            | 06.2020   | 06.2020  |
| Position der Taster    | Abweichungen zwischen allen OH-Lkws |          |                                    |           |          |
| Pantographenkamera     | Nachrüstung der Pantographenkamera  |          | Bereits bei Auslieferung vorhanden |           |          |
| CKA                    | Nachrüstung CKA (01.2021)           |          | Bereits bei Auslieferung vorhanden |           |          |

Für die im Feldversuch eingesetzten OH-Lkw wurde von dem Fahrzeughersteller ein eigenes Instandhaltungskonzept entwickelt. Die vorgesehenen **Wartungszeiträume** können Tabelle 4 entnommen werden. Bei der Wartung wird aktuell zwischen der Inspektion (durchgeführt von Scania), der kleinen Pantographenwartung und der großen Pantographenwartung (jeweils von Siemens durchgeführt) unterschieden.

**Tabelle 4: Übersicht über das OH-Lkw Instandhaltungskonzept (IVV 2021)**

| Inhalt         | Intervall Betriebsjahr 1 | Intervall Betriebsjahr 2-3 | Ungefähre Dauer |
|----------------|--------------------------|----------------------------|-----------------|
| Inspektion     | 1 Monat                  | 3 Monate                   | 0,5 - 1 Tag     |
| Kleine Wartung | 3 Monate                 | 6 Monate                   | 1 Tag           |
| Große Wartung  | 6 Monate                 | 12 Monate                  | 2 Tage          |

### 1.3 Verwendete Einheiten

|                 |                                  |
|-----------------|----------------------------------|
| %               | Prozent                          |
| §               | Paragraph                        |
| €               | Euro                             |
| A               | Ampere                           |
| dm <sup>3</sup> | Kubikdezimeter                   |
| ft              | Feet                             |
| IMP             | Maßeinheit in der Physik         |
| Kfz             | Kraftfahrzeuge                   |
| kg              | Kilogramm                        |
| km              | Kilometer                        |
| km/a            | Kilometer pro Jahr               |
| km/h            | Kilometer pro Stunde             |
| kW              | Kilowatt                         |
| kWh             | Kilowattstunden                  |
| kWh/100km       | Kilowattstunden je 100 Kilometer |
| l               | Liter                            |
| l/100km         | Liter je 100 Kilometer           |
| l/h             | Liter pro Stunde                 |
| m               | Meter                            |
| min.            | Minuten                          |
| m/s             | Meter pro Sekunde                |
| PS              | Pferdestärke                     |
| s               | Sekunde                          |
| S.              | Seite                            |
| s/h             | Sekunden je Stunde               |
| t               | Tonne                            |
| t/Fahrt         | Tonnen pro Fahrt                 |
| TEU             | Twenty-foot Equivalent Unit      |
| tkm             | Tonnenkilometer                  |
| U/Min           | Umdrehungen pro Minute           |
| V               | Volt                             |

## **1.4 Tangierende Ergebniszwischenberichte, Vorschriften und Richtlinien zum eHighway**

- Band 1: Ergebniszwischenbericht Transporteure
- Band 2: Ergebniszwischenbericht Fahrzeughersteller
- Band 3: Ergebniszwischenbericht Energieversorgungsunternehmen
- Band 4: Ergebniszwischenbericht Oberleitungsinfrastrukturbetreiber
- Band 5: Ergebniszwischenbericht Oberleitungsinfrastrukturerrichter
- Band 6: Ergebniszwischenbericht Straßeninfrastrukturbetreiber
- Band 7: Ergebniszwischenbericht Straßenbetriebsdienst
- Band 8: Ergebniszwischenbericht Gesamtgesellschaft

## 2 EVALUATIONSKONZEPT DES FELDVERSUCHS

Dem ELISA-Projekt liegen im Allgemeinen umfassende Zielstellungen zu Grunde:

- „Das System eHighway soll nach straßenbaulichen und straßenbetrieblichen Kriterien im realen Verkehrssystem und im Zusammenwirken mit bestehenden Strategien des Verkehrsmanagements evaluiert werden. Dadurch soll ein valides Gesamtkonzept für den infrastrukturseitigen Handlungsbedarf bei der Realisierung oberleitungsgebundener Antriebskonzepte im elektrifizierten Güterverkehr erstellt werden. In dieses Konzept sollen zudem Empfehlungen zum Betrieb des eHighway in Wechselwirkung mit Anforderungen der Verkehrsbeeinflussung, des Straßenbetriebsdienstes (z.B. Winterdienst) und des Störfallmanagements einfließen.“ [5]
- „Der Nachweis der technischen Machbarkeit einer Elektrifizierung von Autobahnstrecken mit Hilfe von straßenseitig installierten Oberleitungen unter realen Einsatzbedingungen soll geführt werden.
- Es sollen Aussagen zu Funktionalität und Zuverlässigkeit der Fahrzeug- und Infrastruktursysteme im Realbetrieb getroffen werden.
- Im Rahmen des Projekts soll ein [fahrzeugscharfes] Abrechnungsmodell für die Energieversorgung der am Feldversuch beteiligten OH-Lkw entwickelt und untersucht werden.
- Es sollen die Auswirkungen des elektrifizierten, schweren Güterverkehrs auf Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf unter verschiedenen Last-, Witterungs- und Verkehrsbedingungen bewertet werden.
- Die Integration von OH-Lkw in das bestehende Verkehrsmanagementsystem, insbesondere hinsichtlich der Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation, soll erprobt werden.“ [5]
- „Anforderungen aus der Tourenplanung an Fahrzeuge und Gesamtsystem sollen ermittelt werden (z.B. Mindestausstattungsgrade von Strecken für verschiedene Einsatzfälle).
- Für Transporteure relevante wirtschaftliche Grundlagen zum Einsatz von OH-Lkw sollen erforscht werden.“ [5]
- „Das begleitende Forschungs- und Evaluationsprogramm soll alle relevanten verkehrstechnischen, energietechnischen, ökologischen, ökonomischen und rechtlichen Aspekte erfassen (z.B. Wirtschaftlichkeits- und Umweltkennwerte, insbesondere Energiebedarf, Emissionen und Betriebskosten).
- Empfehlungen für den späteren Systemausbau sollen formuliert und zusammen mit den weiteren Erkenntnissen aus dem Projekt in zielgruppenspezifischen Hinweispapieren dokumentiert werden.
- Es sollen neben der Evaluation des Feldversuchs selbst einige für einen groß angelegten Ausbau des Systems relevanten Fragestellungen untersucht, und [die nötigen] Voraussetzungen geschaffen werden.

- Während der Projektlaufzeit sollen weitere Transporteure zu einer Teilnahme am Feldversuch motiviert werden, um damit eine Weiterführung des Betriebs der Teststrecke über die Projektlaufzeit hinaus und möglichst auch einen ersten Ausbau der Teststrecke zu unterstützen.“ [5]

Zur Erreichung dieser Ziele wurde noch vor Beginn der eigentlichen Evaluationsphase ein detailliertes Evaluationskonzept erarbeitet, das ein Erreichen der Ziele gewährleistet. Das ursprüngliche Evaluationskonzept als Grundlage nehmend, wurde dieses im Laufe der voranschreitenden Untersuchungen und Analysen im Feldversuch iterativ überarbeitet, ergänzt, verfeinert und komplettiert. Im Ergebnis zeigt sich eine unter den beteiligten Forschungspartnern abgestimmte Vorgehensweise mit der sogenannten Evaluationsmatrix, mit der auch eine einheitliche Strukturierung der verschiedenen Bände des Ergebniszwischenberichts hergestellt wurde. Die durchgeführten Untersuchungen erfolgten und erfolgen dabei schlussendlich hypothesen-basiert. Die entwickelte Vorgehensweise wird im Folgenden dargestellt.

### Evaluationsmatrix

Die Evaluationsmatrix bildet die Grundlage der im ELISA-Feldversuch angestellten Untersuchungen. Sie folgt in ihrem Aufbau einer klaren Struktur. Unterschieden werden acht Akteursgruppen, für die jeweils in fünf übergeordneten Evaluationsbereichen Analysen durchgeführt und Ergebnisse erarbeitet werden. In den einzelnen Schnittflächen, die sich durch die Überschneidung von jeweiligem Akteur mit einem Untersuchungsbereich ergeben, befinden sich sogenannte Evaluationsaspekte. Rund sechzig Evaluationsaspekte wurden definiert. Der Untersuchung eines jeden Evaluationsaspekts liegen jeweils mehrere Forschungshypothesen zu Grunde. Die nachfolgende Abbildung 4 zeigt diesen grundlegenden Aufbau der Evaluationsmatrix auf.

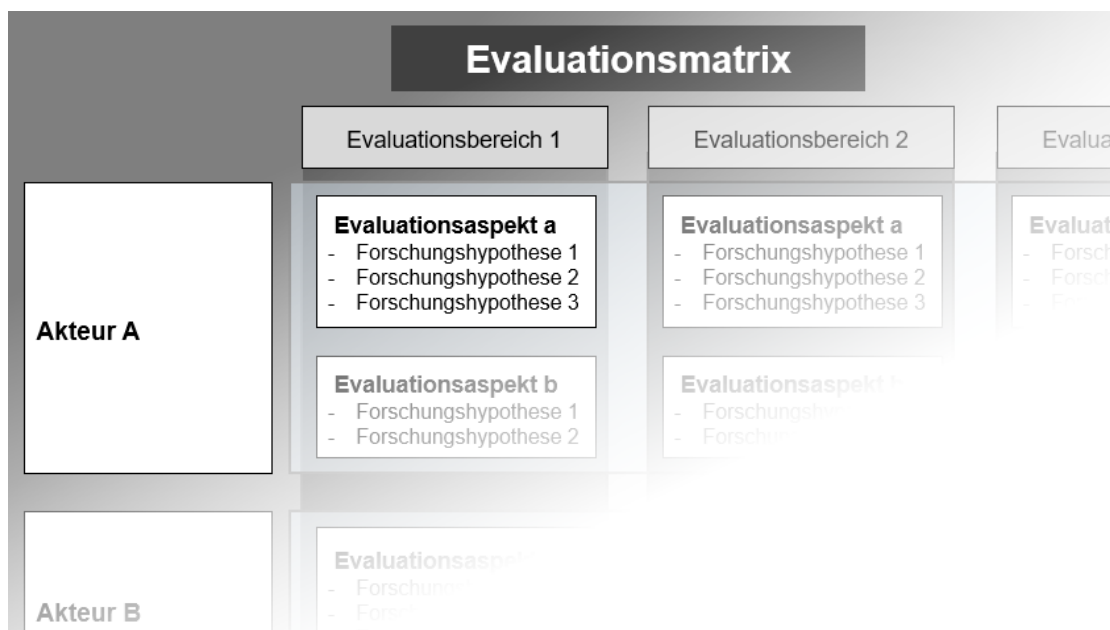


Abbildung 4: Grundlegender Aufbau der Evaluationsmatrix (IVV 2021)

Um die Forschungsaktivitäten und -ergebnisse sicher zuordnen zu können, wurde für die Matrix ein Nummerierungsverfahren entwickelt. Im Folgenden werden die einzelnen Bestandteile der Matrix sowie die zugehörige Nummerierungsstruktur kurz dargelegt. Der aktuelle Stand der Evaluationsmatrix lässt sich darüber hinaus Anhang I entnehmen.

### Nummerierung der Forschungshypothesen

Abbildung 5 zeigt in Kürze die Hypothesennummerierung zur Orientierung und zum besseren Verständnis auf.

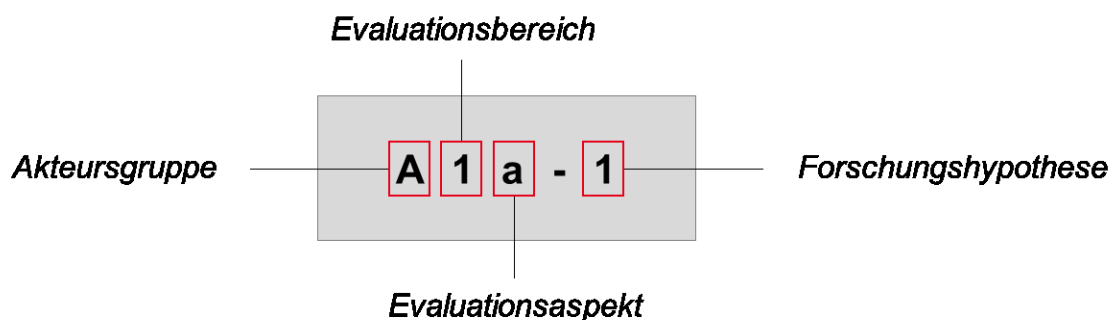


Abbildung 5: Nummerierung der Forschungshypothesen (IVV 2021)

### Akteursgruppen

Für die Untersuchungen im ELISA-Projekt wurden insgesamt acht Akteursgruppen definiert. Für eine eindeutige Zuordnung wurde jeder Akteursgruppe ein Großbuchstabe, beginnend mit A und endend mit H, zugeordnet. Die folgenden Akteursgruppen werden im ELISA-Projekt betrachtet:

- Transporteure (A)
- Fahrzeughersteller (B)
- Energieversorgungsunternehmen (C)
- Oberleitungsinfrastrukturbetreiber (D)
- Oberleitungsinfrastrukturerrichter (E)
- Straßeninfrastrukturbetreiber (F)
- Straßenbetriebsdienst (G)
- Gesellschaft (H)

### Evaluationsbereiche

Für jede Akteursgruppe werden Untersuchungen in bis zu fünf verschiedenen Evaluationsbereichen vorgenommen. Um auch die Evaluationsbereiche eindeutig voneinander abzugrenzen, wurden diesen Ziffern von 1 bis 5 zugeordnet. In den folgenden Evaluationsbereichen werden im ELISA-Projekt Untersuchungen vorgenommen:

- verkehrlich-technisch (1)
- ökonomisch (2)
- ökologisch (3)

- rechtlich-organisatorisch (4)
- akteursspezifisch (5)

### Evaluationsaspekte

Die Überschneidung einer Akteursgruppe mit einem Evaluationsbereich erzeugt aufgrund der Matrizenstruktur der Evaluationsmatrix eine Schnittfläche. In dieser Schnittfläche befinden sich Evaluationsaspekte, die der Untersuchung der Kombination aus spezifischem Akteur mit spezifischem Evaluationsbereich dienen. Dem ELISA-Projekt liegen in Summe rund sechzig Evaluationsaspekte zu Grunde. Einer Schnittfläche können dabei mehrere, aber im Einzelfall auch gar keine Evaluationsaspekte zugeordnet sein. Um eine klare Struktur zu gewährleisten, werden auch die Evaluationsaspekte, die sich in einer Schnittfläche befinden, nummeriert. Zurückgegriffen wird hierbei auf eine Nummerierung mittels Kleinbuchstaben (beginnend in jeder Schnittfläche mit a).

### Forschungshypothesen

Zur Untersuchung der einzelnen Evaluationsaspekte dienen schlussendlich erarbeitete Forschungshypothesen, im Folgenden auch als „Hypothese/n“ bezeichnet. Die Anzahl dieser Hypothesen kann je Evaluationsaspekt variieren. Aufgrund mehrerer Hypothesen je Evaluationsaspekt werden auch die Hypothesen nummeriert. Hierzu wird auf eine Hochzählung mittels arabischer Zahlen zurückgegriffen, die für jeden Evaluationsaspekt erneut mit der Ziffer 1 beginnt.

Die Forschungshypothesen wurden grundsätzlich so formuliert, dass ihre Bestätigung auf eine positive Bewertung des eHighway-Systems schließen lässt. Eine Widerlegung weist hingegen auf eine negative Bewertung und weiteren Entwicklungsbedarf hin. Nachfolgende Handreichung gibt Aufschluss, wie die Antwortmöglichkeiten auf Hypothesen in der Regel zu verstehen sind:

**Tabelle 5: Handreichung zur Interpretation der Antwortmöglichkeiten von Hypothesen (IVV 2021)**

| Antwortmöglichkeit | Interpretation                                                                                                                                                         |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bestätigt          | Die definierte Hypothese lässt sich bestätigen. Eine bestätigte Hypothese spricht sich in der Regel für das eHighway-System aus (positiv).                             |
| Widerlegt          | Die definierte Hypothese lässt sich widerlegen. Eine widerlegte Hypothese spricht sich in der Regel gegen das eHighway-System aus (negativ).                           |
| Offen              | Die definierte Hypothese lässt sich zum aktuellen Berichtszeitpunkt weder vorläufig, noch abschließend beantworten. Weitere Forschungsaktivitäten werden durchgeführt. |
| Verworfen          | Die definierte Hypothese wurde verworfen und wird im voranschreitenden Projektverlauf nicht weiter betrachtet.                                                         |

Aufgeführt werden in diesem Ergebniszwischenbericht alle bis zum aktuellen Zeitpunkt bearbeiteten Hypothesen. Weitere Hypothesen und Evaluationsaspekte werden mit dem finalen Ergebnisbericht ergänzt.

### **Methoden und Ergebnisse**

Für die fundierte Untersuchung der einzelnen Hypothesen wurden vielfältige Methoden und Vorgehensweisen angewendet. Die Hypothesenuntersuchung führt schließlich zu umfassenden Ergebnissen je Evaluationsaspekt.



## 3 ERGEBNISSE DES PROJEKTS ELISA II-B

### 3.1 Ergebnisse aus Sicht der Transporteure

*Die nachfolgenden Ausführungen beschäftigen sich mit der Analyse des eHighway-Systems aus Sicht der Transporteure. Fokussiert werden dabei unter anderem die technische Eignung der OH-Lkw für Transporteure und die Integration der OH-Lkw in Logistikprozesse. Im weiteren Verlauf wird der Kraftstoff- und Stromverbrauch von OH-Lkw evaluiert.*

#### 3.1.1 Technische Eignung der OH-Lkw für Transportunternehmen

*Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methoden und die Ergebnisse zu den Hypothesen zur technischen Eignung der OH-Lkw für Transportunternehmen vorgestellt.*

##### 3.1.1.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden

Für die Analyse der technischen Anforderungen der Transporteure an die OH-Lkw wurde zu Beginn des Projekts eine Abfrage per Fragebogen vorgenommen, die im weiteren Projektverlauf mittels persönlicher oder telefonischer Einzelgespräche mit den zuständigen Ansprechpartnern der Unternehmen um weitere Erkenntnisse ergänzt wurde. Anschließend wurden diese Erkenntnisse für den Abgleich von Anforderungen mit den technischen Eigenschaften der ersten OH-Lkw-Generation genutzt.

Des Weiteren wurden im Laufe des Jahres 2020 neun digitale Interviews mit dem Management der beteiligten Transportunternehmen zum Fahrzeugeinsatz durchgeführt. Die Interviews wurden mittels Gesprächsprotokollen dokumentiert und hinsichtlich der folgenden Themen ausgewertet:

- Einbuße bei der Zuladung
- Reichweite der Fahrzeuge

Neben der Durchführung und Auswertung von Befragungen wurden außerdem die während des Realbetriebs erhobenen Fahrzeugdaten für die Ergebnisse zu den Fahrgeschwindigkeiten der OH-Lkw ausgewertet und zur Analyse grafisch aufbereitet.

##### 3.1.1.2 Untersuchte Hypothesen

Insgesamt hat der Feldversuch bisher ergeben, dass die wesentlichen technischen Anforderungen der Transportunternehmen an die aktuelle OH-Lkw-Generation durch die in ELISA eingesetzten Versuchsfahrzeuge bereits weitgehend erfüllt werden. Einzelne offene Anforderungen, die im folgenden Kapitel benannt werden, sollten Gegenstand der weiteren Entwicklung sein. Tabelle 6 zeigt eine Übersicht der geprüften Hypothesen.

**Tabelle 6: Hypothesenübersicht zur technischen Eignung von OH-Lkw für Transportunternehmen**

| Nr.   | Hypothese                                                                                                                                                                                        | Ergebnis  |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| A1a-1 | Es können keine wesentlichen Einschränkungen hinsichtlich der technischen Anforderungen seitens der beteiligten Transportunternehmen an dem aktuell eingesetzten OH-Lkw-Typ festgestellt werden. | Bestätigt |
| A1a-2 | Das höhere Gewicht der Sattelzugmaschine des aktuell eingesetzten OH-Lkw-Typs schränkt die Zuladung nicht ein.                                                                                   | Bestätigt |
| A1a-3 | Trotz des höheren Gewichts der Sattelzugmaschine des aktuell eingesetzten OH-Lkw-Typs ist eine Zulassung möglich.                                                                                | Bestätigt |
| A1a-4 | Trotz der größeren Länge des aktuell eingesetzten OH-Lkw-Sattelzugs ist eine Zulassung möglich.                                                                                                  | Bestätigt |
| A1a-5 | Die Fahrgeschwindigkeit des aktuell eingesetzten OH-Lkw-Typs ändert sich gegenüber einem konventionellen Lkw nicht.                                                                              | Bestätigt |
| A1a-6 | Die Reichweite des aktuell eingesetzten OH-Lkw-Typs ändert sich gegenüber einem konventionellen Lkw nicht.                                                                                       | Bestätigt |

### 3.1.1.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Die Auswertungen zu den technischen Anforderungen seitens der Transportunternehmen an den aktuell im Projekt ELISA eingesetzten OH-Lkw haben ergeben, dass die OH-Lkw die Anforderungen seitens der Transportunternehmen größtenteils erfüllen. So werden beispielsweise die Anforderungen an die Antriebsleistung, die Achskonfiguration, das zulässige Gesamtgewicht, notwendige Assistenzsysteme sowie die Kompatibilität mit unterschiedlichen Aufliegertypen erfüllt. Zu den unterschiedliche Aufliegertypen, welche im Feldversuch erfolgreich getestet wurden, zählen Auflieger mit Koffer mit oder ohne Kühlfunktion, Containerchassis (20ft oder 40ft) sowie Tankauflieger. Somit kann die Hypothese A1a-1 („Es können keine wesentlichen Einschränkungen hinsichtlich der technischen Anforderungen seitens der beteiligten Transportunternehmen an dem aktuell eingesetzten OH-Lkw-Typ festgestellt werden“) bestätigt werden.

Einige spezifische Anforderungen, wie die Einrichtung der sicherheitstechnischen Voraussetzungen zum Transport von Gefahrgut sowie der Einsatz eines Kippaufliegers werden von den aktuell eingesetzten OH-Lkw nicht erfüllt. Jedoch schließt dies nicht die Möglichkeit aus, dass die Fahrzeuge im Zuge der Weiterentwicklung bis hin zur Serienproduktion auch diese Anforderungen erfüllen können. Des Weiteren konnte bislang dem Wunsch der Transportunternehmen auch kleinere Fahrzeugtypen, wie Lastwagen von 12t bis 25t mit einem Pantographensystem auszustatten nicht nachgekommen werden. Erste Hinweise der Fahrzeughersteller zeigen jedoch auf, dass auch in diesem Bereich zukunftsfähige Lösungen gefunden werden sollen.

Aus den monatlichen Rücksprachen mit den Transportpartnern ging hervor, dass aufgrund des höheren Gesamtgewichts der Sattelzugmaschine keine Zuladungseinbußen festgestellt wurden. Die Hypothese A1a-2 („Das höhere Gewicht der Sattelzugmaschine des aktuell eingesetzten OH-Lkw-Typs schränkt die Zuladung nicht ein“) kann somit bestätigt werden.

Im Zuge der Analyse der OH-Lkw-Konfiguration und der Begleitung der OH-Lkw-Zulassung wurde festgestellt, dass trotz des höheren Gewichts der Sattelzugmaschine und der größeren Länge der OH-Lkw aufgrund der zusätzlich verbauten Pantographenkomponenten eine Zulassung der aktuell eingesetzten OH-Lkw möglich war. Die Hypothesen A1a-3 („Trotz des höheren Gewichts der Sattelzugmaschine des aktuell eingesetzten OH-Lkw-Typs ist eine Zulassung möglich“) und A1a-4 („Trotz der größeren Länge des aktuell eingesetzten OH-Lkw-Sattelzugs ist eine Zulassung möglich“) können daher bestätigt werden.

Die Auswertung der Fahrgeschwindigkeiten der OH-Lkw über die Monatsverläufe haben gezeigt, dass die OH-Lkw die Oberleitungsanlage größtenteils mit der maximal zulässigen Fahrgeschwindigkeit (80 km/h) passieren. Diese Geschwindigkeit ist wiederum vergleichbar mit der Durchschnittsgeschwindigkeit eines konventionellen Lkws. Die Hypothese A1a-5 („Die Fahrgeschwindigkeit der OH-Lkw ändert sich gegenüber einem konventionellen Lkw nicht“) kann daher bestätigt werden.

Die Auswertung der monatlichen Transporteure-Befragung hinsichtlich der Reichweiten der OH-Lkw hat ergeben, dass eine Reichweiteneinschränkung aus ihrer Sicht für den aktuellen Einsatz der OH-Lkw nicht vorliegt. Aufgrund der Ausstattung des OH-Lkws sowohl mit einem Verbrennungsmotor als auch einer E-Maschine, die sowohl Energie aus der Oberleitung mittels Pantographen als auch außerhalb der Oberleitungsanlage über die Batterie beziehen kann, ist die Reichweite eines OH-Lkws vergleichbar mit der Reichweite eines konventionellen Lkws. Die Hypothese A1a-6 („Die Reichweite des aktuell eingesetzten OH-Lkw-Typs ändert sich gegenüber einem konventionellen Lkw nicht“) kann daher bestätigt werden.

### **3.1.2 Integration der OH-Lkw in Logistikprozesse**

*Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methoden und die Ergebnisse zu den Hypothesen zur Integration der OH-Lkw in Logistikprozesse vorgestellt.*

#### **3.1.2.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden**

Zur Bewertung der Integration des OH-Lkws in die Logistikprozesse der beteiligten Transportunternehmen wurden die CarMediaLab-Daten (CML-Daten) hinsichtlich der täglich zurückgelegten Kilometer und der Anzahl der täglichen Fahrten unter der Anlage ausgewertet. Hierbei wurde ein mehrstufiges Verfahren mit folgenden Verfahrensschritten angewendet: Datenbereinigungsphase; tagesbasierte Auswertungen von zurückgelegten Kilometern je OH-Lkw und Fahrten (mittels Softwaretool R); Abgleich von innerhalb des Fahrzeugbetriebstagebuchs definierten regulären Betriebstagen mit den verfügbaren Fahrzeugdaten sowie abschließende Auswertung, Analyse und graphische Aufbereitung der Ergebnisse für alle OH-Lkw.

Außerdem wurden Experteninterviews mit dem Management der Transportunternehmen durchgeführt und die Gesprächsprotokolle hinsichtlich der folgenden Themen ausgewertet:

- Erfüllung der betrieblich-operativen Anforderungen seitens Transportunternehmen
- Struktur der Transportketten
- Einrichtungen auf dem Betriebshof
- Transportierte Güter mit dem OH-Lkw

### 3.1.2.2 Untersuchte Hypothesen

Insgesamt zeigt die Hypothesenübersicht in Tabelle 7 bislang auf, dass die Integration der OH-Lkw in Logistikprozesse durch die in ELISA eingesetzten Versuchsfahrzeuge bereits sehr weitgehend möglich ist. Einzelne Einschränkungen, die im folgenden Kapitel benannt werden, sind auf die Rahmenbedingungen im Versuchsbetrieb zurückzuführen oder sollen Gegenstand der weiteren Entwicklung sein.

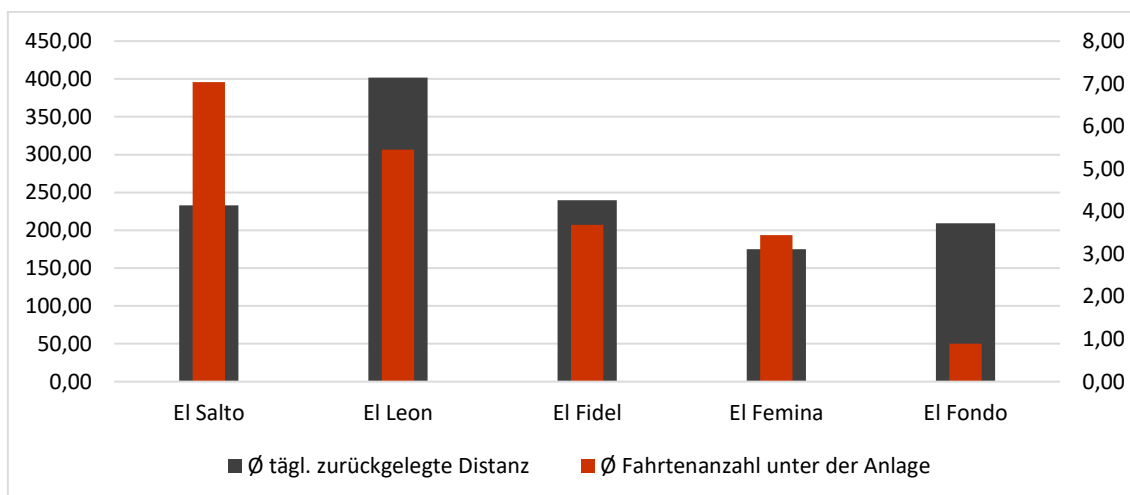
Tabelle 7: Hypothesenübersicht zur Integration von OH-Lkw in Logistikprozesse

| Nr.   | Hypothese                                                                                                                                                      | Ergebnis  |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| A1b-1 | Die Transportunternehmen können den aktuellen OH-Lkw-Typ ohne Einschränkungen einsetzen.                                                                       | Offen     |
| A1b-2 | Der aktuell eingesetzte OH-Lkw-Typ kann in unterschiedliche Transportkettenstrukturen integriert werden.                                                       | Bestätigt |
| A1b-3 | Die betrieblich-operativen Anforderungen der Transportunternehmen an den aktuell eingesetzten OH-Lkw-Typ werden erfüllt.                                       | Bestätigt |
| A1b-4 | Es bedarf keiner zusätzlichen Einrichtungen auf dem Betriebshof des Transporteurs oder Kunden zum Betrieb des aktuell eingesetzten OH-Lkw-Typs.                | Bestätigt |
| A1b-5 | Es können keine wesentlichen Einschränkungen hinsichtlich des Transports verschiedener Güterarten mit dem aktuell eingesetzten OH-Lkw-Typ festgestellt werden. | Bestätigt |

### 3.1.2.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Das Ergebnis der Analysen der durchschnittlich zurückgelegten Kilometer und der Fahrtenanzahl der OH-Lkw unter der Anlage zeigt (siehe Abbildung 6), dass alle OH-Lkw in die Transportprozesse der beteiligten Transportunternehmen integriert werden konnten und keine Einschränkungen beim Betrieb aufgetreten sind. Drei der fünf OH-Lkw werden im Vor- oder Nachlauf einer Transportkette eingesetzt und die zwei weiteren OH-Lkw im Direktverkehr. Einer der drei im Vor- oder Nachlauf eingesetzten OH-Lkw wird darüber hinaus im kombinierten Verkehr eingesetzt. Auch die Struktur der Transportfahrten variiert zwischen den OH-Lkw. So wird ein OH-Lkw im Verteilerverkehr eingesetzt, und die vier weiteren OH-Lkw fungieren als Zustell- oder Abholfahrt z.T. sogar als Shuttle mit hoher Frequenz. Basierend auf den bereits durchgeführten Analysen kann bisher keine abschließende Aussage zur Hypothese A1b-1 („Die

Transportunternehmen können den aktuellen OH-Lkw-Typ ohne Einschränkungen einsetzen“) getroffen werden, jedoch ist davon auszugehen, dass eine Befragung des Managements der Transportunternehmen die Erkenntnisse basierend auf der Auswertung zur täglich zurückgelegten Distanz untermauern werden. Die Hypothese A1b-2 („Der aktuell eingesetzte OH-Lkw-Typ kann in unterschiedliche Transportkettenstrukturen integriert werden“) kann basierend auf der Analyse der Transportkettenstrukturen bislang vorläufig bestätigt werden.



**Abbildung 6: Durchschnittliche täglich zurückgelegte Distanz und durchschnittliche Fahrtenanzahl unter der Anlage (IVV 2021)**

Die Auswertung der monatlichen Interviews mit den Transporteuren ergab, dass besonders wichtige betrieblich-operative Anforderungen, wie die Termintreue, Transportzeit oder die Kundenzufriedenheit unter Einsatz des aktuellen OH-Lkw-Typs jederzeit gewährleistet werden konnten. Außerdem wurde festgestellt, dass für den Betrieb des OH-Lkws keine zusätzlichen Einrichtungen auf dem Betriebshof des Transporteurs oder Kunden notwendig sind. Somit können die Hypothesen A1b-3 („Die betrieblich-operativen Anforderungen der Transportunternehmen an den aktuell eingesetzten OH-Lkw-Typ werden erfüllt“) und A1b-4 („Es bedarf keiner zusätzlichen Einrichtungen auf dem Betriebshof des Transporteurs oder Kunden zum Betrieb des aktuell eingesetzten OH-Lkw-Typs“) bestätigt werden.

Die im Realbetrieb des Projekts ELISA eingesetzten OH-Lkw transportieren eine Vielzahl von Gütern mit unterschiedlichen Eigenschaften. Zu diesen Gütern gehören Dispersionsfarbe, temperaturempfindliche Güter wie Lebensmittel, Dünnschlamm und Profile für den Trockenbau. Trotz der unterschiedlichen Anforderungen der Güter an den Transport konnte festgestellt werden, dass es keine Einschränkungen für die im Projekt beförderten Güter vorliegen. Im Zuge der Rücksprachen mit den Transporteuren wurde jedoch auch festgestellt, dass es Güter gibt, die zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht mit dem OH-Lkw transportiert werden können. Hierzu gehören insbesondere Schüttgüter, die mit einem Kippauflieger transportiert werden müssten und Gefahrgüter. Im Zuge der Weiterentwicklung der OH-Lkw sollte dies berücksichtigt werden. Die Hypothese A1b-5 („Es können keine wesentlichen Einschränkungen

hinsichtlich des Transports verschiedener Güterarten mit dem aktuell eingesetzten OH-Lkw-Typ festgestellt werden“) kann basierend auf dem Ergebnis der Analysen vorläufig bestätigt werden.

### 3.1.3 Kraftstoff- und Stromverbrauch

*In Theorie ist einer der maßgebenden Vorteile des eHighway-Systems sein Potential, den Kraftstoffverbrauch im Straßengüterverkehr erheblich zu reduzieren, je nach Verbreitung des Systems gar vollends zu vermeiden. Es ist deshalb besonders wichtig, den Kraftstoff- und Strombedarf der aktuell eingesetzten OH-Lkw ausführlich zu analysieren.*

#### 3.1.3.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden

Für die Analysen zum Kraftstoff- und Stromverbrauch wurde ein eigens dafür entwickeltes, vierstufiges Vorgehen angewendet. Beginnend mit umfassenden Recherchen zum aktuellen Stand des Wissens und einer Auseinandersetzung mit der verfügbaren CarMediaLab-Datenbasis, schloss sich die Durchführung von Forschungsfahrten mit OH-Lkw an. Es wurden zunächst sogenannte Betriebsmodi eines OH-Lkws definiert, diese mittels geeigneter Filterkriterien in der vorhandenen Datenbasis eindeutig identifiziert und validiert sowie im Anschluss daran Verbrauchsberechnungen in Abhängigkeit von den Betriebsmodi durchgeführt. Zur Sicherstellung einer hohen Ergebnisqualität wurde darüber hinaus ein umfassender Datenbereinigungsprozess implementiert.

#### 3.1.3.2 Untersuchte Hypothesen

Die in Tabelle 8 dargestellten Hypothesen liegen der Untersuchung des Kraftstoff- und Stromverbrauchs von OH-Lkw zu Grunde.

Tabelle 8: Hypothesenübersicht zum Kraftstoff- und Stromverbrauch

| Nr.   | Hypothese                                                                                                                                | Ergebnis  |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| A3a-1 | Der Kraftstoff- und Stromverbrauch eines OH-Lkws wird durch die Nutzung der Oberleitungs-Technologie gesenkt.                            | Bestätigt |
| A3a-2 | Der Kraftstoff- und Stromverbrauch eines OH-Lkws ist abhängig von der Leistungsfähigkeit der E-Maschine.                                 | Bestätigt |
| A3a-3 | Der Kraftstoff- und Stromverbrauch eines OH-Lkws ist abhängig von der Fahr-Geschwindigkeit des OH-Lkws.                                  | Bestätigt |
| A3a-4 | Der Kraftstoff- und Stromverbrauch eines OH-Lkws ist abhängig vom Gesamtgewicht des OH-Lkw-Sattelzugs.                                   | Offen     |
| A3a-5 | Der Kraftstoff- und Stromverbrauch eines OH-Lkws ist abhängig vom Anteil der durch Oberleitungen elektrifizierten und nutzbaren Strecke. | Bestätigt |

#### 3.1.3.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Erfahrungen im Feldversuch haben gezeigt, dass ein OH-Lkw in verschiedenen Betriebszuständen – sogenannte Betriebsmodi – operieren kann. Als wichtiges Ergebnis wurden zunächst 6+1-Betriebsmodi eines OH-Lkws identifiziert, die alle möglichen Betriebszustände

eines OH-Lkws lückenlos abdecken. Es wurden dabei drei hybride Betriebsmodi, drei elektrische Betriebsmodi und ein Übergangsmodus definiert, welche sich datenbasiert eindeutig wiederfinden und abgrenzen lassen. Auf dieser Basis konnten fundierte Rückschlüsse auf den Kraftstoff- und Stromverbrauch von OH-Lkw gezogen werden. [16, 17] Unterschieden werden:

- **„Hybrid-Standardmodus:** Während der OH-Lkw im Hybrid-Standardmodus operiert, ist der Verbrennungsmotor immer aktiv. Die Traktion wird durch die Interaktion zwischen Verbrennungsmotor und E-Maschine sichergestellt, wobei der Verbrennungsmotor in diesem Modus die Hauptleistung erbringt. Der Pantograph wird in diesem Modus nicht verwendet. Leistungsüberschüsse und/oder Rekuperation laden die Batterie. Energiequellen für die Traktion sind hauptsächlich Dieselkraftstoff (primäre Energiequelle), aber auch elektrische Energie aus der Batterie (sekundäre Energiequelle).“ [17]
- **„Hybrid-Zwangslademodus:** Während der OH-Lkw im Hybrid-Zwangslademodus operiert, ist der Verbrennungsmotor immer aktiv. Die Traktion wird durch die Interaktion zwischen Verbrennungsmotor und E-Maschine sichergestellt, wobei der Verbrennungsmotor in diesem Modus die Hauptleistung erbringt. Der Pantograph wird in diesem Modus nicht verwendet. Leistungsüberschüsse und/oder Rekuperation laden die Batterie. Energiequellen für die Traktion sind hauptsächlich Dieselkraftstoff (primäre Energiequelle), aber auch elektrische Energie aus der Batterie (sekundäre Energiequelle). Zusätzlich zum Hybrid-Standardmodus wird in diesem Betriebsmodus der Verbrennungsmotor aktiv genutzt, um einen Leistungsüberschuss zum Laden der Batterie zu erzwingen.“ [17]
- **„Hybrid-Oberleitungsmodus:** Während der OH-Lkw im Hybrid-Oberleitungsmodus operiert, ist der Verbrennungsmotor immer aktiv. Die Traktion wird durch die Interaktion zwischen Verbrennungsmotor und E-Maschine sichergestellt. Der Pantograph ist mit der Oberleitung verbunden. Leistungsüberschüsse sowohl aus der Oberleitung als auch aus dem Verbrennungsmotor sowie Rekuperation laden gegebenenfalls die Batterie. Energiequellen für die Traktion sind sowohl Dieselkraftstoff als auch elektrische Energie aus der Oberleitung (beide Energiequellen sind in diesem Fall die primäre Energiequelle).“ [17]
- **„Elektrisch-Standardmodus:** Während der OH-Lkw im Elektrisch-Standardmodus operiert, ist der Verbrennungsmotor nicht in Betrieb. Die Traktion wird nur durch die E-Maschine gewährleistet. Der Pantograph wird nicht eingesetzt. Die Batterie kann durch Rekuperation geladen werden. Energiequelle für die Traktion ist ausschließlich elektrische Energie aus der Batterie (primäre Energiequelle).“ [17]
- **„Elektrisch-Zwangsmodus:** Während der OH-Lkw im Elektrisch-Zwangsmodus operiert, ist der Verbrennungsmotor nicht in Betrieb. Die Traktion wird nur durch die E-Maschine gewährleistet. Der Pantograph wird nicht eingesetzt. Die Batterie kann durch Rekuperation geladen werden. Energiequelle für die Traktion ist ausschließlich elektrische Energie aus der Batterie (primäre Energiequelle). Der Unterschied zwischen

diesem Betriebsmodus und dem Elektrisch-Standardmodus besteht darin, dass der OH-LKW vom Fahrer mittels Knopfdrucks gezwungen wird, ausschließlich die E-Maschine für die Traktion zu verwenden. (Dies kann insbesondere in immissionssensiblen Bereichen, z. B. auf dem Betriebshof oder in Siedlungsgebieten, genutzt werden.)“ [17]

- **„Elektrisch-Oberleitungsmodus:** Während der OH-Lkw im Elektrisch-Oberleitungsmodus operiert, ist der Verbrennungsmotor nicht in Betrieb. Die Traktion wird nur durch die E-Maschine gewährleistet. Der Pantograph ist mit der Oberleitung verbunden. Leistungsüberschüsse aus der Oberleitung und/oder Rekuperation laden gegebenenfalls die Batterie. Energiequelle für die Traktion ist elektrische Energie aus der Oberleitung (primäre Energiequelle).“ [17]
- **„Übergangsmodus:** Es können Übergänge zwischen zwei Betriebsmodi auftreten. Während ein Übergang stattfindet, sind verschiedene und nicht eindeutig zuzuordnende Betriebszustände möglich. Die Drehzahl des Verbrennungsmotors ist Null, wenngleich der Betriebszustand des Verbrennungsmotors bereits auf aktiv gesetzt wurde.“ [17]

*Hinweis: Zwangs-Betriebsmodi lassen sich zum aktuellen Zeitpunkt datenbasiert noch nicht eindeutig identifizieren. Sie werden aus diesem Grund bislang mit den zugehörigen Standard-Betriebsmodi zusammengefasst. Auswirkungen auf die dargestellten Kraftstoff- und Stromverbrauchswerte sind zu vernachlässigen. [17]*

Auf diesen Erkenntnissen aufbauend, lässt sich als ein weiteres, wesentliches Ergebnis die Hypothese A3a-1 („Der Kraftstoff- und Stromverbrauch eines OH-Lkws wird durch die Nutzung der Oberleitungs-Technologie gesenkt“) bestätigen. Auf Basis von 178.837 Testkilometern konnte analysiert werden, dass nicht nur eine Kraftstoffverbrauchssenkung realisierbar ist, sondern in Abhängigkeit der Betriebsmodi auch ein Null-Kraftstoffverbrauch in verschiedenen Fahrsituationen möglich ist.

Je nach Betriebsmodus lassen sich spezifische Verbrauchskennwerte zum aktuellen Stand wiedergeben:

- Ein OH-Lkw verbraucht im Hybrid – Standardmodus (kombiniert aus Hybrid – Standard- und Hybrid – Zwangslademodus) im Schnitt 29,96 l/100km Diesel sowie 8,88 kWh/100km elektrische Energie.
- Ein OH-Lkw verbraucht im Elektrisch – Standardmodus (kombiniert aus Elektrisch – Standard- und Elektrisch – Zwangsmodus) im Schnitt 0,00 l/100km Diesel sowie 59,66 kWh/100km elektrische Energie.
- Ein OH-Lkw verbraucht im Hybrid – Oberleitungsmodus im Schnitt 3,92 l/100km Diesel sowie 83,46 kWh/100km elektrische Energie.
- Ein OH-Lkw verbraucht im Elektrisch – Oberleitungsmodus im Schnitt 0,00 l/100km Diesel sowie 99,60 kWh/100km elektrische Energie.
- Ein OH-Lkw verbraucht im Übergangsmodus im Schnitt 1,82 l/100km Diesel sowie 53,70 kWh/100km elektrische Energie.



Auf Basis des aktuellen Stands der Forschung zur Evaluation des Kraftstoff- und Stromverbrauchs von Oberleitungs-Hybrid-Lastkraftwagen lässt sich des Weiteren feststellen, dass ein Null-Kraftstoffverbrauch eines OH-Lkws möglich ist. Das Fahren in den elektrischen Betriebsmodi führt zu einer Kraftstoffeinsparung von 100 %. [16, 17] Ein Null-Kraftstoffverbrauch bei Nutzung der Oberleitung erfordert jedoch eine ausreichende Leistung der E-Maschine (EM). Bei Fahrt im Hybrid – Oberleitungsmodus ist ein geringer Kraftstoffverbrauch möglich, der zum aktuellen Zeitpunkt auf die geringe Leistungsfähigkeit der EM (130kW) zurückgeführt wird. Zur Überwindung des Fahrwiderstands während der elektrischen Oberleitungsfahrt (Elektrisch – Oberleitungsmodus) wird deshalb in einigen Situationen der Verbrennungsmotor zugeschaltet (Hybrid – Oberleitungsmodus). Es wird erwartet, dass durch ein Upgrade der E-Maschine auf ein leistungsfähigeres Modell ein solcher Kraftstoffverbrauch vermieden sowie zusätzlich das Aufkommen des Elektrisch – Oberleitungsmodus merklich erhöht werden kann. [16, 17] Ein Null-Kraftstoffverbrauch außerhalb der Oberleitungs-Teststrecke, d.h. eine Fahrt im Elektrisch – Standardmodus, ist weiterhin möglich, tritt derzeit jedoch nur im stationären Zustand oder bei Fahrten mit geringer Geschwindigkeit auf. Vertiefende Analysen dieses Betriebsmodus führten zu dem Ergebnis, dass bei Bedarf der Überwindung eines zu großen Fahrwiderstands der Verbrennungsmotor zugeschaltet und der Betriebsmodus des Fahrzeugs entsprechend vom Elektrisch – Standardmodus zum Hybrid – Standardmodus wechselt. Weitere Untersuchungen ergaben, dass der Elektrisch – Standardmodus typischerweise im stationären Zustand des OH-Lkws oder bei Fahrten mit geringer Geschwindigkeit aktiviert wird. Während dieser Fahrzustände hat ein OH-Lkw einen geringeren Energiebedarf als beispielsweise beim Beschleunigen. Sobald der OH-Lkw mehr Zugkraft benötigt, wechselt der Betriebsmodus und der Verbrennungsmotor schaltet sich zu. Es wird erwartet, dass durch ein Upgrade der E-Maschine auf ein leistungsfähigeres Modell eine Unterstützung dieser Art vermieden werden kann. [16, 17] Es ließ sich in Folge bestätigen, dass der Kraftstoffverbrauch abhängig von der Leistungsfähigkeit der E-Maschine ist (Hypothese A3a-2, „Der Kraftstoff- und Stromverbrauch eines OH-Lkws ist abhängig von der Leistungsfähigkeit der E-Maschine“).

Wie vorstehend bereits erwähnt, zeigt sich auch eine Abhängigkeit des Kraftstoffverbrauchs von der Geschwindigkeit des OH-Lkws. Ein Null-Kraftstoffverbrauch ist möglich, tritt derzeit jedoch nur im stationären Zustand oder bei Fahrten mit geringer Geschwindigkeit auf. Es lässt sich bestätigen, dass der Kraftstoffverbrauch eines OH-Lkws geschwindigkeitsabhängig ist (Hypothese A3a-3, „Der Kraftstoff- und Stromverbrauch eines OH-Lkws ist abhängig von der Fahr-Geschwindigkeit des OH-Lkws“).

Aufgrund nicht belastbarer CML-Fahrzeuggewichtsdaten konnte der Einfluss des Gewichts bisher nicht berücksichtigt werden. Die Hypothese A3a-4 („Der Kraftstoff- und Stromverbrauch eines OH-Lkws ist abhängig Gesamtgewicht des OH-Lkw-Sattelzugs“) lässt sich aus diesem Grund bislang nicht beantworten. [16, 17]

Die Hypothese A3a-5 („Der Kraftstoff- und Stromverbrauch eines OH-Lkws ist abhängig vom Anteil der durch Oberleitungen elektrifizierten und nutzbaren Strecke“) lässt sich wiederum bestätigen. Der Gesamtkraftstoffverbrauch eines OH-Lkws hängt weiterhin stark von dem Anteil

der mit Oberleitungen elektrifizierten Streckenabschnitte, gemessen an einer insgesamt zurückgelegten Strecke, ab. Im aktuellen Testbetrieb beträgt dieser elektrifizierte Streckenanteil in etwa 10% (unterschiedlich für jeden OH-Lkw). Die damit verbundenen Diesel-Kraftstoffeinsparungen eines OH-Lkws gegenüber einem konventionellen Lkw liegen in einer ähnlichen Größenordnung. Ein höherer Anteil von mit Oberleitungen elektrifizierten Streckenabschnitten innerhalb der von einem OH-Lkw zurückgelegten Strecken dürfte sich jedoch mindestens proportional auf die damit verbundenen Diesel-Kraftstoffeinsparungen auswirken, voraussichtlich sogar deutlich höher, weil unter der Oberleitung die Batterie nachgeladen werden kann.

#### **3.1.3.4 Hinweis**

Weitere Ausführungen und Ergebnisse lassen sich der Veröffentlichung „Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs – Kraftstoff- und Stromverbrauchsanalyse von Oberleitungs-Hybrid-Lastkraftwagen“ [17] entnehmen, erschienen in „Internationales Verkehrswesen“, Ausgabe 3 | 2021.

#### **3.1.4 THG-Emissionen**

*Die Arbeiten zu diesem Evaluationsaspekt sind zum derzeitigen Bearbeitungsstand noch nicht berichtsfähig.*

*Erste Erkenntnisse zu THG-Emissionen können dennoch den Evaluationsaspekten „Life Cycle Assessment des OH-Lkws“ (Kapitel 3.2.4), Life Cycle Assessment Infrastruktur“ (Kapitel 3.5.5) sowie „Life Cycle Assessment Passive Schutzeinrichtung“ (Kapitel 3.6.7) entnommen werden.*

#### **3.1.5 Luftschadstoff-Emissionen NO<sub>x</sub>, PM**

*Die Arbeiten zu diesem Evaluationsaspekt sind zum derzeitigen Bearbeitungsstand noch nicht berichtsfähig.*

*Erste Erkenntnisse zu Luftschadstoff-Emissionen können dennoch den Evaluationsaspekten „Life Cycle Assessment des OH-Lkws“ (Kapitel 3.2.4), Life Cycle Assessment Infrastruktur“ (Kapitel 3.5.5) sowie „Life Cycle Assessment Passive Schutzeinrichtung“ (Kapitel 3.6.7) entnommen werden.*

## 3.2 Ergebnisse aus Sicht der Fahrzeughersteller

Die nachfolgenden Ausführungen beschäftigen sich mit der Analyse des eHighway-Systems aus Sicht der Fahrzeughersteller. Fokussiert werden dabei unter anderem die Technikbewertung von OH-Lkw sowie des Pantographen. Es folgen Untersuchungen zum Herstellungsaufwand sowie zum Life Cycle Assessment des OH-Lkws.

### 3.2.1 Technikbewertung von OH-Lkw

Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methoden und die Ergebnisse zu den Hypothesen zur Technikbewertung der OH-Lkw vorgestellt.

#### 3.2.1.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden

Einen Teil der verkehrlich-technischen Evaluation stellt die Technikbewertung der OH-Lkw dar. Hierzu wurde für jeden OH-Lkw ein Fahrzeugbetriebstagebuch geführt und hinsichtlich Verfügbarkeit, Instandhaltung und für die zukünftigen Untersuchungen auch hinsichtlich der Zuverlässigkeit ausgewertet. Außerdem wurden die Fahrer der OH-Lkw während wöchentlich stattfindender Expertengespräche zu den Auffälligkeiten während des Realbetriebs der Fahrzeuge befragt.

Für die Gesamtbewertung der Verfügbarkeit der OH-Lkw soll zuerst kurz der Begriff Verfügbarkeit definiert werden. Nach Eberlin et. al. wird die Verfügbarkeit definiert als:

*„Die Verfügbarkeit ist das Verhältnis der Zeit, in der das System funktionsfähig ist, zur gesamten Zeit.“ [6]*

In Anlehnung an diese Definition wurde für die Verfügbarkeit eines OH-Lkw die folgende Formel bestimmt:

$$\text{Verfügbarkeit} = \frac{\text{Anzahl der regulären Betriebstage}}{\text{Anzahl der möglichen Betriebstage} - \text{Sonderbetriebstage} - \text{Tage ohne Betrieb}}$$

Zu den regulären Betriebstagen wurden alle Werkstage gezählt, an denen der OH-Lkw regulär im Betrieb war. Die möglichen Betriebstage definieren sich über die Anzahl der Wochentage abzgl. der Feiertage, aufgrund derer kein Lkw-Betrieb möglich gewesen wäre. Im Feldversuch wurden des Weiteren aufgrund von Presseterminen oder im Zuge von Forschungsfahrten die OH-Lkw außerhalb des Realbetriebs eingesetzt. Auch diese Tage wurden bei der Verfügbarkeitsberechnung rausgenommen. Die Ergebnisse zur Verfügbarkeit der OH-Lkw werden im folgenden Kapitel vorgestellt.

#### 3.2.1.2 Untersuchte Hypothesen

Die in Tabelle 9 dargelegten Hypothesen liegen der Untersuchung der Technikbewertung von OH-Lkw zu Grunde:

**Tabelle 9: Hypothesenübersicht zur Technikbewertung von OH-Lkw**

| Nr.   | Hypothese                                                                                                                                          | Ergebnis  |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| B1a-1 | Die Verfügbarkeit der aktuell eingesetzten OH-Lkw-Typen ist vergleichbar mit konventionellen Lkw.                                                  | Offen     |
| B1a-2 | Die Zuverlässigkeit der aktuell eingesetzten OH-Lkw-Typen ist vergleichbar mit konventionellen Lkw.                                                | Offen     |
| B1a-3 | Das Instandhaltungskonzept der aktuell eingesetzten OH-Lkw unterscheidet sich nicht von dem eines konventionellen Lkws.                            | Widerlegt |
| B1a-4 | Die notwendige Spurtreue der aktuell eingesetzten OH-Lkw unter der Oberleitungsanlage ist über den gesamten Betrachtungszeitraum hinreichend hoch. | Bestätigt |

### 3.2.1.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Insgesamt lässt sich durch die Auswertungen zeigen, dass im Mittel alle OH-Lkw ca. 70% der Zeit regulär in Betrieb waren. Eine Übersicht über die gemittelten Verfügbarkeitswerte der OH-Lkw liefert Tabelle 10. Hervorzuheben ist dabei vor allem der OH-Lkw El Salto mit einer durchschnittlichen Verfügbarkeit von 81% für den Betrachtungszeitraum Juli 2020 bis März 2021. Ursachen für die Reduktion der regulären Betriebszeit waren einerseits die regelmäßigen, geplanten Wartungs-, Inspektions- und Reparaturtermine. Andererseits traten vereinzelt ungeplante Fahrzeugausfälle auf, wodurch die OH-Lkw entweder nur im eingeschränkten Betrieb eingesetzt werden konnten oder z. T. für mehrere Tage die Werkstatt zur Reparatur aufsuchen mussten. In diesem Zusammenhang wurde außerdem festgestellt, dass die OH-Lkw über den Betrachtungszeitraum sehr unterschiedliche Verfügbarkeiten aufweisen, was auf den Prototypenstatus der OH-Lkw zurückgeführt werden kann. Die Verfügbarkeitswerte der aktuell eingesetzten OH-Lkw können jedoch nicht als repräsentativ für zukünftige OH-Lkw-Generationen angesetzt werden, da es sich zum aktuellen Zeitpunkt – wie erwähnt – um Fahrzeugprototypen handelt, die kontinuierlich auch basierend auf Lerneffekten, bspw. im Zuge von Fahrzeugausfällen, durch den Fahrzeughersteller weiterentwickelt werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich mit der kontinuierlichen Weiterentwicklung auch die Verfügbarkeit der OH-Lkw verbessern wird. Einerseits werden die aktuell noch sehr häufig stattfindenden planmäßigen Wartungs- und Inspektionstermine reduziert, andererseits wird sich der Fahrzeugbetrieb vermutlich stabilisieren, und unplanmäßige Ausfälle werden somit deutlich seltener auftreten. Daher können zum aktuellen Zeitpunkt die Hypothesen B1a-1 („Die Verfügbarkeit der aktuell eingesetzten OH-Lkw-Typen ist vergleichbar mit konventionellen Lkw“) und B1a-2 („Die Zuverlässigkeit der aktuell eingesetzten OH-Lkw-Typen ist vergleichbar mit konventionellen Lkw“) weder widerlegt noch bestätigt werden.

**Tabelle 10: Gemittelte Verfügbarkeit der OH-Lkw über den jeweiligen Betrachtungszeitraum (IVV 2021)**

| OH-Lkw    | Betrachtungszeitraum | Mittelwert über alle Monate |
|-----------|----------------------|-----------------------------|
| El Leon   | 06/2019 – 03/2021    | 68%                         |
| El Fidel  | 10/2019 – 03/2021    | 76%                         |
| El Fondo  | 07/2020 – 03/2021    | 49%                         |
| El Femina | 07/2020 – 03/2021    | 71%                         |
| El Salto  | 07/2020 – 03/2021    | 81%                         |

Die Auswertungen zum Instandhaltungskonzept der OH-Lkw mittels des Fahrzeugbetriebs-tagebuchs zeigen, dass sich das aktuelle Instandhaltungskonzept der OH-Lkw von dem eines konventionellen Lkws unterscheidet. Daher wird die zuvor aufgestellte Hypothese B1a-3 („Das Instandhaltungskonzept der aktuell eingesetzten OH-Lkw unterscheidet sich nicht von dem eines konventionellen Lkws“) widerlegt. Zurückzuführen ist dies zum aktuellen Zeitpunkt zum einen auf den Prototypenstatus der OH-Lkw, zum anderen aber auch auf die zusätzlich verbauten Komponenten, wie z.B. Pantograph oder Batteriesystem, welche bei konventionellen Lkw nicht vorhanden sind.

Die Analysen der Railigent®-Daten durch den Projektpartner Siemens zeigen eine äußerst gute Spurtreue der OH-Lkw. Einerseits ist dies auf die Unterstützung durch den CKA zurückzuführen, andererseits wird davon ausgegangen, dass die OH-Lkw-Fahrer auch ohne Unterstützung durch den CKA sehr gut die Spur unter der Oberleitung halten können. Die Spurtreue ist insgesamt sogar so gut, dass dies vereinzelt zu verstärkten Abnutzungen im Mittelbereich der Schleifleisten führt. Die Hypothese B1a-4 („Die notwendige Spurtreue der aktuell eingesetzten OH-Lkw unter der Oberleitungsanlage ist über den gesamten Betrachtungszeitraum hinreichend hoch“) wird daher bestätigt.

Im weiteren Projektverlauf wird neben den bereits bearbeiteten Hypothesen insbesondere das Thema Verfügbarkeit weiter untersucht sowie die Zuverlässigkeit und das Instandhaltungskonzept aktueller und zukünftiger OH-Lkw-Typen näher analysiert. Daher sind zwei der vier aufgestellten Hypothesen zum aktuellen Zeitpunkt noch offen.

### 3.2.2 Technikbewertung des Pantographen

*Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methoden und die Ergebnisse zu den Hypothesen zur Technikbewertung des Pantographen vorgestellt.*

#### 3.2.2.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden

Als erster deutscher eHighway-Feldversuch liefert das Projekt ELISA auf Basis einer langfristigen, systemübergreifenden und interdisziplinären Begleitforschung wichtige Erkenntnisse mit Blick auf die vorhandene technische wie betriebliche Reife des eHighway-Systems und zeigt gleichermaßen notwendige weitere Entwicklungs- und Forschungsbedarfe auf.

Siemens Mobility hat sich in diesem integrierten Untersuchungs- und Bewertungsansatz einerseits auf die operative Begleitung und die Evaluation des Pantographensystems im Alltagseinsatz fokussiert, hat aber darüber hinaus stets eine Systemgrenzen-übergreifende Betrachtung zur Absicherung des Feldversuchs unterstützt, und zwar sowohl in Richtung der Gesamtkonfiguration der OH-Lkw als auch in Richtung der Ausgestaltung der Oberleitungsanlage.

### 3.2.2.2 Untersuchte Hypothesen

Die in Tabelle 11 dargelegten Hypothesen liegen der Untersuchung der Technikbewertung des Pantographen zu Grunde:

Tabelle 11: Hypothesenübersicht zur Technikbewertung des Pantographen

| Nr.   | Hypothese                                                                                         | Ergebnis  |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| B1b-1 | Die Verfügbarkeit des Pantographen ist über den gesamten Betrachtungszeitraum hinreichend hoch.   | Bestätigt |
| B1b-2 | Die Pantographen-Updates haben einen positiven Effekt auf die Zuverlässigkeit des Pantographen.   | Bestätigt |
| B1b-3 | Die festgelegten Wartungszyklen wirken sich positiv auf die Zuverlässigkeit des Pantographen aus. | Bestätigt |

### 3.2.2.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Mit Blick auf das Pantographensystem lässt sich für den Betrachtungszeitraum festhalten, dass es gelungen ist, den Betrieb dieser neuartigen Pantographengeneration (PAN Gen.3) von Beginn der Betriebserprobung an performant sicherzustellen. Da es sich bei den für das Projekt ELISA bereitgestellten fünf Pantographen um die ersten ausgelieferten Exemplare dieser prototypischen Baureihe handelte, war diese von Beginn an hohe Verfügbarkeit keinesfalls eine Selbstverständlichkeit. Dies gilt insbesondere auch vor dem Hintergrund der spezifischen Gestaltung des Oberleitungssystems auf Basis der vorhandenen baulichen Rahmenbedingungen.

Die technische Verfügbarkeit des Pantographensystems konnte über den Verlauf des Feldversuchs gesteigert werden, bzw. konnte durch eine kontinuierliche Analyse des Systemverhaltens mittels Railigent® und die gezielte Ableitung von Optimierungsmaßnahmen (u.a. die umfassende Hochrüstung im Herbst 2020) die hohe technische Verfügbarkeit abgesichert werden.

Damit lieferte das eHighway-Teilsystem „Pantograph“ eine der notwendigen Voraussetzungen für die im Betrachtungszeitraum nachgewiesene Steigerung des Ausnutzungsgrades der auf ca. 10 km Gesamtlänge installierten elektrischen Infrastruktur.

### 3.2.3 Herstellungsaufwand

*Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methoden und die Ergebnisse zum Herstellungsaufwand der aktuell eingesetzten OH-Lkw vorgestellt.*

### 3.2.3.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden

Die Umrüstung eines konventionellen Lkws, Sattelzugs oder Kastenwagens auf den Betrieb an einer Oberleitungsinfrastruktur würde einer Neukonstruktion eines Fahrzeuges gleichkommen, deshalb ist es sinnvoll eine entsprechend geeignete Fahrzeugausstattung als Basisfahrzeug zu wählen.

### 3.2.3.2 Untersuchte Hypothesen

Die in Tabelle 12 dargelegten Hypothesen liegen der Untersuchung des Herstellungsaufwands zu Grunde:

**Tabelle 12: Hypothesenübersicht zum Herstellungsaufwand**

| Nr.   | Hypothese                                                                                                                           | Ergebnis  |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| B2a-1 | Der Sattelzug eignet sich für die Ausstattung mit einem Pantographen.                                                               | Bestätigt |
| B2a-2 | Der Lastzug eignet sich für die Ausstattung mit einem Pantographen.                                                                 | Bestätigt |
| B2a-3 | Spezialfahrzeuge eignen für die Ausstattung mit einem Pantographen.                                                                 | Widerlegt |
| B2a-4 | Durch die Modifikation des Antriebsstranges im Basisfahrzeug entsteht Anpassungsaufwand.                                            | Widerlegt |
| B2a-5 | Die Integration eines Pantographen in den aktuell eingesetzten OH-Lkw-Typ hat keinen Einfluss auf das Basisfahrzeug.                | Bestätigt |
| B2a-6 | Die Integration eines Pantographen hat keine Auswirkungen auf die Gewichtsverteilung des aktuell eingesetzten OH-Lkw-Typs.          | Widerlegt |
| B2a-7 | Die Integration eines Pantographen hat keine Auswirkungen auf die Zuladung des aktuell eingesetzten OH-Lkw-Typs.                    | Bestätigt |
| B2a-8 | Die Zulassung des aktuell eingesetzten OH-Lkw-Typs unterscheidet sich nicht maßgeblich von der Zulassung eines konventionellen Lkw. | Widerlegt |

### 3.2.3.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Das ausgewählte Hybridfahrzeug (Sattelzug) mit integriertem, elektrischem Antrieb und Traktionsbatterie vereinfacht den Aufbau eines OH-Lkws erheblich, da lediglich die Komponenten des Pantographen mittels Trägerrahmen auf das Fahrzeug zu integrieren sind und diese einen definierten Bauraum einnehmen. Auch die leistungselektrische Integration gestaltet sich sehr einfach, es ist lediglich die Zwischenkreisverbindung zwischen der elektrischen Antriebsmaschine zum Batteriesystem aufzutrennen und mit dem Pantographensystem zu verbinden.

D.h. mittels des gewählten Basisfahrzeuges ist die Integration eines Pantographensystems und damit die Umrüstung zu einem Oberleitungsfahrzeug einfach zu bewerkstelligen, was ebenfalls für einen Lastzug gilt.

Auch das zusätzliche Gewicht und die geringfügige Verlängerung des Sattelzuges stellen keine Einschränkung für den Betrieb im Allgemeinen und speziell bei den Transportunternehmen dar.

Einige Fahrzeuge mit speziellem Transportauftrag, z.B. Pkw-Transporter, bieten durch ihren Aufbau derzeit keine Möglichkeit der Integration eines Pantographen und können damit nicht zu Oberleitungsfahrzeugen umgerüstet werden. Dies trifft nicht grundsätzlich zu und Bedarf jeweils einer Einzelprüfung.

### 3.2.4 Life Cycle Assessment des OH-Lkws

*Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methoden und die Ergebnisse zu den Hypothesen zum Life Cycle Assessment des OH-Lkws vorgestellt.*

#### 3.2.4.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden

Das Life Cycle Assessment (LCA) ist eine Methode zur Untersuchung und Bewertung von Umweltaspekten wie die Nutzung von Ressourcen und Umweltauswirkungen, beispielsweise von Emissionen über den Lebensweg von Produkten oder Dienstleistungen. Sie wird über das vierstufige standardisierte Verfahren der ISO Normen 14040 und 14044 durchgeführt (1. Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen, 2. Sachbilanz, 3. Wirkungsabschätzung und 4. Auswertung) [7], [8]. Innerhalb der Ausarbeitung der Sachbilanz wurden Daten aus dem ELISA II-B-Forschungsprojekt aufgenommen. **Die durchgeführte LCA bildet spezifisch den derzeitigen ELISA-Testbetrieb ab.**

Zur Bewertung der Umweltwirkungen von Treibhausgasen (Klimawirkung in CO<sub>2</sub>-Äquivalente) sowie von Luftschadstoffen (NO<sub>x</sub>- und Feinstaubbildung) [9] werden für die Inputs der Sachbilanz Datensätze erstellt bzw. auf Datensätze aus der Datenbank ecoinvent 3.7.1 zurückgegriffen [10]. Es werden zur Durchführung der LCA verschiedene Informationen und Annahmen für die Berechnung eines Fahr Szenarios und der Normalisierung des Produktsystems auf die Funktionellen Einheit von 1 tkm integriert.

Diese sind: 90.000 km/a Fahrleistung, 12,5 t/Fahrt Gütertransport, 10% Betrieb unter der Oberleitung, 90% Betrieb fernab der Oberleitung, täglich sieben Transportfahrten von fünf Forschungs-Lkw, Kraftstoffverbräuche der Fahrzeuge unter der Oberleitung und fernab der Oberleitung von Diesel und Strom (gemäß CarMediaLab Auswertung bis Ende 2020).

Im Rahmen dieses Kapitels liegt der Fokus der LCA auf einer Betrachtung des OH-Lkws. Weitere Ausführungen zur LCA bzgl. Infrastruktur und passiver Schutz einrichtung lassen sich den Kapiteln 3.5.5 und 3.6.7 entnehmen.

#### 3.2.4.2 Untersuchte Hypothesen

Die in Tabelle 13 dargelegten Hypothesen liegen der Untersuchung des Life Cycle Assessment des OH-Lkws zu Grunde:



**Tabelle 13: Hypothesenübersicht zur Life Cycle Analyse des OH-Lkws**

| Nr.   | Hypothese                                                                                                        | Ergebnis  |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| B3a-1 | Ein OH-Lkw weist eine andere Umweltbilanz als ein konventioneller Vergleichs-Lkw auf.                            | Bestätigt |
| B3a-2 | Wenn der Strom regenerativ erzeugt wird, weist der OH-Lkw eine deutlich bessere Umweltbilanz auf.                | Bestätigt |
| B3a-3 | Die eingesetzte Batterie wird die größte Auswirkung aller Komponenten auf die Umweltwirkung des Fahrzeugs haben. | Bestätigt |
| B3a-4 | Die Implementierung des Pantographen wird eine geringe Auswirkung auf die Umweltbilanz jedes Fahrzeugs haben.    | Bestätigt |
| B3a-5 | Aus der Produktionsphase resultieren die stärksten Umweltwirkungen des OH-Lkws.                                  | Bestätigt |

### 3.2.4.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Die Untersuchungen zum Life-Cycle-Assessment zeigen, dass eine Verbesserung der Klimawirkung durch das eHighway-System möglich ist, sofern dieses hinreichend genutzt wird. Der regionale Schwerlastverkehr kann demnach durch die Implementierungen und Nutzung von eHighway-Systemen von THG-Reduktionen profitieren. Wie hoch das Dekarbonisierungspotenzial dieser Transportlösung in Zukunft sein kann, lässt sich aufgrund der sich in Entwicklung befindlichen Technologie aktuell noch schwer festlegen. Mit der aktuell umgesetzten ELISA-Teststrecke und dem zugrunde gelegten Nutzungsszenario könnte sich bereits eine Reduktion von THG-Emissionen von ca. 22% realisieren lassen – in einem eingeschwungenen Zustand des Systems und einer hohen Anlagenauslastung. Mit einem Ausbau des Systems sind weitere Einsparungspotenziale anzunehmen. Zusammenfassend erlauben die vorliegenden LCA-Ergebnisse aus der im ELISA-Projekt durchgeführten Untersuchung zunächst vor allem aber eine Bewertung des aktuellen Zustandes für den Gütertransport eines OH-Lkws auf der ELISA-Teststrecke.

Die Ergebnisse der LCA zeigen, dass die im ELISA-Feldversuch eingesetzten OH-Lkw eine andere Umweltbilanz als Vergleichs-Lkw aufweisen. Bei dem Vergleich, basierend auf aktuellen Daten, zeigt sich, dass OH-Lkw aufgrund ihrer zusätzlichen technischen Ausstattung (Pantograph, Batterie, E-Maschine) von Natur aus zunächst eine schlechtere Umweltbilanz aufweisen, als ein konventioneller Lkw. Die Nutzenphase eines OH-Lkws entscheidet in Folge, inwieweit ein OH-Lkw eine bessere Umweltbilanz als ein konventionelles Vergleichsfahrzeug vorweisen können wird. Insbesondere muss beachtet werden, dass zum aktuellen Zeitpunkt die „Einmalaufwendungen“, wie bspw. die gesamte eHighway-Infrastruktur, alleinig auf die fünf im ELISA-Feldversuch eingesetzten OH-Lkw umgeschlagen werden. Werden hingegen bei einem Vergleich zukünftige Veränderungen berücksichtigt, können die Umweltwirkungen eines OH-Lkws deutlich besser sein als die eines herkömmlichen Lkws. Es wurde berechnet, dass bei einer geringfügig höheren Auslastung der aktuellen ELISA-Teststrecke (18 OH-Lkw, statt der derzeit fünf OH-Lkw) bereits der Break-even-Point erreicht werden kann. Die Hypothese B3a-1 („Ein OH-Lkw weist eine andere Umweltbilanz als ein konventioneller Vergleichs-Lkw auf“) lässt sich bestätigen.

In der Nutzenphase kann der OH-Lkw, abhängig von der Kraftstoffverwendung während des Transports und der Zusammensetzung des Strommix, eine bessere Umweltbilanz haben. Mit einem höheren Anteil an regenerativ erzeugtem Strom weist der OH-Lkw eine deutlich bessere Umweltbilanz auf. Während bei der Berücksichtigung des aktuellen Strommix zur Bereitstellung nicht unerhebliche Umweltwirkungen anfallen, reduzieren sich diese, wenn der Strommix von 2030 berücksichtigt wird. Folglich beeinflusst die Zusammensetzung des deutschen Strommix die Umweltwirkungen aus der Nutzenphase stark. Durch den aktuell hohen Dieserverbrauch während der Transportfahrten (aufgrund der im ELISA-Feldversuch beschränkt realisierten Oberleitungsinfrastruktur von lediglich zehn Kilometern) spielt die Umweltwirkung des Strommix jedoch bislang nur eine untergeordnete Rolle, da die Emissionen aus dem Dieselbetrieb gegenüber dem elektrischen Betrieb der OH-Lkw deutlich überwiegen. Die Hypothese B3a-2 („Wenn der Strom regenerativ erzeugt wird, weist der OH-Lkw eine deutlich bessere Umweltbilanz auf“) lässt sich dennoch bestätigen.

In der Produktionsphase emittiert der OH-Lkw mehr Treibhausgase als ein herkömmlicher Lkw, basierend auf den zusätzlich eingesetzten Komponenten. Abgesehen von der Herstellung des herkömmlichen Lkw fällt in der Produktionsphase des OH-Lkws für die einzelnen, integrierten Komponenten bei der Batterieherstellung die höchste Umweltwirkung an. Auch die Herstellung des Pantographensystems verursacht zusätzliche Umweltwirkungen für das Fahrzeug, da neben dem Pantographen eine Halterung sowie elektrische Komponenten benötigt werden. Die Hypothesen B3a-3, B3a-4 und B3a-5:

- „Die eingesetzte Batterie wird die größte Auswirkung aller Komponenten auf die Umweltwirkung des Fahrzeugs haben“,
- „Die Implementierung des Pantographen wird eine geringe Auswirkung auf die Umweltbilanz jedes Fahrzeugs haben“ und
- „Aus der Produktionsphase resultieren die stärksten Umweltwirkungen des OH-Lkws“

lassen sich bestätigen.

### 3.3 Ergebnisse aus Sicht der Energieversorgungsunternehmen

Die nachfolgenden Ausführungen beschäftigen sich mit der Analyse des eHighway-Systems aus Sicht der Energieversorgungsunternehmen. Fokussiert werden dabei unter anderem der Umgang mit Lastspitzen sowie das Potential zur dezentralen Stromversorgung. Es folgen Untersuchungen zum Aufbau eines modellhaften Abrechnungssystems für den Feldversuch.

#### 3.3.1 Umgang mit Lastspitzen

Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methoden und die Ergebnisse zu den Hypothesen zur Analyse des Umgangs mit Lastspitzen vorgestellt.

##### 3.3.1.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden

In Zusammenarbeit mit e-netz Süd Hessen AG, Siemens Mobility GmbH und Autobahn GmbH wurde ein Konzept zur Messung der Anlage erstellt. Bei der Erstellung des Konzeptes wurde sich an den Prozess der allgemeingültigen Technischen Anschlussbedingungen Mittelspannung gehalten.

##### 3.3.1.2 Untersuchte Hypothesen

Die in Tabelle 14 dargelegten Hypothesen liegen den Erkenntnissen zum Umgang mit Lastspitzen zu Grunde:

Tabelle 14: Hypothesenübersicht zum Umgang mit Lastspitzen

| Nr.   | Hypothese                                                                                                                                                     | Ergebnis  |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| C1a-1 | Die angebügelten Fahrten auf der ELISA-Teststrecke führen zu keiner sich negativ auswirkenden Lastspitze im Kontext der Netzstabilität und Energieversorgung. | Offen     |
| C1a-2 | Die von der ELISA-Teststrecke benötigte Strommenge lässt sich unproblematisch und tageszeitenunabhängig bereitstellen.                                        | Bestätigt |
| C1a-3 | Für einen sicheren Umgang mit Lastspitzen bedarf es einer geeigneten Rückfallebene zur Aufrechterhaltung des Betriebs.                                        | Offen     |
| C1a-4 | Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Lastspitzen kann durch geeignete Maßnahmen beeinflusst werden.                                                      | Offen     |
| C1a-5 | Der Ausbau des Systems eHighway kann dazu führen, dass sich negativ auf das Gesamtstromnetz auswirkende Lastspitzen entstehen.                                | Offen     |

##### 3.3.1.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Die systemtechnische Integration der Energiedaten ist abgeschlossen, die Energiemengen der Anlage laufen stabil ein und können fortlaufend ausgewertet werden. Basierend auf der aktuell niedrigen Frequentierung der Anlage, welche sich durch eine geringe Befahrung der Versuchsstrecke bis zum jetzigen Zeitpunkt auszeichnet, konnte nur ein geringer

Gesamtverbrauch festgestellt werden. Fundierte Aussagen über die Reaktion der Anlage auf Lastspitzen im Realbetrieb können aufgrund dessen zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht verifiziert getroffen werden. Im Zuge der allgemeinen Stromversorgung der Oberleitungsanlage konnten jedoch mit den zugrundeliegenden Daten und der Hochfrequentierung des Mengengerüsts der OH-Lkws verschiedene Versorgungsszenarien der Anlage im Realbetrieb evaluiert werden. Hierauf beruhend kann die These C1a-2 („Die von der ELISA-Teststrecke benötigte Strommenge lässt sich unproblematisch und tageszeitenunabhängig bereitstellen.“) positiv beantwortet werden.

### **3.3.2 Potential zur dezentralen Stromversorgung**

*Im Folgenden wird das Vorgehen, die Methoden und die Ergebnisse zu den Hypothesen zum Potential zur dezentralen Stromversorgung vorgestellt.*

#### **3.3.2.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden**

Im Zuge der dezentralen und auf erneuerbaren Energien beruhenden Stromversorgung im Kontext der Oberleitungsanlage wurde zunächst ein synthetisches Lastenprofil auf Basis der Sensordaten erstellt. Zunächst wurde hier eine Wahrscheinlichkeitsverteilung der OH-Lkw ermittelt, wann diese in einem 15 Minutenabschnitt des Tages auf der Teststrecke unterwegs sind. Die Erkennung erfolgt über einen höheren Verbrauch als 4 kWh in einem 15 Minutenabschnitt, welche aus den Sensordaten der OH-Lkw und den Übergabemessungen in den Transformatorenstation hervorgeht. Berücksichtigt wurde der vollständige Tag von 0:00 Uhr bis 23:59 Uhr, da die ELISA-Anlage auch nachts einen Energieverbrauch hat, der gedeckt werden muss. Der Verkehr (Anzahl der OH-Lkw) wurde für jeden Tag gleich angenommen. Das heißt, es werden keine Wochenenden, Jahreszeiten, etc. berücksichtigt, da in den Daten hierfür keine ausreichende Informationsgrundlage besteht. Für einen OH-Lkw wurde ein Verbrauch von 6 kWh in einem 15 Minutenabschnitt sowie ein Basisverbrauch der ELISA-Anlage von 3 kWh für einen 15 Minutenabschnitt angesetzt. Mit der Wahrscheinlichkeitsverteilung und dem Parameter „Anzahl der Lkw“ resultiert hieraus der Verbrauch der ELISA-Anlage im jeweiligen 15 Minutenabschnitt. Das hieraus ermittelte synthetische Lastenprofil wurde auf die generierten Strommengen eines realen Photovoltaikparks mit 3,6 MWp und einer Windkraftanlage mit 15 MW Leistung gelegt.

#### **3.3.2.2 Untersuchte Hypothesen**

Die in Tabelle 15 dargelegten Hypothesen liegen den Erkenntnissen zum Potential zur dezentralen Stromversorgung zu Grunde:

**Tabelle 15: Hypothesenübersicht zum Potential zur dezentralen Stromversorgung**

| Nr.   | Hypothese                                                                                                                                                       | Ergebnis |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| C1b-1 | Die benötigte Energiemenge eines eHighway-Abschnittes kann durch eine entsprechend ausgelegte dezentrale Stromversorgung unproblematisch bereitgestellt werden. | Offen    |
| C1b-2 | Schwankungen in der bereitgestellten Energiemenge aufgrund einer dezentralen Stromversorgung können durch geeignete Maßnahmen ausgeglichen werden.              | Offen    |
| C1b-3 | Die Integration eines Energiespeichers, bspw. in einem Unterwerk, kann eine geeignete Maßnahme darstellen.                                                      | Offen    |

### 3.3.2.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Um die Möglichkeit der dezentralen, auf erneuerbaren Energien beruhenden Energieversorgung einer Oberleitungsanlage aufzuzeigen, muss gleichermaßen das Erzeugungsprofil der regenerativen Energien und das Verbrauchsprofil der Oberleitungsanlage betrachtet werden. Hierfür wurde zunächst ein synthetisches Lastenprofil der Anlage generiert, welches den Verbrauch der OH-Lkw und der Anlage kumuliert über den Tag darstellt. Darauf aufbauend wurde die durchschnittliche mittlere Tagesabdeckung im Jahr in Prozent errechnet, welche ein realer Photovoltaikparks mit 3,6 MWp und einer Windkraftanlage mit 15 MW Leistung erreicht hätte.

Bei der aktuellen Frequentierung des Lkw-Verkehrs lässt sich hier eine positive Tendenz der Verbrauchsabdeckung durch erneuerbare Energien ableiten. Im Hinblick auf die neue Generation OH-Lkw und der damit höheren Auslastung, basierend auf größeren Batterien und stärkeren Elektromotoren, werden die Erkenntnisse verifiziert und im Rahmen des Abschlussberichts ausführlich dargelegt.

### 3.3.3 Aufbau eines modellhaften Abrechnungssystems für den Feldversuch

*Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methoden und die Ergebnisse zu den Hypothesen zum Aufbau eines modellhaften Abrechnungssystems für den Feldversuch vorgestellt.*

#### 3.3.3.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden

ENTEGA baut in Zusammenarbeit mit ihrer Tochterfirma COUNT+CARE ein modellhaftes Abrechnungssystem für die ELISA-Feldversuchsanlage in Ihrer Gesamtheit auf. Ziel ist es, ein Konzept für ein fahrzeuggenaues Abrechnungssystem in Kooperation mit den Transportpartnern zu entwickeln und zu versuchen, auf dieser Basis Abrechnungsmodelle für die Zukunft abzuleiten. Eine interne Arbeitsgruppe „AG Abrechnungssystem“, die sich aus Experten der Fachbereiche Abrechnung, Energiedatenmanagement und Informationstechnologie zusammensetzt, trifft sich regelmäßig zur Erarbeitung und Abstimmung des Abrechnungskonzeptes. Im Rahmen dieser Arbeitsgruppe wurden aus Sicht der Energiewirtschaft denkbare Abrechnungsmodelle entwickelt und deren Umsetzbarkeit unter Betrachtung der makroökonomischen Rahmenbedingungen der Energiewirtschaft geprüft.

Eine weitere Arbeitsgruppe mit Vertretern aller Konsortiums-Mitglieder tauscht sich regelmäßig zum Thema Erhebung, Auswertung und Interpretation von Daten aus. Unter Berücksichtigung der erhobenen Daten aus den Versuchsfahrzeugen, der Übergabemessung sowie weiteren Strukturdaten findet eine Plausibilisierung und Integration der Messwerte in die Systemlandschaft statt.

Um eventuelle Synergien zu erarbeiten, tauscht sich die Arbeitsgruppe von COUNT+CARE regelmäßig mit Siemens Mobility und dem IKEM aus, die im Projekt AMELIE eine prototypische Entwicklung und Erprobung eines durch die Marktteilnehmer akzeptierten und mit den regulativen Rahmenbedingungen kompatiblen Abrechnungssystem für die Feldversuchsfahrzeuge aufbauen.

COUNT+CARE nimmt an den AMELIE-Abrechnungswshops teil. Darüber hinaus haben sich ENTEGA, COUNT+CARE und Siemens Mobility zu einem Abrechnungswshop getroffen. Im Zuge dessen wird die Entwicklung eines möglichen Rollenmodells vorangetrieben.

Nach der Erstellung eines Konzeptes wurden die möglichen Abrechnungsvarianten gegenübergestellt und ausgewertet.

### 3.3.3.2 Untersuchte Hypothesen

Die in Tabelle 16 dargelegten Hypothesen liegen den Erkenntnissen zum Aufbau eines modellhaften Abrechnungssystems für den Feldversuch zu Grunde:

**Tabelle 16: Hypothesenübersicht zum Aufbau eines modellhaften Abrechnungssystems für den Feldversuch**

| Nr.   | Hypothese                                                                                                                | Ergebnis  |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| C4a-1 | Verschiedene Abrechnungsvarianten für den Aufbau eines modellhaften Abrechnungssystems für den Feldversuch sind möglich. | Bestätigt |
| C4a-2 | Es lassen sich je Abrechnungsvariante spezifische Vor- und Nachteile identifizieren.                                     | Bestätigt |
| C4a-3 | Es lässt sich ein adäquates Abrechnungsmodell für den Feldversuch ausarbeiten.                                           | Bestätigt |
| C4a-4 | Es lässt sich ein OH-Lkw scharfes Abrechnungsmodell in der Praxis im Rahmen des Feldversuches umsetzen.                  | Offen     |

### 3.3.3.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Es wurde bei der Erarbeitung unter Einbezug der technischen, rechtlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen eine Untergliederung in die Varianten A und B vorgenommen. Diese beruht auf der aktuell noch nicht abschließend vorliegenden Einordnung des ERS-Systems in die rechtlichen Rahmenbedingungen. Hierbei ergibt sich zum einen die mögliche Einordnung als (geschlossenes) Verteilnetz und zum anderen die Einordnung der ERS-Anlage als

Letztverbraucher. Die aus einer Einordnung der ERS-Anlage als (geschlossenes) Verteilnetz resultierenden regulatorischen und rechtlichen Rahmenbedingungen würden eine Abrechnung sehr aufwändig und kostenintensiv machen. Hervorzuheben sind die kurz aufeinander folgenden Lieferantenwechsel, welche aus energiewirtschaftlicher Sicht prozessual kaum abbildbar wären.

Bei der Einordnung der Anlage als Letztverbraucher ergäben sich vier mögliche Abrechnungsvarianten. Evaluiert wurden hier die Abrechnung auf Basis der Messung von kWh, die Abrechnung via Oberleitungskostenverteilung, die Abrechnung via Integration in die Maut und die Pauschalabrechnung. Nach Prüfung der verschiedenen möglichen Abrechnungsvarianten hat sich die Variante der Abrechnung von Kilowattstunden auf Fahrzeug-Ebene mit einem Zähler für die gerechteste Variante herausgestellt. Eine Verbrauchsmessung auf Basis eines Standard-Zählers aus der Energiewirtschaft ist daher aus abrechnungstechnischer Sicht dringend notwendig, um sowohl einen Vergleich zur vorhandenen Sensorik zu ermöglichen als auch das Abrechnungssystem in die energiewirtschaftlichen Prozesse einbinden zu können. Dies gewährleistet eine effiziente und möglichst kostengünstige Abrechnung für alle Beteiligten, so auch für die Transportunternehmen als Endverbraucher. Nachdem die Entscheidung im Konsortium vorgestellt wurde, ist gemeinschaftlich der Beschluss gefasst worden, dass eine Abrechnung mittels Zähler auf Fahrzeugen sinnvoll ist. Eine entsprechende Eingabe beim Projektträger ist erfolgt und wurde positiv bewertet. Dies soll nun in der Praxis erprobt werden. Um Wettbewerb zu ermöglichen, wird die neue Rolle des Mobilitätsprovider geschaffen.

### 3.4 Ergebnisse aus Sicht der Oberleitungsinfrastrukturbetreiber

*Die nachfolgenden Ausführungen beschäftigen sich mit der Analyse des eHighway-Systems aus Sicht des Oberleitungsinfrastrukturbetreibers. Fokussiert werden dabei unter anderem Erkenntnisse zum Oberleitungsbetrieb. Es folgen Untersuchungen zur Bedienbarkeit und Integrierbarkeit des eHighway-Systems in Verkehrszentralen. Das eHighway-System setzt sich zusammen aus einer Leitstelle und entsprechender Leittechnik (technische Einrichtungen zur Steuerung einer eHighway-Anlage). Die folgenden Ergebnisse basieren auf den Entwicklungen, Einrichtungskosten und Aufwandsänderungen der ELISA-Leitstelle und ELISA-Leittechnik, welche in der Verkehrszentrale Deutschland realisiert wurde.*

#### 3.4.1 Erkenntnisse zum Oberleitungsbetrieb

*Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methoden und die Ergebnisse zu den Hypothesen der Erkenntnisse zum Oberleitungsbetrieb vorgestellt.*

##### 3.4.1.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden

Der Betrieb der ELISA-Oberleitungsanlage wurde am 07. Mai 2019 aufgenommen. Zunächst wurde die Anlage von einem OH-Lkw genutzt. Im September 2019 wurde der zweite OH-Lkw bereitgestellt. Damit ging die erste eHighway-Anlage auf einer deutschen Autobahn und auch die erste eHighway-Anlage im öffentlichen Verkehrsraum in Deutschland in Betrieb. Da zum Zeitpunkt der Betriebsaufnahme noch keine Erfahrungen mit der Zuverlässigkeit und dem Betrieb einer eHighway-Anlage im öffentlichen Verkehrsraum in Deutschland vorlagen, wurde die Entscheidung getroffen, den Betrieb nach der Inbetriebnahme der Anlage in zwei Phasen zu unterteilen:

1. Einführungsphase
2. Regelbetrieb

In der Einführungsphase stand die Anlage den Nutzern an Werktagen von Montag bis Freitag in der Zeit von 08:00 Uhr bis 16:00 Uhr zur Nutzung zur Verfügung. Die Einführungsphase entsprach damit einem 8/5-Betrieb, also einem Betrieb mit je acht Betriebsstunden an fünf Tagen in der Woche. Die Abschaltungen und alle störfallmanagementrelevanten Aufgaben wurden in der Einführungsphase durch speziell geschulte Ingenieure des Anlagenbetreibers übernommen. Die Einführungsphase startete mit der Betriebsaufnahme am 07. Mai 2019 und dauerte bis zum 31. Dezember 2019 an.

Im Regelbetrieb, welcher am 02. Januar 2020 aufgenommen worden ist, steht die Anlage den Nutzern rund um die Uhr grundsätzlich an allen Tagen des Jahres zur Verfügung. Der Regelbetrieb entspricht damit einem 24/7-Betrieb, also einem Betrieb an 24 Stunden und allen sieben Tagen der Woche.

Im Betrieb jeder Anlage können Betriebsunterbrechungen notwendig werden. Im Wesentlichen kann dabei bei Betriebsunterbrechungen zwischen geplanten und ungeplanten



Betriebsunterbrechungen unterschieden werden. Unter den geplanten Betriebsunterbrechungen werden solche verstanden, die für den Anlagenbetreiber absehbar sind und deren Ankündigung hinreichend lang vor der eigentlichen Abschaltung liegt. Beispiele für geplante Betriebsunterbrechungen sind Inspektions- und Wartungsarbeiten an der Anlage selbst, aber auch Arbeiten im Anlagenbereich, bei deren Durchführung eine Unterschreitung der nach DIN VDE 0105-100 vorgeschriebenen Abstände zu spannungsführenden Teilen nicht ausgeschlossen werden kann. Die ungeplanten Betriebsunterbrechungen sind meist Betriebsunterbrechungen, die von den Gefahrenabwehrbehörden, also den Feuerwehren oder der Polizei, aufgrund einer akuten Gefahrenlage im Anlagenbereich angefordert werden. Ein weiteres Beispiel für eine ungeplante Betriebsunterbrechung stellt z.B. der Verbindungsabbruch zwischen der Anlage und der ELISA-Leitstelle dar, aufgrund dessen die Umsetzung sicherheitsrelevanter Prozesse im Notfall nicht gewährleistet werden kann.

Alle Schalthandlungen und die betriebsrelevanten Ereignisse werden durch die Autobahn GmbH als Oberleitungsinfrastrukturbetreiber dokumentiert. Die Auswertung dieser internen Unterlagen bildet die Grundlage der Evaluation.

#### 3.4.1.2 Untersuchte Hypothesen

Die in Tabelle 17 dargelegte Hypothese liegt den Erkenntnissen zum Oberleitungsbetrieb zu Grunde:

Tabelle 17: Hypothesenübersicht zu den Betriebsunterbrechungen

| Nr.   | Hypothese                                                            | Ergebnis  |
|-------|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| D1a-1 | Ungeplante Betriebsunterbrechungen kommen häufiger als geplante vor. | Bestätigt |

#### 3.4.1.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Die Betriebsunterbrechungen und deren Art haben einen zentralen Einfluss auf die Verfügbarkeit einer Anlage. Die Häufigkeit von ungeplanten Betriebsunterbrechungen kann hierbei aufgrund ihrer Natur nicht direkt positiv beeinflusst werden. Die Häufigkeit, Dauer und Auswirkung von geplanten Betriebsunterbrechungen kann hingegen theoretisch beeinflusst werden. Im Rahmen der Hypothese D1a-1 („Ungeplante Betriebsunterbrechungen kommen häufiger als geplante vor“) wurde zunächst bewertet, welche Arten der Betriebsunterbrechungen häufiger vorkommen, um den zu erwartenden organisatorischen Aufwand eines Oberleitungsinfrastrukturbetreibers zu erörtern. Im bisherigen Forschungsbetrieb konnte dabei bestätigt werden, dass die ungeplanten Betriebsunterbrechungen häufiger vorkommen als die geplanten, wobei ein Großteil davon auf Abschaltungen infolge Anforderung seitens der Gefahrenabwehrbehörden beruht. So waren in 546 Tagen (01.01.2020 bis 30.06.2021) der Regelbetriebsphase 27 Betriebstage von geplanten Abschaltungen und 76 Betriebstage von ungeplanten Abschaltungen betroffen. Diese

Abschaltphasen betragen meist wenige Stunden. Die Optimierung geplanter Betriebsunterbrechungen wird im weiteren Verlauf der Evaluation mitberücksichtigt.

### 3.4.2 Bedienbarkeit und Integrierbarkeit in Verkehrszentralen

*Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methoden und die Ergebnisse zu den Hypothesen zu der Bedienbarkeit und Integrierbarkeit in Verkehrszentralen vorgestellt.*

#### 3.4.2.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden

Ein eHighway sollte aus einer Leitstelle heraus überwacht und gesteuert werden. Diese Einschätzung ergibt sich aus den Pflichten eines Anlagenbetreibers nach DIN VDE 0105-100 für eine Energieanlage im Sinne des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG). Zu dieser Einschätzung sind alle drei deutschen Feldversuche in Hessen, Schleswig-Holstein und Baden-Württemberg [18, 19, 20] unabhängig voneinander bei der Bewertung der Aufgaben und der Verantwortung des Anlagenbetreibers einer eHighway-Infrastruktur gekommen.

Während bei anderen Feldversuchen für den Betrieb der eHighway-Infrastruktur auf Leitstellen von Straßenbahnbetrieben (FESH) oder von Energieversorgerunternehmen (eWayBW) zurückgegriffen wird, erfolgt die Überwachung und Schaltung im Notfall für die ELISA-Anlage aus dem Kontrollzentrum der Verkehrszentrale Deutschland heraus. Jede der drei in Deutschland gewählten Betriebskonstellationen erscheint zielführend. Letztlich muss der Betreiber eines eHighway die Kompetenzen in den Bereichen „Bundesfernstraße“, „Energieanlage“ und „Oberleitungsgebundene Versorgung von Fahrzeugantrieben“ beherrschen. Über jeweils mindestens eine dieser Kompetenzen verfügen die jeweiligen Leitstellen bereits aus ihrem Kerngeschäft und die übrigen müssen durch zusätzliche Maßnahmen integriert bzw. neu erworben werden.

Die Wahl des Kontrollzentrums der Verkehrszentrale Deutschland erschien im Projekt ELISA zielführend, da das Kontrollzentrum allen beteiligten Stellen, wie beispielsweise den Feuerwehroleitstellen oder der Polizei, bereits seit Jahrzehnten als verlässlicher und kompetenter Ansprechpartner bei Ereignissen auf den Autobahnen in Hessen bekannt ist. Zudem ist das Kontrollzentrum der Verkehrszentrale Deutschland im 24/7-Betriebsmodell besetzt, so dass die Schichtmodelle und die technischen und organisatorischen Voraussetzungen für den Regelbetrieb des eHighway-Systems bereits vorhanden waren.

Eine Leitstelle ist eine ständig mit Personal besetzte und mit Leittechnik ausgestattete Einrichtung, die Notrufe entgegennimmt und unverzüglich weitere Maßnahmen anhand von definierten Prozessen einleitet. Die Leittechnik besteht aus Informations-, Kommunikations- und Beobachtungssystemen.

Der elektrifizierte Streckenabschnitt ist zudem seit März 2021 in Fahrtrichtung Darmstadt mit insgesamt acht schwenk- und neigbaren Kameras ausgestattet. Diese liefern Informationen über das Verkehrsgeschehen sowie den Betriebszustand der ELISA-Anlage in Echtzeit. Durch die Wahl der Kamerastandorte, die flexible Kamerasteuerung sowie eine hohe Bildqualität ist es jedoch möglich, die Strecke in beiden Fahrtrichtungen zu beobachten und somit den Anlagenstatus der

gesamten Anlage visuell zu überwachen. Die Kameras wurden dabei in die bestehende Infrastruktur der Verkehrszentrale Deutschland integriert. Die Mitarbeiter des Kontrollzentrums sind mit der Bedienung der Kameras vertraut, da sie genauso bedient werden, wie die anderen Kameras, die im Kontrollzentrum zur Verkehrsbeobachtung auf den hessischen Autobahnen zum Einsatz kommen.

Es konnte sowohl bei der datentechnischen Anbindung der ELISA-Anlage, als auch bei der datentechnischen Anbindung der neu installierten Kameras an die Verkehrszentrale Deutschland auf eine bereits vorhandene Lichtwellenleiter (LWL)-Datenverbindung zurückgegriffen werden. Auch war die Installation eines zusätzlichen ELISA-Leitstellenservers durch einen entsprechend erweiterbaren bzw. mit einer Reserve für die zukünftigen Erweiterungen geplanten Serverinfrastruktur der Verkehrszentrale Deutschland möglich. Im Kontrollzentrum selbst waren ebenfalls Kapazitäten im Hinblick auf einen Arbeitsplatz und nutzbare Darstellungsfläche auf der Videowand vorhanden (siehe Abbildung 7).



**Abbildung 7 :Kontrollzentrum der Verkehrszentrale Deutschland (Autobahn GmbH, 2021)**

Die Auswertung der Forschungshypothesen in diesem Bereich erfolgt auf Basis von nicht normierten Interviews mit dem Betriebsverantwortlichen. Des Weiteren werden Erkenntnisse aus den Interviews mit den Mitarbeitern des Kontrollzentrums der Verkehrszentrale Deutschland und den Austauschterminen mit Gefahrenabwehrbehörden abgeleitet.

### **3.4.2.2 Untersuchte Hypothesen**

Die in Tabelle 18 dargelegten Hypothesen liegen der Untersuchung der Bedienbarkeit und Integrierbarkeit in der Verkehrszentrale Deutschland zu Grunde:

**Tabelle 18: Hypothesenübersicht zur Bedienbarkeit und zur Integrierbarkeit in eine Verkehrszentrale**

| Nr.   | Hypothese                                                                                                | Ergebnis  |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| D1b-1 | Die Integration der Steuerung und Überwachung des eHighway-Systems in eine Verkehrszentrale ist möglich. | Bestätigt |
| D1b-2 | Der Betrieb eines eHighway-Systems profitiert von einer Kamerabeobachtung durch die Verkehrszentrale.    | Offen     |

### 3.4.2.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Der Evaluationsaspekt „Bedienbarkeit und Integrierbarkeit der eHighway-Infrastruktur in Verkehrszentralen“ wurde im Hinblick auf die praktischen Erfahrungen der Integration ELISA-Leitstelle in das Kontrollzentrum der Verkehrszentrale Deutschland betrachtet. Durch die guten technischen und organisatorischen Grundvoraussetzungen der Verkehrszentrale Deutschland (wie in Abschnitt 3.4.2.1 beschrieben, im Folgenden Idealvoraussetzung genannt), sowie dank vorhandener Datenverbindungen zu den relevanten Datenknoten mit freien Kapazitäten, war eine Integrierbarkeit im Fall der ELISA-Anlage möglich. Aber auch die grundsätzliche Integrierbarkeit der Steuerung und Überwachung des eHighway-Systems in Verkehrszentralen wurde damit nachgewiesen. Die Forschungshypothese D1b-1 („Die Integration der Steuerung und Überwachung des eHighway-Systems in Verkehrszentralen ist möglich“) kann damit als bestätigt angesehen werden.

Es sollte jedoch beachtet werden, dass mit jeder nicht gegebenen Idealvoraussetzung die Integrierbarkeit im Falle einer anderen Anlage bzw. einer anderen Verkehrszentrale komplizierter wird. Für den Fall eines großflächigen Ausbaus der eHighway-Infrastruktur sollten grundsätzlich auch zentrale Betriebs- und Leitstellenmodelle erörtert und geprüft werden. Für das Projekt ELISA hat sich jedoch die Integration der ELISA-Leitstelle in das Kontrollzentrum der Verkehrszentrale Deutschland bisher als die optimale Lösung erwiesen.

Ferner wurden die Effekte betrachtet, die sich durch die Errichtung eines Kamerasystems im Bereich eines eHighway-Systems ergeben. Durch die Errichtung im März 2021 wird im weiteren Projektverlauf ein Vorher-Nachher-Vergleich möglich sein, da am Ende des Feldversuches sowohl Betriebserfahrungen aus den Betriebsphasen ohne Kameraüberwachung, als auch aus Betriebsphasen mit Kameraüberwachung vorliegen werden. Hierzu werden im weiteren Verlauf des Forschungsbetriebs Expertengespräche mit den Operatoren der Verkehrszentrale durchgeführt. Zum Berichtszeitpunkt kann demnach die Forschungshypothese D1b-2 („Der Betrieb eines eHighway-Systems profitiert von einer Kamerabeobachtung durch die Verkehrszentrale“) noch nicht abschließend bewertet werden und bleibt somit offen.

### 3.4.3 Einrichtungskosten ELISA-Leitstelle

*Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methoden und die Ergebnisse zu den Hypothesen zu den Einrichtungskosten der ELISA-Leitstelle vorgestellt.*

### 3.4.3.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden

Die ELISA-Leitstelle wurde im Kontrollzentrum der Verkehrszentrale Deutschland eingerichtet. Hierbei konnte auf einen sehr gut geeigneten technischen und organisatorischen Bestand (Idealvoraussetzung) zurückgegriffen werden.

Durch die im Falle des Projektes ELISA gegebene Idealvoraussetzung kann die Einrichtung der ELISA-Leitstelle, wirtschaftlich betrachtet, in guter Näherung als best-case für die Einrichtung der Leitstelleninfrastruktur eines eHighway-Systems angesehen werden. Die Übertragbarkeit der nachfolgenden Erkenntnisse auf andere Einrichtungen ist nur gegeben, wenn dort vergleichbare Voraussetzungen vorliegen.

Gleichzeitig findet beim Oberleitungsinfrastrukturbetreiber eine Auseinandersetzung mit der Fragestellung der zukünftigen Kostenentwicklung der Einrichtungskosten für die Leitstelleninfrastruktur bei einem Ausbau des eHighway-Systems statt. Ganz konkret stellt sich diese Frage für den Oberleitungsinfrastrukturbetreiber im Zuge des laufenden Projektes ELISA III, im Rahmen dessen eine Verlängerung der Feldversuchsstrecke um weitere ca. sieben Kilometer in eine Fahrtrichtung umgesetzt wird.

Im vorliegenden Bericht werden die Forschungshypothesen zunächst nur qualitativ bewertet. Die quantitative Bewertung, die auch auf mögliche Kosten in Form von Schätzungen und Erfahrungswerten vergleichbarer Maßnahmen, im Falle von Abweichungen zu der beschriebenen Idealvoraussetzung für die Integration einer eHighway-Leitstelle eingehen soll, wird für den Schlussbericht durchgeführt werden.

### 3.4.3.2 Untersuchte Hypothesen

Die in Tabelle 19 dargelegten Hypothesen liegen der Untersuchung der Einrichtungskosten für die ELISA-Leitstelle zu Grunde.

Tabelle 19: Hypothesenübersicht zur Einrichtungskosten der Leitstelle

| Nr.   | Hypothese                                                                                                                    | Ergebnis  |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| D2a-1 | Die Einrichtung der Leitstelleninfrastruktur führt nicht zu einer signifikanten Verteuerung des eHighway-Systems.            | Bestätigt |
| D2a-2 | Die Einrichtungskosten für die Leitstelleninfrastruktur pro Kilometer reduzieren sich bei einem Ausbau des eHighway-Systems. | Offen     |

### 3.4.3.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Für den Feldversuchsbetrieb ELISA wurde die Leitstelle für die eHighway-Infrastruktur im Kontrollzentrum der Verkehrszentrale Deutschland eingerichtet. Diese Lösung stellt aus wirtschaftlicher Sicht einen annähernden best-case dar, weil hierbei auf bereits vorhandene und etablierte Infrastruktur einer Verkehrszentrale mit hinreichend vielen Kapazitäten für eine entsprechende Aufgabenerweiterung, sowohl technisch als auch organisatorisch,

zurückgegriffen werden konnte. Ferner konnte auf eine bereits bestehende Datenleitung zurückgegriffen werden, so dass auch die oft problematische und kostenintensive Herstellung einer sicheren Datenverbindung auf einem einfachen und kostengünstigen Weg erfolgen konnte. Dadurch kann die Forschungshypothese D2a-1 („Die Einrichtung der Leitstelleninfrastruktur führt nicht zu einer signifikanten Verteuerung des eHighway-Systems“) bereits jetzt für das Projekt ELISA als bestätigt angesehen werden.

Die voraussichtliche Entwicklung der Einrichtungskosten für die Leitstelleninfrastruktur bei einem Ausbau des eHighway-Systems konnte noch nicht abschließend bewertet werden. Es wurden jedoch qualitative Annahmen formuliert, die im weiteren Verlauf der Evaluation quantitativ bewertet und analysiert werden sollen. Derzeit muss die Forschungshypothese D2a-2 („Die Einrichtungskosten für die Leitstelleninfrastruktur pro Kilometer reduzieren sich bei einem Ausbau des eHighway-Systems“) aus diesem Grund noch als offen angesehen werden.

### 3.4.4 Aufwandsänderungen bei Integration der ELISA-Leitstelle

*Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methoden und die Ergebnisse zu den Hypothesen zu den Aufwandsänderungen der Verkehrszentralen aufgrund der Integration der ELISA-Leitstelle vorgestellt.*

#### 3.4.4.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden

Im vorliegenden Bericht werden die Forschungshypothesen zunächst nur qualitativ bewertet. Die quantitative Bewertung, die auf die anfallenden Kosten und eine sinnvolle virtuelle Verrechnung der Kosten zwischen imaginär getrennten Leitstellen „Verkehrsleitstelle“ und „eHighway-Leitstelle“ eingehen soll, um eine möglichst objektive Bewertung und Einordnung der Kosten zu ermöglichen, soll für den Schlussbericht durchgeführt werden.

#### 3.4.4.2 Untersuchte Hypothesen

Die in Tabelle 20 zusammengestellten Hypothesen liegen der Untersuchung der Aufwandsänderungen bei Integration der ELISA-Leitstelle in die Verkehrszentrale Deutschland zu Grunde.

**Tabelle 20: Hypothesenübersicht zu den Aufwandsänderungen der Leitstelle**

| Nr.   | Hypothese                                                                                                                                     | Ergebnis  |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| D2b-1 | Die Integration der Leitstelle in die Verkehrszentrale erhöht die laufenden Kosten der Verkehrszentrale nicht erheblich.                      | Offen     |
| D2b-2 | Durch die Integration der Bedienung und Überwachung der Oberleitungsanlage in die Verkehrszentrale lassen sich die Betriebskosten reduzieren. | Offen     |
| D2b-3 | Die Aufwandsänderungen der Leitstelle sind unabhängig von der Nutzung der Oberleitungsanlage.                                                 | Bestätigt |

### 3.4.4.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Durch die Nutzung der bereits vor Aufnahme des Oberleitungsbetriebs vorhandenen Verkehrszentraleninfrastruktur konnten die zusätzlichen Aufwände für die ELISA-Leitstelle im Kontrollzentrum der Verkehrszentrale Deutschland auf ein Minimum reduziert werden.

Die Untersuchungen zu den Kosten zur Integration der ELISA-Leitstelle, sowie zu den Betriebskosten der Bedienung und der Überwachung sind zu diesem Zeitpunkt noch nicht berichtsfähig, da die quantitativen Analysen noch ausstehend sind. Hier müssen die Daten noch ausgewertet und sinnvoll in den Gesamtkontext eingeordnet werden. Daher werden die Hypothesen D2b-1 („Die Integration der Leitstelle in die Verkehrszentrale erhöht die laufenden Kosten der Verkehrszentrale nicht erheblich“) und D2b-2 („Durch die Integration der Bedienung und Überwachung der Oberleitungsanlage in die Verkehrszentrale lassen sich die Betriebskosten reduzieren“) derzeit noch als offen betrachtet.

Die Ausübung der Aufgaben der ELISA-Leitstelle erfolgt unabhängig von der Anzahl der Fahrzeuge, die die Oberleitungsanlage nutzen. Hier wird auch in der Zukunft kein Zusammenhang erwartet. Aus diesem Grund kann die Forschungshypothese D2b-3 („Die Aufwandsänderungen der Leitstelle sind unabhängig von der Nutzung der Oberleitungsanlage“) bereits zum jetzigen Zeitpunkt als bestätigt angesehen werden.

### 3.4.5 Aufwandsänderungen Leittechnik

*Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methoden und die Ergebnisse zu den Hypothesen zu den Aufwandsänderungen der Leittechnik vorgestellt.*

#### 3.4.5.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden

Im Bereich der ELISA-Anlage ist seit März 2021 ein Kamerasystem in Fahrtrichtung Darmstadt mit insgesamt acht schwenk- und neigbaren Kameras in Betrieb. Dieses System liefert visuelle Informationen über das Verkehrsgeschehen sowie den Zustand auf der Strecke im Bereich der ELISA-Anlage in Echtzeit. Durch die Wahl der Kamerastandorte, die flexible Kamerasteuerung sowie eine hohe Bildqualität ist es jedoch möglich, die Strecke in beiden Fahrtrichtungen zu beobachten und somit den visuellen Anlagenstatus der gesamten Anlage zu überwachen. Auch die Beobachtung beider Gleichrichterunterwerke (GUw) ist dank der entsprechenden Wahl der Maststandorte möglich. Die Kameras wurden dabei in die übliche Infrastruktur der Verkehrszentrale Deutschland integriert. Die Mitarbeiter des Kontrollzentrums sind mit der Bedienung der Kameras vertraut, da sie genauso bedient werden, wie die anderen Kameras, die im Kontrollzentrum zur Verkehrsbeobachtung der hessischen Autobahnen zum Einsatz kommen.

Es konnte bei der datentechnischen Anbindung der neu installierten Kameras an die Verkehrszentrale Deutschland auf eine bereits vorhandene LWL-Datenverbindung zurückgegriffen werden. Der Datenserver des Kamerasystems wurde in dem Gleichrichterunterwerk Bornbruch der ELISA-Anlage integriert. Damit wurden die vorhandenen

Synergien hinsichtlich der Spannungsversorgung und der Datenanbindung zwischen dem Kamerasystem und der eHighway-Infrastruktur sehr gut ausgenutzt.

Im vorliegenden Bericht werden die Forschungshypothesen zunächst nur qualitativ bewertet. Die quantitative Bewertung, die nach Möglichkeit auch volkswirtschaftliche Vorteile durch die, dank dem Kamerasystem, erweiterten Handlungsoptionen und verkürzten Reaktionszeiten berücksichtigen soll, ist für den Schlussbericht vorgesehen.

### 3.4.5.2 Untersuchte Hypothesen

Die in Tabelle 21 dargelegten Hypothesen liegen der Untersuchung der Aufwandsänderungen Leittechnik zu Grunde:

**Tabelle 21: Hypothesenübersicht zur Aufwandsänderung Leittechnik**

| Nr.   | Hypothese                                                                                                                                                | Ergebnis |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| D2c-1 | Die Errichtung eines Kamerasystems zur Überwachung des eHighway-Systems führt nicht zu einer signifikanten Verteuerung des Gesamtsystems.                | Offen    |
| D2c-2 | Der Betrieb eines Kamerasystems zur Überwachung des eHighway-Systems führt nicht zu einer signifikanten Verteuerung des Betriebs der Oberleitungsanlage. | Offen    |
| D2c-3 | Die Errichtungskosten für das Kamerasystem pro Kilometer reduzieren sich bei einem Ausbau des eHighway-Systems.                                          | Offen    |

### 3.4.5.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Der Evaluationsaspekt „Aufwandsänderung Leittechnik“ befasst sich im Wesentlichen mit ökonomischen Gesichtspunkten der Errichtung des Kamerasystems. Da die Errichtung des Kamerasystems erst im März 2021 mit dem Übergang in den produktiven Betrieb des Systems abgeschlossen wurde, konnte zum Berichtsstichtag noch keine quantitative Bewertung der Daten erfolgen.

Bereits jetzt ist ersichtlich, dass die Errichtungskosten des Kamerasystems im Bereich der ELISA-Anlage im Vergleich zu den Kosten der eHighway-Infrastruktur verhältnismäßig hoch sind und damit zu einer signifikanten Verteuerung der Gesamtsystemkosten führen. Jedoch gilt diese Schlussfolgerung nur dann uneingeschränkt, wenn das Kamerasystem ausschließlich als Bestandteil des eHighway-Gesamtsystems betrachtet wird. Im weiteren Verlauf soll im Zuge der quantitativen Analyse eine Einordnung der Kosten in den Gesamtkontext jedoch noch erfolgen, um die Hypothese D2c-1 („Die Errichtung eines Kamerasystems zur Überwachung des eHighway-Systems führt nicht zu einer signifikanten Verteuerung des Gesamtsystems“) abschließend bewerten zu können.

Für die Forschungshypothesen D2c-2 („Der Betrieb eines Kamerasystems zur Überwachung des eHighway-Systems führt nicht zu einer signifikanten Verteuerung des Betriebs der Oberleitungsanlage“) und D2c-3 („Die Errichtungskosten für das Kamerasystem pro Kilometer



reduzieren sich bei einem Ausbau des eHighway-Systems“) wurden qualitative Annahmen formuliert. Diese Hypothesen bleiben jedoch offen, bis entsprechende Daten quantitativ aufgearbeitet und analysiert worden sind.

### 3.4.6 Störfallmanagement und Zuständigkeiten ELISA-Leitstelle

*Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methoden und die Ergebnisse zu den Hypothesen zum Störfallmanagement und den Zuständigkeiten für die ELISA-Leitstelle vorgestellt.*

#### 3.4.6.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden

Aus der Übernahme der Rolle des Anlagenbetreibers der ELISA-Anlage im Sinne des EnWG ergab sich die Notwendigkeit, die ELISA-Leitstelle einzurichten und die betrieblichen Prozesse vorzubereiten.

Die ELISA-eHighway-Anlage war die erste Anlage dieser Art, die im öffentlichen Verkehrsraum in Deutschland errichtet und in Betrieb genommen wurde. Folglich konnte bei der Gestaltung der Betriebsorganisation auf keine bekannten Störfallmanagementkonzepte zurückgegriffen werden. Vielmehr mussten die rechtlichen Rahmenbedingungen erörtert und darauf basierend neue Betriebs- und Störfallmanagementkonzepte erarbeitet werden.

#### 3.4.6.2 Untersuchte Hypothesen

Die in Tabelle 22 zusammengestellten Hypothesen liegen der Untersuchung des Störfallmanagements und Zuständigkeiten der ELISA-Leitstelle zu Grunde.

**Tabelle 22: Hypothesenübersicht zu dem Störfallmanagement und Zuständigkeiten Leitstelle**

| Nr.   | Hypothese                                                                                                              | Ergebnis  |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| D4a-1 | Der eHighway erfordert die Entwicklung von neuen Störfallmanagementkonzepten.                                          | Bestätigt |
| D4a-2 | Die neuen Störfallmanagementkonzepte erfordern die Definition von Rollen und Zuständigkeiten innerhalb der Leitstelle. | Bestätigt |
| D4a-3 | Mit zunehmender Länge der Oberleitungsanlage ist das Störfallmanagementkonzept anzupassen.                             | Bestätigt |
| D4a-4 | Die Einrichtung eines Kamerasystems wirkt sich positiv auf die Abläufe im Störfallmanagement aus.                      | Offen     |

#### 3.4.6.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Die erforderlichen Störfallmanagementkonzepte wurden erarbeitet und schrittweise, unter Einhaltung gebotener Vorsicht beim Umgang mit der ersten Anlage ihrer Art auf einer deutschen Bundesautobahn, erfolgreich eingeführt. Die definierten Ziele konnten in den vorgesehenen

Zeiträumen erreicht werden, so dass die Anlage in einen sicheren 24/7-Regelbetrieb überführt werden konnte, in dem sie auch weiterhin betrieben wird.

Da hierfür sowohl die Entwicklung neuer Störfallmanagementkonzepte, als auch die Definition neuer Rollen und Zuständigkeiten notwendig waren, sind die Forschungshypothesen D4a-1 („Der eHighway erfordert die Entwicklung von neuen Störfallmanagementkonzepten“) und D4a-2 („Die neuen Störfallmanagementkonzepte erfordern die Definition von Rollen und Zuständigkeiten innerhalb der Leitstelle“) als bestätigt anzusehen. Ebenso kann die Forschungshypothese D4a-3 („Mit zunehmender Länge der Oberleitungsanlage ist das Störfallmanagementkonzept anzupassen“) als bestätigt betrachtet werden, da die Vorbereitungen der Erweiterung der Bestandsanlage im Rahmen des Projektes ELISA III selbst für diesen organisatorisch eher einfachen Fall einen Anpassungsbedarf für das Störfallmanagement ergeben hat.

Eine abschließende Aussage zur Forschungshypothese D4a-4 („Die Einrichtung eines Kamerasystems wirkt sich positiv auf die Abläufe im Störfallmanagement aus“) kann zum Berichtsstichtag noch nicht getroffen werden, da das Kamerasystem sich erst seit März 2021 im regulären Betrieb befindet und sich seitdem keine auswertefähigen Zwischenfälle mehr ereignet haben, die eine Abschaltung der ELISA-Anlage bedingt haben.

### 3.5 Ergebnisse aus Sicht der Oberleitungsinfrastrukturerrichter

*Die nachfolgenden Ausführungen beschäftigen sich mit der Analyse des eHighway-Systems aus Sicht der Oberleitungsinfrastrukturerrichter. Fokussiert werden dabei unter anderem die Zuverlässigkeit der Fahrleitungsanlage, passive Schutzmaßnahmen sowie die bautechnische Machbarkeit. Es folgen Untersuchungen zu Erstellungskosten. Im weiteren Verlauf wird das Life Cycle Assessment Infrastruktur durchgeführt.*

#### 3.5.1 Zuverlässigkeit der Fahrleitungsanlage

*Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methoden und die Ergebnisse zu den Hypothesen zur Zuverlässigkeit der Fahrleitungsanlage vorgestellt.*

##### 3.5.1.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden

Untersuchungsgegenstand ist die Prüfung der Fähigkeit der Fahrleitungsanlage bzw. der gesamten Energieversorgung, die OH-Lkw zuverlässig mit elektrischer Energie zu versorgen. Die Energieversorgung umfasst somit neben Elementen, die explizit der Fahrleitungsanlage zugeordnet werden, wie Kettenwerke mit Oberleitungen und Fahrleitungsmasten, auch die GUw, welche die elektrische Spannung aus dem vorgelagerten Mittelspannungsnetz umformen und in die Oberleitung einspeisen.

Je nach Definitionsgrundlage ist die Zuverlässigkeit der Fahrleitungsanlage, also die Eigenschaft, die gewünschte Funktion Energieversorgung unter bestimmten Umgebungsbedingungen für ein bestimmtes Zeitintervall zu garantieren, eng mit der Verfügbarkeit der Anlage verknüpft. Deshalb werden beide Kenngrößen nachfolgend untersucht.

Die Analyse der Zuverlässigkeit wird durch Validierung bzw. Falsifizierung von vorher definierten Forschungshypothesen durchgeführt, die in den nachfolgenden Unterabschnitten untersucht werden. Die Untersuchungen werden um Aspekte der Risikobewertung und Verschleißanalyse erweitert. Die Untersuchungen zur Zuverlässigkeit der Fahrleitungsanlage stützen sich auf mehrere Quellen: Es wurden Listen und Protokolle analysiert, die bei der Inspektion der Anlage aufgenommen wurden, sowie ein Betriebstagebuch der Anlage ausgewertet. Weiterhin wurden Analysen mithilfe der aufgezeichneten Fahrzeug- und Pantographenmessdaten durchgeführt.

##### 3.5.1.2 Untersuchte Hypothesen

Die in Tabelle 23 dargelegten Hypothesen liegen der Untersuchung der Zuverlässigkeit der Fahrleitungsanlage zu Grunde:

**Tabelle 23: Hypothesenübersicht zur Zuverlässigkeit der Fahrleitungsanlage**

| Nr.   | Hypothese                                                                                               | Ergebnis  |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| E1a-1 | Die Fahrleitung gewährleistet eine zuverlässige Energieversorgung der OH-Lkw.                           | Bestätigt |
| E1a-2 | Von der Fahrleitung gehen keine erhöhten Risiken auf die Verkehrsteilnehmer aus.                        | Bestätigt |
| E1a-3 | Der reguläre Fahrzeugbetrieb führt zu keiner Beeinträchtigung der Verfügbarkeit der Fahrleitungsanlage. | Bestätigt |
| E1a-4 | Der Verschleiß der Fahrleitung ist kalkulierbar.                                                        | Offen     |

### 3.5.1.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Zuverlässigkeit der Fahrleitungsanlage lassen sich wie folgt zusammenfassen: Die Fahrleitungsanlage zeichnet sich grundsätzlich durch eine sehr hohe Verfügbarkeit aus und gewährleistet somit eine zuverlässige Energieversorgung der OH-Lkw. Die aufgetretenen Betriebsunterbrechungen haben verschiedene Ursachen und sind nur teilweise der Anlage selbst zuzurechnen. Weder gehen durch die Fahrleitungsanlage erhöhte Risiken auf die übrigen Verkehrsteilnehmer aus, noch wird die Anlagenverfügbarkeit durch den Fahrzeugbetrieb beeinflusst. Unter Einbeziehung der Inspektionsprotokolle und verknüpft mit einer Auswertung zum elektrischen Fahrbetrieb ist derzeit kein Verschleiß der Fahrleitung messbar.

### 3.5.2 Passive Schutzmaßnahmen

*Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methoden und die Ergebnisse zu den Hypothesen zu passiven Schutzmaßnahmen vorgestellt.*

#### 3.5.2.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden

Im Folgenden werden einerseits relevante Grundlagen zu passiven Schutzmaßnahmen vorgestellt, andererseits wird auf die eingesetzten Methoden zur Auswertung eingegangen.

Die Errichtung einer eHighway-Infrastruktur entlang von Bundesautobahnen ist völlig neu und bisher noch in keiner im Bereich der Straßenausstattung anzuwendenden Richtlinie in Deutschland abgebildet. Im Rahmen des Projektes war es daher auch die Aufgabe, die Sicherheitsbedingungen auf der Grundlage bestehender Richtlinien zu prüfen und ggf. anzugleichen.

Unter anderem erfordert die Errichtung einer eHighway-Infrastruktur den Bau von Oberleitungsmasten im Seitenraum der Fahrbahn an Bundesautobahnen. Diese Oberleitungsmasten sind neue Gefahrenstellen in diesem Seitenraum und somit auf Grundlage der

Richtlinien für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeugrückhaltesysteme (RPS) mit entsprechendem Leistungsvermögen abzusichern. [12]

Die besondere Herausforderung im Zuge der Errichtung der ELISA-Versuchsanlage bestand darin, dass die Arbeiten an der Errichtung des Fahrzeugrückhaltesystems parallel zu der Errichtung der Oberleitungsinfrastruktur stattgefunden haben. In den ersten Bauphasen der Errichtung der Oberleitungsinfrastruktur wurde das Baufeld durch eine transportable Schutzeinrichtung zwischen dem Seitenstreifen und dem ersten Fahrstreifen (also dem rechten Fahrstreifen, welcher auch mit der Oberleitungsinfrastruktur ausgestattet worden ist) geschützt. In dieser Bauphase konnten Maststellung und Auslegermontage vollständig abgeschlossen werden. In der nächsten Bauphase, im Zuge derer der Fahrdratzug stattgefunden hat, musste die transportable Schutzeinrichtung entfernt werden, da das Fahrzeug der Fahrdratzugmontage die Möglichkeit haben musste, sich relativ frei zwischen dem Seitenstreifen und dem ersten Fahrstreifen bewegen zu können. In der letzten Bauphase, welche unter anderem die Montage der endgültigen Hänger, die Herstellung elektrischer Verbindungen und die Einregulierung der endgültigen Fahrdratzuglage beinhaltete, wurden parallel dazu die Arbeiten an der Errichtung der passiven Schutzeinrichtung aufgenommen, welche im Zuge des Projekts ELISA in Form eines Ortbetonschutzsystems LT 104 SE ausgeführt worden ist.

Als Grundlage für die Evaluierung in diesem Evaluationsaspekt dienen die Erkenntnisse, die aus den Bautagebüchern, sowie aus den in der Bauphase regelmäßig und mindestens wöchentlich stattfindenden Baufortschrittsbesprechungen mit dem Oberleitungsinfrastrukturerrichter gewonnen werden konnten. Besonders ist darauf hinzuweisen, dass sich die auf diese Weise durchgeführte Evaluation auf den in Deutschland derzeit noch seltenen Fall einer vierstreifigen Richtungsfahrbahn bezieht. Nicht alle Ergebnisse und Schlussfolgerungen sind auch auf drei- oder zweistreifige Richtungsfahrbahnen zu übertragen; diesbezügliche Konzepte für die Errichtung passiver Schutzmaßnahmen werden außerhalb des Projekts ELISA gesondert zu betrachten sein.

### 3.5.2.2 Untersuchte Hypothesen

Die in Tabelle 24 dargelegte Hypothese liegt der Untersuchung der passiven Schutzeinrichtung zu Grunde:

Tabelle 24: Hypothesenübersicht Passive Schutzmaßnahmen

| Nr.   | Hypothese                                                                                                                                                                                                                              | Ergebnis  |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| E1b-1 | Die zeitgleiche bauliche Umsetzung von passiven Schutzmaßnahmen und Oberleitungsinfrastruktur kann sich auf die Nutzbarkeit des Streckenabschnitts für den Bau der Oberleitung durch den Oberleitungsinfrastrukturerrichter auswirken. | Bestätigt |

### 3.5.2.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Die zeitgleiche bauliche Umsetzung von passiven Schutzmaßnahmen und Oberleitungsinfrastruktur wirkt sich grundsätzlich auf die Nutzbarkeit des Streckenabschnitts für den Bau der Oberleitung durch den Oberleitungsinfrastrukturerrichter aus. Nach den Erkenntnissen, die aus der baulichen Umsetzung der ELISA-Versuchsanlage an einer vierstreifigen Richtungsfahrbahn resultieren, kann deshalb die Forschungshypothese E1b-1 („Die zeitgleiche bauliche Umsetzung von passiven Schutzmaßnahmen und Oberleitungsinfrastruktur kann sich auf die Nutzbarkeit des Streckenabschnitts für den Bau der Oberleitung durch den Oberleitungsinfrastrukturerrichter auswirken“) als bestätigt angesehen werden. Gleichzeitig kann daraus allein keine Empfehlung für eine Vorgehensweise im Sinne einer grundsätzlichen Sinnhaftigkeit der zeitlichen Trennung beider Maßnahmen abgeleitet werden. Vielmehr müssen bei Entscheidungen zur optimalen Vorgehensweise in einem konkreten Einzelfall immer alle Aspekte der jeweiligen Handlungsoptionen inklusive derer Vor- und Nachteile herangezogen werden. So kann der Nachteil einer signifikant längeren Aufrechterhaltung der Baustellenverkehrsführung für sich genommen bereits so schwerwiegend sein, dass ein erhöhter Abstimmungsaufwand zwischen den Auftragsnehmern und geringfügige Ausdehnung der Zeitpläne im Vergleich zu den Zeitplänen mit einer exklusiven Nutzung des Baufeldes in Kauf genommen werden könnten.

Gleichzeitig sind Lösungsoptionen am Markt erhältlich, die einen Einsatz der späteren passiven Schutzeinrichtung bereits in der Errichtungsphase der Oberleitungsanlage als eine transportable Schutzeinrichtung zur Absicherung der Arbeitsstelle längerer Dauer ermöglichen. Daher wird es als empfehlenswert angesehen, die Fachexperten für die Verkehrssicherheit frühzeitig einzubinden und den Lösungsraum in Anbetracht der Schutzbedürftigkeit des jeweiligen Abschnittes zu erörtern.

### 3.5.3 Bautechnische Machbarkeit

*Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methoden und die Ergebnisse zu den Hypothesen zur bautechnischen Machbarkeit vorgestellt.*

#### 3.5.3.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden

Für eine erfolgreiche Errichtung der eHighway-Infrastruktur muss die bautechnische Machbarkeit vorliegen. Im Falle der ELISA-Versuchsanlage liegt diese vor und wurde spätestens mit dem erfolgreichen Abschluss der Errichtung der ELISA-Versuchsanlage und der anschließenden Inbetriebnahme nachgewiesen. Diese Feststellung ist insofern nicht trivial, als dass eine Bewertung der bautechnischen Machbarkeit am Beispiel des Projektes ELISA damit die Möglichkeit eines sogenannten „Survivorship Bias“ (englisch für: Überlebenden-Verzerrung) beinhaltet. Das bedeutet, dass einige Einflussfaktoren auf die bautechnische Machbarkeit in ihrer Relevanz gegebenenfalls nicht richtig eingeschätzt werden könnten.

Aus diesem Grund beziehen sich die Erkenntnisse des Evaluationsaspektes „Bautechnische Machbarkeit“ im vorliegenden Bericht ausdrücklich nur auf die im Zuge der Anlagenerrichtung bekannt gewordenen Einflussfaktoren auf die Komplexität der bautechnischen Umsetzbarkeit.

Im Zuge der bisherigen Vorarbeiten des Folgeprojektes ELISA III, also der geplanten Verlängerung der bestehenden ELISA-Versuchsanlage um ca. sieben Kilometer in Fahrtrichtung Darmstadt, hat sich gezeigt, dass die grundsätzliche technische Ausführung der Infrastruktur auch auf Streckenabschnitte mit unterschiedlichen Streckencharakteristika anpassbar ist.

Nach aktuellem Wissensstand haben mehrere Faktoren einen Einfluss auf die bautechnische Machbarkeit und, sofern die Machbarkeit grundsätzlich gegeben ist, auf die Komplexität der Umsetzung der bautechnischen Maßnahme zur Errichtung einer eHighway-Infrastruktur. Diese sind unter anderem:

- Streckencharakteristik insb. im Hinblick auf Kurvenradien und die Gradienten des Streckenabschnittes,
- Höhen- und längsrelevante Bauwerke,
- Baugrundbeschaffenheit im designierten Baufeld,
- Wasserschutzrechtliche und naturschutzrechtliche Bestimmungen,
- Freileitungen (kreuzend oder in unmittelbarer Nähe verlaufend),
- Verfügbarkeit von geeigneten Verknüpfungspunkten zur Spannungsversorgung der Anlage.

Die Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern verdeutlicht lediglich die Vielfalt möglicher Einflussfaktoren.

Im Evaluationsaspekt „Bautechnische Machbarkeit“ soll im Folgenden insbesondere auf die Einflüsse der geologischen Gegebenheiten, der Bestandsbauwerke im Streckenabschnitt und des Anlagenstandortes allgemein näher eingegangen werden.

Die Grundlage für die Evaluation bilden die Erfahrungen der Errichtung der eHighway-Anlage ELISA. Auch die bereits vorliegenden Erkenntnisse aus der Planung der Anlagenverlängerung im Zuge des Projektes ELISA III werden, sofern bereits im Evaluationszeitraum vorliegend, berücksichtigt.

Ein Kernziel der Durchführung des Feldversuchs ELISA bildet weiterhin die Gewinnung wertvoller Erkenntnisse über den Betrieb eines eHighway-Systems auf einer im öffentlichen Verkehrsraum verorteten und vielfrequenzierten deutschen Bundesautobahn, sowie über das Verhalten der eHighway-Infrastruktur in der realen Umgebung allgemein. Dies schließt sowohl die technischen Aspekte des Betriebes eines eHighway-Systems in dessen Funktion als eine Energieanlage, als auch die verkehrlichen Aspekte im Hinblick auf die bestmögliche Integration der eHighway-Infrastruktur in der Funktion des Zubehörs eine Bundesfernstraße in die Umgebung einer Bundesautobahn mit ein.

Der Betrieb der eHighway-Anlage ELISA liefert hierbei laufend Erkenntnisse im Hinblick auf die Optimierung der Betriebsprozesse. Aber auch das Optimierungspotential der Technologie wird

an vielen Stellen erkennbar. Dabei treten sowohl Aspekte zutage, die bereits im Zuge des Forschungsprojektes ELISA berücksichtigt werden können oder gar müssen, als auch Aspekte, die nicht, oder nur mit einem unverhältnismäßig hohen Aufwand bei einer Bestandsanlage angepasst werden können, jedoch bei der Projektierung zukünftiger eHighway-Anlagen berücksichtigt werden sollten.

Die Grundlagen bieten hierbei die Auswertungen von betrieblichen Vorkommnissen oder Beobachtungen. Auch Vor- und Nachbesprechungen von Inspektions- und Wartungsmaßnahmen mit dem durchführenden Unternehmen, sowie die Wartungsprotokolle bieten einige Anhaltspunkte für die möglichen oder notwendigen Optimierungsmaßnahmen. Des Weiteren steht der Oberleitungsinfrastrukturbetreiber im stetigen konstruktiven Austausch mit dem Anlagenerrichter.

Für die Bearbeitung des folgenden Evaluationsaspekts wurden die Ereignisprotokolle und Wartungsprotokolle ausgewertet, sowie Interviews mit Betriebsverantwortlichen der ELISA-Anlage geführt.

### 3.5.3.2 Untersuchte Hypothesen

Die in Tabelle 25 dargelegten Hypothesen liegen der Untersuchung der bautechnischen Machbarkeit zu Grunde:

**Tabelle 25: Hypothesenübersicht Bautechnische Machbarkeit**

| Nr.   | Hypothese                                                                                                                | Ergebnis  |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| E1c-1 | Die bautechnische Machbarkeit eines eHighway-Systems ist abhängig von den geologischen Gegebenheiten.                    | Offen     |
| E1c-2 | Bestandsbauwerke haben einen Einfluss auf die bauliche Umsetzung der Oberleitungsinfrastruktur.                          | Bestätigt |
| E1c-3 | Die bautechnische Machbarkeit eines eHighway ist abhängig vom Anlagenstandort.                                           | Bestätigt |
| E1c-4 | Der Forschungsbetrieb der Oberleitungsanlage liefert Erkenntnisse zu möglichen Änderungen in der technischen Ausführung. | Bestätigt |

### 3.5.3.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Die bautechnische Machbarkeit und die Komplexität der Realisierung der Oberleitungsinfrastruktur im Bereich einer Autobahn hängen sehr stark vom designierten Anlagenstandort ab. Daher erfordert die Vorbereitung eines eHighway-Infrastrukturprojektes eine sorgfältige Analyse der am Anlagenstandort vorherrschenden Verhältnisse. Im Ergebnis etwaiger Prüfungen können auch Unterbrechungen zwischen Anlagenabschnitten eine sinnvolle Lösung sein.



Sowohl die bestehende ELISA-Versuchsanlage als auch die im Zuge der geplanten Verlängerung entstehende Anlage wurden ohne Unterbrechungen geplant, wobei diese Tatsache nicht zuletzt den Anforderungen an eine Feldversuchsanlage geschuldet ist. Insbesondere bei der Planung einer umfangreichen Installation von eHighway-Systemen im Autobahnnetz müssten die Planungsprämissen sorgfältig formuliert werden, um die bestmögliche Wirtschaftlichkeit der Gesamtlösung zu gewährleisten.

Die wichtige Rolle des Feldversuchs im Ganzen und des Betriebs einer Feldversuchsanlage in der realen Einsatzumgebung im Speziellen für die Identifizierung von Optimierungsbedarfen der eHighway-Technologie, konnte durch die bereits zum Berichtsstichtag vorliegenden Erkenntnisse nachgewiesen werden.

So konnten sowohl Erkenntnisse gewonnen werden, die einer Optimierung des Betriebs zukünftiger Anlagen dieser Art dienlich sein können, als auch Designmerkmale identifiziert werden, die zwingend einer Überarbeitung und der Anpassung an die Einsatzumgebung eines eHighway-Systems bedürfen.

Die Erkenntnisse über die sinnvolle Wahl des Aufstellortes eines GUw, sowie über dessen Schutz gegen unerwünschte äußere mechanische Einflüsse, sowie gegen die übermäßige Aufheizung durch Sonneneinstrahlung, aber auch die Erkenntnisse über die Optimierungsmöglichkeiten bei der Verlegung der Versorgungsleitungen und verfügbarkeitsoptimierende Schaltungsoptionen, dienen der Steigerung der Widerstandsfähigkeit der eHighway-Infrastruktur gegenüber schädlichen äußeren Einflüssen und wirken sich voraussichtlich positiv auf die Lebensdauer und die Verfügbarkeit der Anlage aus.

Die festgestellten Schäden an den Isolatoren der Fahrleitungsanlage, sowie die in ihrer Funktion beeinträchtigten Schösser von Kästen des Catenary Monitor System (CMS) sind betriebs- und sicherheitsrelevant. In Absprache mit dem Anlagenerrichter fließen diese Erkenntnisse sowohl in das Design zukünftiger Anlagen als auch in die Bestandsanlagen ein.

### **3.5.4 Erstellungskosten**

*Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methoden und die Ergebnisse zu den Hypothesen zu den Erstellungskosten vorgestellt.*

#### **3.5.4.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden**

Bei der Durchführung des Vergabeverfahrens für die im Rahmen des Projekts ELISA zu errichtende Oberleitungsanlage waren einige projektspezifische Besonderheiten zu beachten.

Mit der Förderung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (heute: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit) war die Bedingung verbunden, dass das Teilprojekt zur Errichtung der Oberleitungsanlage zum Jahresende 2018 abgeschlossen werden kann. Dies bedeutete, dass die Oberleitungsanlage bereits im Herbst 2018 und damit nur 22 Monate nach Projektbeginn betriebsbereit sein musste.

Durch den Förderbescheid war ein finanzieller Rahmen sowohl für die Gesamtprojektkosten als auch für den Investivanteil – also die Kosten für die Bauleistungen – gesetzt. Ein etwaiger Verfügungsrahmen für Mehrkosten war nicht vorgesehen – das Preisrisiko, das mit einem üblichen Vergabeverfahren verbunden ist, konnte somit nicht abgedeckt werden. Im Interesse des Projekts lag es zudem, die Investivmittel vollständig auszuschöpfen, um eine möglichst große Streckenlänge der Versuchsanlage zu erhalten. Je länger die Strecke errichtet werden kann, desto besser bildet die Versuchsumgebung zur Bearbeitung der wissenschaftlichen Fragestellungen den späteren Regeleinsatz ab. Somit war es auch nicht zielführend, eine finanzielle Reserve für das Preisrisiko im Projektbudget zurückzuhalten. Aus dem gleichen Grund mussten auch bauseitige Kostensteigerungen, wie sie aufgrund unvorhergesehener Ereignisse oder nicht erkennbarer Erschwernisse auftreten können, grundsätzlich ausgeschlossen werden.

Zu Beginn des Vergabeverfahrens konnte auf keine technische Ausführungsplanung zurückgegriffen werden, auf die eine klassisch-technische Leistungsbeschreibung und eine Auflistung von Leistungspositionen und -mengen im Zuge eines Leistungsverzeichnisses hätte aufbauen können. Jegliche Möglichkeit, diese Unterlagen durch eine vorgeschaltete Beauftragung einer fachplanerischen Leistung erarbeiten zu lassen, schied aufgrund des engen Zeitrahmens ebenfalls aus. Damit war auch klar, dass die Erarbeitung einer ausführungsreifen Planung Bestandteil des zu vergebenden Bauauftrags sein musste.

Hierbei kam das Instrument einer funktionalen Leistungsbeschreibung zum Einsatz:

Die Leistungsparameter und Rahmenbedingungen – bspw. der im Baugenehmigungsverfahren festgelegte, maximal zulässige Umfang des Eingriffs in Schutzgüter – jedoch nicht die konkrete technische Umsetzung der ELISA-Versuchsanlage, wurden beschrieben. So blieben verschiedene technische Lösungsansätze möglich, die mit den Bietern im Verhandlungsverfahren zu erörtern und zu optimieren waren. [1]

Im vorliegenden Bericht werden die Forschungshypothesen zunächst nur qualitativ bewertet. Die quantitative Bewertung soll, sofern im konkreten Einzelfall möglich, in den Schlussbericht Eingang finden.

#### **3.5.4.2 Untersuchte Hypothesen**

Die in Tabelle 26 dargelegten Hypothesen liegen der Untersuchung der Erstellungskosten zu Grunde:

**Tabelle 26: Hypothesenübersicht Erstellungskosten**

| Nr.   | Hypothese                                                                                                                                                   | Ergebnis |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| E2a-1 | Die Erfahrungen aus der Errichtung der Oberleitungsinfrastruktur führen künftig zu einer Reduktion der Erstellungskosten pro Kilometer.                     | Offen    |
| E2a-2 | Die Erfahrungen aus dem Betrieb der Oberleitungsinfrastruktur führen künftig zu einer Reduktion der Erstellungskosten pro Kilometer.                        | Offen    |
| E2a-3 | Die Erfahrungen aus der Errichtung der Oberleitungsinfrastruktur führen künftig zu einer verbesserten Kalkulierbarkeit der Erstellungskosten pro Kilometer. | Offen    |
| E2a-4 | Die Erfahrungen aus dem Betrieb der Oberleitungsinfrastruktur führen künftig zu einer verbesserten Kalkulierbarkeit der Erstellungskosten pro Kilometer.    | Offen    |

### 3.5.4.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Die Errichtung und der Betrieb der deutschlandweit ersten Oberleitungsinfrastruktur zur Stromversorgung von OH-Lkw auf Autobahnen bieten die Möglichkeit, die anzunehmenden Errichtungskosten für einen eHighway anhand von konkreten Erfahrungswerten zu präzisieren.

Insgesamt haben sich im Rahmen der bisherigen Evaluation des Forschungsaspektes „Erstellungskosten“ noch keine Anhaltspunkte für eine Reduktion der künftigen Erstellungskosten der Oberleitungsinfrastruktur ergeben. In Bezug auf die Erfahrungen aus dem Betrieb reichen die Erkenntnisse noch nicht aus, um die Forschungshypothese E2a-2 („Die Erfahrungen aus dem Betrieb der Oberleitungsinfrastruktur führen künftig zu einer Reduktion der Erstellungskosten pro Kilometer“) bereits jetzt beantworten zu können, weshalb sie als offen eingestuft wird.

Hinsichtlich der Kalkulierbarkeit der Erstellungskosten der Oberleitungsinfrastruktur wird hingegen erwartet, dass diese durch die Erfahrungen aus der Errichtung und aus dem Betrieb der ELISA-Anlage zukünftig verbessert werden können. Jedoch können die entsprechenden Hypothesen im Evaluationszeitraum des vorliegenden Berichtes noch nicht abschließend bewertet werden und werden daher weiterhin als offen angesehen.

### 3.5.5 Life Cycle Assessment Infrastruktur

*Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methoden und die Ergebnisse zu den Hypothesen zum Life Cycle Assessment der Infrastruktur vorgestellt.*

#### 3.5.5.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden

Das Life Cycle Assessment (LCA) ist eine Methode zur Untersuchung und Bewertung von Umweltaspekten wie die Nutzung von Ressourcen und Umweltauswirkungen beispielsweise von Emissionen über den Lebensweg von Produkten oder Dienstleistungen. Sie wird über das

vierstufige standardisierte Verfahren der ISO Normen (DIN EN ISO 14040 und 14044 [7, 8]) durchgeführt (1. Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen, 2. Sachbilanz, 3. Wirkungsabschätzung und 4. Auswertung). [7], [8] Innerhalb der Ausarbeitung der Sachbilanz wurden Daten aus dem ELISA II-B-Forschungsprojekt aufgenommen. **Die durchgeführte LCA bildet spezifisch den derzeitigen ELISA-Testbetrieb ab.**

Das Gesamtsystem eHighway lässt sich in dieser LCA unterteilen in die Oberleitungs-Infrastruktur, den Fahrweg und den Anlagenbetrieb. Zur Bewertung der Umweltwirkungen von Treibhausgasen (Klimawirkung in CO<sub>2</sub>-Äquivalente) sowie von Luftschadstoffen (NO<sub>x</sub>- und Feinstaubbildung) [9] werden für die Inputs der Sachbilanz Datensätze erstellt bzw. auf Datensätze aus der Datenbank ecoinvent 3.7.1 zurückgegriffen [10]. Es werden zur Durchführung der LCA verschiedene Informationen und Annahmen für die Berechnung eines Fahr Szenarios und der Normalisierung des Produktsystems auf die Funktionelle-Einheit von 1 tkm integriert.

Diese sind: 90.000 km/a Fahrleistung, 12,5 t/Fahrt Gütertransport, 10% Betrieb unter der Oberleitung, 90% Betrieb fernab der Oberleitung, täglich sieben Transportfahrten von fünf Forschungs-Lkw, Kraftstoffverbräuche der Fahrzeuge unter der Oberleitung und fernab der Oberleitung von Diesel und Strom (gemäß CarMediaLab Auswertung bis Ende 2020).

Im Rahmen dieses Kapitels liegt der Fokus der LCA auf einer Betrachtung der Oberleitungs-Infrastruktur. Weitere Ausführungen zur LCA bzgl. konkreter Betrachtung des OH-Lkws und der passiven Schutzvorrichtung lassen sich den Kapiteln 3.2.4 und 3.6.7 entnehmen.

Bei der Modellierung der Oberleitungs-Infrastruktur werden die drei Teilsysteme Quertrageinrichtung mit Mast, Fahrdrableitung und elektrische Energieversorgung integriert.

Die Daten der gesamten Infrastruktur für das eHighway-System bildet die spezifische Fallstudie des ELISA-Testbetriebs für eine elektrifizierte Strecke von 10 km ab. Innerhalb der Sachbilanz finden nachfolgende Komponenten für die LCA der Oberleitungs-Infrastruktur Berücksichtigung:

#### LC 1 - Produktion Komponenten:

- Mittelmast
- Mittelmast Fundament
- Rundmast
- Rundmast Fundament
- Ausleger Mittelmast
- Ausleger
- Rückanker
- Rückanker Fundament
- Radspanneranordnung
- Stützpunkt
- Hänger
- Fahrdrableitung

- Tragseil
- Erdseil
- Auslegerseil
- Gleichrichter-Unterwerk
- Gleichrichter-Unterwerk Fundament

LC 2 - Transport Komponenten:

- Straßentransporte

LC 3 - Errichtung Infrastruktur:

- Baumaschinen Einsatzzeiten

Es werden diverse Informationen und Annahmen bezüglich der spezifischen Lebensdauern aller Komponenten, der Materialmengen und der jeweiligen Komponentenanzahl in die Berechnung zur Durchführung der LCA integriert.

**3.5.5.2 Untersuchte Hypothesen**

Die in Tabelle 27 dargelegten Hypothesen liegen der Untersuchung des Life Cycle Assessment Infrastruktur zu Grunde:

**Tabelle 27: Hypothesenübersicht zum Life Cycle Assessment Infrastruktur**

| Nr.   | Hypothese                                                                                                                                      | Ergebnis  |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| E3a-1 | Die Implementierung von autobahnseitigen Oberleitungen verursacht zusätzliche Umweltwirkungen, die sich auf die nutzenden Fahrzeuge auswirken. | Bestätigt |
| E3a-2 | Die ökologische Auswirkung der Oberleitung hängt anteilig von der Menge der die neue Infrastruktur nutzenden Fahrzeuge ab.                     | Bestätigt |
| E3a-3 | Die Herstellung der Infrastrukturkomponenten wirkt sich am stärksten auf die Umweltbilanz der Infrastruktur aus.                               | Bestätigt |
| E3a-4 | Der Transport der Infrastrukturkomponenten wirkt sich nur marginal auf die gesamte Umweltwirkung aus.                                          | Bestätigt |
| E3a-5 | Der Errichtungsprozess der Infrastrukturkomponenten wirkt sich nur marginal auf die gesamte Umweltwirkung aus.                                 | Bestätigt |

**3.5.5.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen**

Die Untersuchungen zum Life-Cycle-Assessment zeigen, dass eine Verbesserung der Klimawirkung durch das eHighway-System möglich ist, sofern dieses hinreichend genutzt wird. Der regionale Schwerlastverkehr kann demnach durch die Implementierungen und Nutzung von eHighway-Systemen von THG-Reduktionen profitieren. Wie hoch das Dekarbonisierungspotenzial dieser Transportlösung in Zukunft sein kann, lässt sich aufgrund der sich in Entwicklung befindlichen Technologie aktuell noch schwer festlegen. Mit der aktuell umgesetzten ELISA-Teststrecke und dem zugrunde gelegten Nutzungsszenario könnte sich

bereits eine Reduktion von THG-Emissionen von ca. 22% realisieren lassen – in einem eingeschwungenen Zustand des Systems und einer hohen Anlagenauslastung. Mit einem Ausbau des Systems sind weitere Einsparungspotenziale anzunehmen. Zusammenfassend erlauben die vorliegenden LCA-Ergebnisse aus der im ELISA-Projekt durchgeführten Untersuchung zunächst vor allem aber eine Bewertung des aktuellen Zustandes für den Gütertransport eines OH-Lkws auf der ELISA-Teststrecke.

Der Bau und die Errichtung des autobahnseitigen eHighway-Systems verursacht dabei zunächst zusätzliche Umweltwirkungen (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>2.5</sub>), die sich auf die das eHighway-System nutzenden Fahrzeuge auswirken. Unter Umweltwirkungen werden in dieser Untersuchung die Emission von Treibhausgasen (CO<sub>2</sub>-Äquivalente) und von Luftschadstoffen (NO<sub>x</sub> und Feinstaub) verstanden. Die Hypothese E3a-1 („Die Implementierung von autobahnseitigen Oberleitungen verursachen zusätzliche Umweltwirkungen, die sich auf die nutzenden Fahrzeuge auswirken“) kann entsprechend bestätigt werden.

Aufgrund der aktuell geringen Auslastung der Testanlage durch lediglich fünf OH-Lkw beeinflusst die Implementierung der Infrastruktur das Ergebnis stark. Je höher die Anzahl an oberleitungsnutzenden Fahrzeugen ist, desto geringer ist die Auswirkung der Infrastruktur auf die Gesamtbilanz. Wird die Infrastruktur unter Vollauslastung genutzt, sind die Umweltwirkungen umgerechnet auf den individuellen Transportprozess jedes OH-Lkw für die Oberleitungs-Infrastruktur nur noch sehr gering. Die Hypothese E3a-2 („Die ökologische Auswirkung der Oberleitung hängt anteilig von der Menge der die neue Infrastruktur nutzenden Fahrzeuge ab“) wird bestätigt.

Die Herstellung der Infrastrukturkomponenten wirkt sich dabei am stärksten auf die Umweltbilanz der Infrastruktur aus. Während in der Produktionsphase für die Infrastruktur höhere Treibhausgas-Emissionen auftreten, ändert sich die Umweltwirkung der Infrastruktur in der Nutzenphase dagegen nicht. Die Hypothese E3a-3 („Die Herstellung der Infrastrukturkomponenten wirkt sich am stärksten auf die Umweltbilanz der Infrastruktur aus“) kann bestätigt werden.

Im Verhältnis zu allen Vorketten der autobahnseitigen Oberleitungs-Infrastruktur spielt der Transport im Rahmen der zweiten Lebenszyklusphase eine untergeordnete Rolle. Die Transportprozesse der Komponenten wirken sich nur marginal auf die gesamte Umweltwirkung aus und wurden modelliert von der Produktionsstätte zur Pilotanlage in Abhängigkeit von Distanz und Komponentengewicht. Die Hypothese E3a-4 („Der Transport der Infrastrukturkomponenten wirkt sich nur marginal auf die gesamte Umweltwirkung aus“) wird bestätigt.

Ebenfalls wirkt sich die Errichtung der Oberleitungs-Infrastruktur im Rahmen der dritten Lebenszyklusphase nur gering auf die gesamten Umweltwirkungen aus. Von größter Bedeutung im Errichtungsprozess des eHighway-Systems ist der Energieeinsatz der Baustellenfahrzeuge. Die Hypothese E3a-5 („Der Errichtungsprozess der Infrastrukturkomponenten wirkt sich nur marginal auf die gesamte Umweltwirkung aus“) wird bestätigt.

### 3.6 Ergebnisse aus Sicht der Straßeninfrastrukturbetreiber

*Die nachfolgenden Ausführungen beschäftigen sich mit der Analyse des eHighway-Systems aus Sicht des Straßeninfrastrukturbetreibers. Es werden hierfür der Einfluss des eHighway-Systems auf den Verkehrsablauf und Fahrverhalten evaluiert und die baulichen Änderungen an Bestandsbauwerken sowie die Durchführung von Großraumtransporten im Anlagenbereich analysiert. Zudem werden die ersten Ergebnisse zum Einfluss der baulichen Änderungen auf die Gesamterstellungskosten eines eHighway-Systems vorgestellt. Ferner liefert dieser Abschnitt Ergebnisse zu Hypothesen zum Life Cycle Assessment der passiven Schutteinrichtung. Schließlich werden die organisatorischen Aspekte und die Prozesse erörtert, die im Zusammenhang mit dem Forschungsbetrieb der ELISA-Versuchsanlage auf Seiten des Straßeninfrastrukturbetreibers von Relevanz sind.*

#### 3.6.1 Verkehrsablauf

*Das Kernstück der Analyse der Forschungshypothesen zur Veränderung des Verkehrsablaufs auf Fernstraßen infolge des Systems eHighway bildet ein entwickeltes Verfahren zur automatisierten Berechnung und Visualisierung der Verkehrsdaten über feste Zeiträume und nach Klassen der Verkehrsbelastung. Es liegen Verkehrsdaten vor, die vor und nach dem Bau des eHighway erhoben wurden bzw. werden. Damit können die Verkehrsdaten ohne eHighway mit den Verkehrsdaten desselben Streckenabschnitts mit eHighway verglichen werden.*

##### 3.6.1.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden

Die Analyse des Verkehrsablaufs erfolgte über eine umfassende Untersuchung der Verkehrsdaten auf dem ELISA-Streckenabschnitt unter dem Einfluss des Systems eHighway. Dabei wurden unter Berücksichtigung der verschiedenen Zustände des Verkehrsablaufs (frei, teilgebunden, vollgebunden, stockend, gestaut) die erhobenen und daraus errechneten Kenngrößen des Verkehrsablaufs ohne eHighway mit den Verkehrsdaten desselben Streckenabschnitts mit eHighway verglichen.

Zusammenfassend konnte nach bisherigem Kenntnisstand kein wesentlicher Einfluss der ELISA-Versuchsanlage auf den Verkehrsablauf identifiziert werden.

##### 3.6.1.2 Untersuchte Hypothesen

Die in Tabelle 28 dargelegten Hypothesen liegen der Untersuchung des Verkehrsablaufs zu Grunde:

**Tabelle 28: Hypothesenübersicht zum Verkehrsablauf**

| Nr.   | Hypothese                                                                                                          | Ergebnis  |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| F1a-1 | Die mittleren Verkehrsstärken auf dem Streckenabschnitt ändern sich durch das eHighway-System nicht signifikant.   | Bestätigt |
| F1a-2 | Die mittleren Geschwindigkeiten auf dem Streckenabschnitt ändern sich durch das eHighway-System nicht signifikant. | Bestätigt |
| F1a-3 | Die mittleren Geschwindigkeiten auf den Fahrstreifen ändern sich durch das eHighway-System nicht signifikant.      | Offen     |
| F1a-4 | Die mittleren Reisezeiten auf dem Streckenabschnitt ändern sich durch das eHighway-System nicht signifikant.       | Offen*    |
| F1a-5 | Die mittleren Weglücken auf dem Streckenabschnitt ändern sich durch das eHighway-System nicht signifikant.         | Bestätigt |
| F1a-6 | Die mittleren Zeitlücken auf dem Streckenabschnitt ändern sich durch das eHighway-System nicht signifikant.        | Bestätigt |

\*Analyse für den Leichtverkehr noch ausstehend.

### 3.6.1.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Nach Analyse der Verkehrsbelastungen auf dem Streckenabschnitt sowie bei Betrachtung der fahrstreifenspezifischen Verkehrsbelastungen getrennt für den Leichtverkehr und Schwerverkehr vor Errichtung der ELISA-Versuchsanlage und während des Betriebs konnten keine wesentlichen Unterschiede identifiziert werden.

Zudem konnte festgestellt werden, dass sich die mittleren fahrtrichtungsbezogenen Geschwindigkeiten auf dem Streckenabschnitt für den Leichtverkehr und für den Schwerverkehr unter Berücksichtigung der Verkehrsbelastungen nach aktuellem Forschungsstand sowohl für die Fahrtrichtung Darmstadt als auch für die Fahrtrichtung Frankfurt nicht signifikant von den mittleren fahrtrichtungsbezogenen Geschwindigkeiten vor Errichtung der ELISA-Versuchsanlage unterscheiden. Tiefergehende Analysen für jeden Tag eines Monats der Jahre 2017 bis einschließlich 2020 zeigten zudem, dass sich die mittleren Geschwindigkeiten der einzelnen Fahrstreifen ebenso wenig durch das eHighway-System ändern. Die eindeutige Beantwortung der Hypothese wird erst mit Abschluss der Analysen möglich sein.

Weitere Betrachtungen der Verkehrsdaten des Gesamtverkehrs von 2017 bis 2020 zeigten auch, dass sich die mittleren Weglücken auf dem Streckenabschnitt nicht durch das eHighway-System ändern. Ferner konnte unter Berücksichtigung weiterer Wochentage für den Schwerverkehr festgestellt werden, dass sich die mittleren Reisezeiten auf dem Streckenabschnitt durch das eHighway-System nicht signifikant ändern. Dies gilt für sämtliche Zustände des Verkehrsablaufes (frei, teilgebunden, gebunden, stockend, gestaut). Tagesschwankungen oder Schwankungen infolge von Baustellen, Unfällen der anderen Situationen können als normal angesehen werden



und sind nicht auf die Errichtung des eHighway-Systems zurückzuführen. Die eindeutige Beantwortung der Hypothese wird erst mit Abschluss der Analysen möglich sein.

In diesem Zusammenhang und bei weiterer Analyse der Verkehrsdaten kann zudem gezeigt werden, dass sich auch die mittleren Zeitlücken auf dem Streckenabschnitt durch das eHighway-System nicht signifikant ändern. Der Evaluationsaspekt „Verkehrsablauf“ soll im weiteren Projektverlauf um spezifische und detailliertere Auswertungen, insbesondere um die Analysen zum Verkehrsablauf nach Klassen, Verkehrsbelastung sowie um eine Verkehrsflusssimulation ergänzt werden. Die Verkehrsflusssimulation nimmt die Analysen der Verkehrsdaten (objektive Betrachtungsweise) und die Analysen zum Fahrverhalten aus der Personenbefragung (subjektive Betrachtungsweise) auf und bildet somit das Bindeglied beider Betrachtungsweisen. Dadurch werden die Erkenntnisse aus der Befragung (bspw. 30% wechseln den Fahrstreifen infolge eHighway) in den richtigen Kontext gesetzt.

Daneben dient die Simulation der Abschätzung des Verkehrsablaufs und des Verkehrsverhaltens anhand von Zukunftsszenarien. Hierbei wird u.a. der Einfluss mehrerer OH-Lkw auf der Strecke sowie einer gewissen Vertrautheit der Verkehrsteilnehmer mit dem System untersucht.

### **3.6.2 Fahrverhalten**

*Das Kernelement der Evaluierung des spezifischen Fahrverhaltens der Verkehrsteilnehmenden auf Fernstraßen im Allgemeinen und zum Gegenvergleich auf Fernstraßen mit eHighway-System ist die Durchführung einer Personenbefragung zum Fahrverhalten und zur Akzeptanz der Pkw-Fahrer und Lkw-Fahrer gegenüber dem System eHighway.*

#### **3.6.2.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden**

Die Analyse des spezifischen Fahrverhaltens der Verkehrsteilnehmenden erfolgte anhand einer digital durchgeführten Personenbefragung getrennt für Pkw-Fahrer und Lkw-Fahrer. Dabei wurden den Teilnehmenden Fragen zum allgemeinen Fahrverhalten und zum Fahrverhalten auf dem Streckenabschnitt des eHighway-Systems gestellt.

#### **3.6.2.2 Untersuchte Hypothesen**

Die in Tabelle 29 dargelegten Hypothesen liegen der Untersuchung des Fahrverhaltens zu Grunde:

**Tabelle 29: Hypothesenübersicht zum Fahrverhalten**

| Nr.   | Hypothese                                                                                                                                  | Ergebnis  |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| F1b-1 | Das Geschwindigkeitsverhalten der Verkehrsteilnehmenden ändert sich durch das eHighway-System nicht signifikant.                           | Offen     |
| F1b-2 | Das Abstands-, Annäherungs-, und Folgeverhalten der Verkehrsteilnehmenden ändert sich durch das eHighway-System nicht signifikant.         | Offen     |
| F1b-3 | Das Überholverhalten der Verkehrsteilnehmenden ändert sich durch das eHighway-System nicht signifikant.                                    | Offen     |
| F1b-4 | Das Beschleunigungs- und Verzögerungsverhalten der Verkehrsteilnehmenden ändert sich durch das eHighway-System nicht signifikant.          | Offen     |
| F1b-5 | Das Verhalten der Verkehrsteilnehmenden beim Fahrstreifenwechsel ändert sich durch das eHighway-System nicht signifikant.                  | Offen     |
| F1b-6 | Das Verhalten der Verkehrsteilnehmenden bei Einfädelvorgängen ändert sich durch das eHighway-System nicht signifikant.                     | Offen     |
| F1b-7 | Das individuelle Sicherheitsempfinden der Verkehrsteilnehmenden beim Befahren des eHighway wird nicht negativ beeinflusst.                 | Bestätigt |
| F1b-8 | Die subjektiv empfundene Beanspruchung der Verkehrsteilnehmenden beim Lesen der Beschilderung erhöht sich durch das eHighway-System nicht. | Bestätigt |
| F1b-9 | Verkehrsteilnehmende wechseln beim Befahren des eHighway nicht den Fahrstreifen, um die Verkehrszeichen besser wahrnehmen zu können.       | Bestätigt |

### 3.6.2.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Grundsätzlich kann nach bisherigem Kenntnisstand festgestellt werden, dass die Verkehrsteilnehmenden weder wesentlich von der Oberleitungsinfrastruktur, noch von den OH-Lkw negativ beeinflusst werden. Dies spiegelt sich bereits in den bisherigen Ergebnissen zu den einzelnen Forschungshypothesen wider, wenngleich einzelne Forschungshypothesen noch weiter zu untersuchen sind.

So sind bspw. das Geschwindigkeitsverhalten der Verkehrsteilnehmenden und deren etwaige Änderung durch das eHighway-System durch eine fortwährende Personenbefragung weiter zu analysieren.

Das Abstands-, Annäherungs- und Folgeverhalten der Verkehrsteilnehmenden wurde hingegen auch mit Hilfe der Verkehrsdatenauswertung hinreichend untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass sich das Abstands-, Annäherungs-, und Folgeverhalten durch das eHighway-System nicht signifikant ändert. Der Einfluss der OH-Lkw ist weiterhin zu prüfen.

Nach Auswertung der bisherigen Ergebnisse aus der Personenbefragung kann zudem festgestellt werden, dass das Gros der Verkehrsteilnehmenden keinen Fahrstreifenwechsel infolge der

ELISA-Versuchsanlage durchführen würde. Der Einfluss des eHighway-Systems (Infrastruktur und Fahrzeuge) kann nach bisherigem Kenntnisstand folglich als gering angesehen werden.

In diesem Zusammenhang konnte ebenso gezeigt werden, dass die Verkehrsteilnehmenden keine Fahrstreifenwechsel vollziehen, um die Verkehrszeichen besser wahrnehmen zu können. Die subjektiv empfundene Beanspruchung beim Lesen der Beschilderung erhöht sich folglich nicht signifikant.

Zudem wird das individuelle Sicherheitsempfinden der Verkehrsteilnehmenden beim Befahren des eHighway-Systems nicht negativ beeinflusst. Dies gilt nach bisherigem Kenntnisstand sowohl für den Leichtverkehr (i. ü. S. Pkw-Fahrer) als auch für den Schwerverkehr (i. ü. S. Lkw-Fahrer). Ferner konnte festgestellt werden, dass knapp 83 % der befragten Verkehrsteilnehmenden nicht negativ durch die eHighway-Infrastruktur in ihrer Sicht auf die Beschilderung beeinflusst wurden. Lediglich 6 % gaben an, dass die Oberleitungsinfrastruktur ihre Sicht auf die wegweisende Beschilderung stark negativ beeinflusst (11 % Enthaltung bzw. keine konkrete Aussage diesbezüglich).

Der Evaluationsaspekt „Fahrverhalten“ soll im weiteren Projektverlauf um spezifische und detailliertere Auswertungen, insbesondere durch Ergebnisse aus einem erweiterten Teilnehmerkreis bei der Personenbefragung, ergänzt werden.

### **3.6.3 Sichtbarkeit der Beschilderung durch Verkehrsteilnehmer**

*Die Arbeiten zu diesem Evaluationsaspekt sind zum derzeitigen Bearbeitungsstand noch nicht berichtsfähig.*

*Für erste tiefgehende Erkenntnisse zur Sichtbarkeit der Beschilderung wird an dieser Stelle auf die durchgeführten verkehrspsychologischen Analysen im Projekt ENUBA – Elektromobilität bei schweren Nutzfahrzeugen zur Umweltentlastung von Ballungsräumen – verwiesen.*

### **3.6.4 Bauliche Änderungen an Bestandsbauwerken im Anlagenbereich**

*Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methoden und die Ergebnisse zu den Forschungshypothesen bzgl. der baulichen Änderungen der Bestandsbauwerke im Anlagenbereich vorgestellt.*

#### **3.6.4.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden**

Im Zusammenhang mit der Errichtung und der Vorbereitung des Betriebs der ELISA-Versuchsanlage ergab sich die Notwendigkeit von baulichen Eingriffen in bestehende Bauwerke im Bereich der ELISA-Versuchsanlage. Ferner hatte die Errichtung der Anlageninfrastruktur Änderungen der Streckencharakteristik zur Folge, die eine Neubeurteilung des notwendigen Fahrzeugrückhaltesystems bedingten. Die konkreten Anpassungen, die sich aus diesen Umständen ergaben, wurden dokumentiert und liegen der Beurteilung der Forschungshypothesen dieses Kapitels zugrunde.

### 3.6.4.2 Untersuchte Hypothesen

Die in Tabelle 30 dargelegten Hypothesen liegen der Untersuchung der baulichen Änderungen an Bestandsbauwerken im Anlagenbereich zu Grunde:

**Tabelle 30: Hypothesenübersicht zur baulichen Änderung an Bestandsbauwerken**

| Nr.   | Hypothese                                                                                                                      | Ergebnis  |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| F1d-1 | Die Anbringung von Oberleitungsanlagenbestandteilen an Brückenbauwerken führt zu Aufwänden bei Straßeninfrastrukturbetreibern. | Bestätigt |
| F1d-2 | Die Erdung von Bestandsbauwerken im Rissbereich der Oberleitung führt zu Aufwänden bei Straßeninfrastrukturbetreibern.         | Bestätigt |
| F1d-3 | Es ergeben sich aufgrund der eHighway-Anlage keine erhöhten Anforderungen an die Auslegung des Fahrzeugrückhaltesystems.       | Bestätigt |

### 3.6.4.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Die Errichtung eines eHighway-Systems führt zu unmittelbaren Wechselwirkungen zwischen Bauwerken sowie Straßenzubehör und der Oberleitungsanlage, deren Ursachen elektrotechnischer oder mechanischer Natur sein können. Im Zuge der Elektrifizierung eines gegebenen Straßenabschnitts müssen diese Wechselwirkungen in Kooperation zwischen dem Anlagengerichter und der auftraggebenden Instanz (sofern dies nicht der Straßeninfrastrukturbetreiber selbst ist) auf der einen Seite und dem Straßeninfrastrukturbetreiber auf der anderen Seite abgeschätzt werden und die daraus erforderlichen Maßnahmen erörtert werden. Im Falle der Errichtung der ELISA-Versuchsanlage waren es Verkehrszeichenausleger und -brücken sowie Brückenbauwerke, die zu solchen Wechselwirkungen führten. Anlagenseitig führten die Brückenbauwerke zur punktuellen Absenkung des Fahrdrachts von einer Regelfahrdrachthöhe von 5,10 m auf bis zu 4,57 m. Die Absenkung des Fahrdrachts erfordert den Einsatz von besonderen Fahrdrachtstützpunkten. Auf Seiten der Straßeninfrastruktur führte ein Anbringen von Fahrdrachthaltevorrichtungen („elastische Stützpunkte“), Stromabnehmerabweisern („Wippenabweiser“) und Erdungsvorrichtungen („blanke Leiter“) an Brückenbauwerken sowie die elektrische Verbindung der Erdungen von Bestandsbauwerken im Rissbereich der Versuchsanlage mit der Erdung der Oberleitungsanlage zu Mehraufwänden. Außerdem führt die Errichtung von Masten für Oberleitungsanlagen entlang der Autobahn ggfs. auch zu einer Neubewertung des Streckenabschnitts hinsichtlich der Anforderungen an ein Fahrzeugrückhaltesystem gemäß RPS [12]. Im Falle der ELISA-Versuchsanlage wurde die Beurteilung der Aufhaltestufe der passiven Schutzeinrichtung dabei nicht nach RPS vorgenommen, sondern aufgrund einer Stellungnahme der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) aufgrund des Pilotcharakters der Anlage auf H4b – also die höchstmögliche Aufhaltestufe – festgelegt. Aufgrund der im Projekt gewonnenen Erfahrungen über den Einfluss der Oberleitungsanlage auf die Abkommenswahrscheinlichkeit

von Lkw im Anlagenbereich sollen dabei zukünftig wieder die RPS Grundlage für die Beurteilung der im Streckenabschnitt benötigten Anforderungen an das Fahrzeurückhaltesystem sein.

### 3.6.5 Durchführung von Großraumtransporten im Anlagenbereich

*Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methode und die Ergebnisse zu der Forschungshypothese zu den Großraumtransporten im Anlagenbereich vorgestellt.*

#### 3.6.5.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden

Der Evaluation der Auswirkungen von Oberleitungsanlagen auf die Durchführung von Großraumtransporten liegt die Auswertung des bisherigen Verlaufs des Forschungsbetriebs der ELISA-Versuchsanlage, die getroffenen Absprachen im Zusammenhang mit dem Anlagenbetrieb mit der Verkehrsbehörde sowie die Auswertung der Norm DIN VDE 0105-100 zum Betrieb von elektrischen Anlagen zugrunde. Weiterhin fließen die technischen Daten der Versuchsanlage – insbesondere in Bezug auf die Fahrdrabtmindesthöhe – in die Untersuchung ein.

#### 3.6.5.2 Untersuchte Hypothesen

Die in Tabelle 31 dargelegte Hypothese liegt der Untersuchung der Durchführung von Großraumtransporten im Anlagenbereich zu Grunde:

**Tabelle 31: Hypothesenübersicht zur baulichen Änderung an Bestandsbauwerken**

| Nr.   | Hypothese                                                                                         | Ergebnis  |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| F1e-1 | Die Durchführung von Großraumtransporten unter 4,50m im Anlagenbereich ist grundsätzlich möglich. | Bestätigt |

#### 3.6.5.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Die Hypothese F1e-1 („Die Durchführung von Großraumtransporten unter 4,50 m im Anlagenbereich ist grundsätzlich möglich“) lässt sich bestätigen. Im Verlauf des bisherigen Forschungsbetriebs kam es zu keiner negativen Auswirkung von Großraumtransporten auf den Anlagenbetrieb. Die einzige Kollision mit der Oberleitung ging auf ein unsachgemäß gesichertes Kranfahrzeug zurück. Grundsätzlich ist die Durchführung von Großraumtransporten unter 4,50m im Anlagenbereich also möglich.

### 3.6.6 Einfluss der baulichen Änderungen auf die Gesamterstellungskosten eines eHighway-Systems

*Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methode und die Ergebnisse zu der Forschungshypothese zu den baulichen Änderungen auf die Gesamterstellungskosten eines eHighway-Systems vorgestellt.*

### 3.6.6.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden

Bauliche Anpassungen hinsichtlich Bestandsbauwerken und passiver Schutzeinrichtung wirken sich auf die ökonomische Beurteilung der Oberleitungstechnologie aus Sicht des Straßeninfrastrukturbetreibers aus. Die Kosten für diese Maßnahmen wurden dokumentiert und bilden die Grundlage der Evaluation in ökonomischer Hinsicht.

### 3.6.6.2 Untersuchte Hypothesen

Die in Tabelle 32 dargelegte Hypothese liegt der Untersuchung des Einflusses der baulichen Änderungen auf die Gesamterstellungskosten eines eHighway-Systems zu Grunde:

**Tabelle 32: Hypothesenübersicht zum Einfluss der baulichen Änderungen auf die Gesamterstellungskosten eines eHighway-Systems**

| Nr.   | Hypothese                                                                                                                                     | Ergebnis  |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| F2a-1 | Notwendige bauliche Anpassungen zur Integration der Oberleitung führen zu keiner Erhöhung der Gesamterstellungskosten eines eHighway-Systems. | Bestätigt |

### 3.6.6.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Im Rahmen der Errichtung und des Betriebs eines eHighway-Systems entstehen auch auf Seiten des Straßeninfrastrukturbetreibers Aufwände. Diese umfassen zum Beispiel organisatorische Aufwände, wie möglicherweise das Anordnen von zusätzlichen Verkehrszeichen für den Fall, dass der elektrifizierte Fahrstreifen für Fahrzeuge mit Überhöhe gesperrt werden soll oder das Festhalten von baulichen Änderungen an Bestandsbauwerken im Bereich der Oberleitung in den entsprechenden Bauwerksbüchern. Aber auch finanzielle Aufwände können dem Straßeninfrastrukturbetreiber entstehen, wenn zum Beispiel die Errichtung des eHighway-Systems zu einer höheren Anforderung an die den Streckenabschnitt sichernde passive Schutzeinrichtung führt, oder wenn zukünftig zu errichtende Bauwerke im Bereich des eHighway-Systems aufgrund der räumlichen Nähe zur Oberleitung geerdet werden. Die im Einzelfall bei einer eHighway-Errichtung anfallenden Kosten für die beschriebenen Maßnahmen sind abhängig von den Gegebenheiten des jeweiligen Streckenabschnitts.

### 3.6.7 Life Cycle Assessment Passive Schutzeinrichtung

*Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methoden und die Ergebnisse zu den Hypothesen zum Life Cycle Assessment der passiven Schutzeinrichtung vorgestellt.*

#### 3.6.7.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden

Das Life Cycle Assessment (LCA) ist eine Methode zur Untersuchung und Bewertung von Umweltaspekten wie die Nutzung von Ressourcen und Umweltauswirkungen, beispielsweise von Emissionen über den Lebensweg von Produkten oder Dienstleistungen. Sie wird über das vierstufige standardisierte Verfahren der ISO Normen 14040 und 14044 durchgeführt (1.

Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen, 2. Sachbilanz, 3. Wirkungsabschätzung und 4. Auswertung) [7], [8]. Innerhalb der Ausarbeitung der Sachbilanz wurden Daten aus dem ELISA II-B-Forschungsprojekt aufgenommen. **Die durchgeführte LCA bildet spezifisch den derzeitigen ELISA-Testbetrieb ab.**

Das Gesamtsystem eHighway lässt sich für die LCA unterteilen in die Oberleitungs-Infrastruktur, den Fahrweg und den Anlagenbetrieb. Zur Bewertung der Umweltwirkungen von Treibhausgasen (Klimawirkung in CO<sub>2</sub>-Äquivalente) sowie von Luftschadstoffen (NO<sub>x</sub>- und Feinstaubbildung) [9] werden für die Inputs der Sachbilanz Datensätze erstellt bzw. auf Datensätze aus der Datenbank ecoinvent 3.7.1 zurückgegriffen [10]. Es werden zur Durchführung der LCA verschiedene Informationen und Annahmen für die Berechnung eines Fahrplanszenarios und der Normalisierung des Produktsystems auf die Funktionelle Einheit von 1 tkm integriert.

Diese sind: 90.000 km/a Fahrleistung, 12,5 t/Fahrt Gütertransport, 10% Betrieb unter der Oberleitung, 90% Betrieb fernab der Oberleitung, täglich sieben Transportfahrten von fünf Forschungs-Lkw, Kraftstoffverbräuche der Fahrzeuge unter der Oberleitung und fernab der Oberleitung von Diesel und Strom (gemäß CarMediaLab Auswertung bis Ende 2020).

Im Rahmen dieses Kapitels liegt der Fokus der LCA auf einer Betrachtung der passiven Schutzeinrichtung. Weitere Ausführungen zur LCA bzgl. konkreter Betrachtung des OH-Lkws und der Oberleitungs-Infrastruktur lassen sich den Kapiteln 3.2.4 und 3.5.5 entnehmen. Die Daten der passiven Schutzeinrichtung bilden die spezifische Fallstudie des ELISA-Testbetriebs für eine elektrifizierte Strecke von 10 km ab, bei der zur Erarbeitung der Sachbilanz die nachfolgenden Inputs berücksichtigt werden:

#### LC 1 - Produktion Komponenten:

- Betonschutzwand
- Fundament

#### LC 2 - Transport Komponenten:

- Straßentransporte

#### LC 3 - Errichtung Infrastruktur:

- Baumaschinen Einsatzzeiten

Ebenfalls werden zur Durchführung der LCA Informationen und Annahmen zu den spezifischen Lebensdauern der Komponenten, den Materialmengen und der Komponentenanzahl in die Berechnung integriert.

### **3.6.7.2 Untersuchte Hypothesen**

Die in Tabelle 33 dargelegten Hypothesen liegen der Untersuchung des Life Cycle Assessment Passive Schutzeinrichtung zu Grunde:

**Tabelle 33: Hypothesenübersicht zum Life Cycle Assessment Passive Schutzeinrichtung**

| Nr.   | Hypothese                                                                                                                                       | Ergebnis  |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| F3d-1 | Die Errichtung einer autobahnseitigen passiven Schutzeinrichtung wirkt sich auf die Umweltbilanz der die Infrastruktur nutzenden Fahrzeuge aus. | Bestätigt |
| F3d-2 | Die ökologische Auswirkung der passiven Schutzeinrichtung hängt anteilig von der Menge der die neue Infrastruktur nutzenden Fahrzeuge ab.       | Bestätigt |
| F3d-3 | Die baustellenseitige Errichtung der passiven Schutzeinrichtung wirkt sich marginal auf die gesamte Umweltwirkung aus.                          | Bestätigt |
| F3d-4 | Der Transport der Vorprodukte für die passive Schutzeinrichtung wirkt sich marginal auf die gesamte Umweltwirkung aus.                          | Bestätigt |
| F3d-5 | Die Herstellung der Vorprodukte für die passive Schutzeinrichtung wirkt sich am stärksten auf die gesamte Umweltwirkung aus.                    | Bestätigt |

### 3.6.7.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Die Untersuchungen zum Life-Cycle-Assessment zeigen, dass eine Verbesserung der Klimawirkung durch das eHighway-System möglich ist, sofern dieses hinreichend genutzt wird. Der regionale Schwerlastverkehr kann demnach durch die Implementierungen und Nutzung von eHighway-Systemen von THG-Reduktionen profitieren. Wie hoch das Dekarbonisierungspotenzial dieser Transportlösung in Zukunft sein kann, lässt sich aufgrund der sich in Entwicklung befindlichen Technologie aktuell noch schwer festlegen. Mit der aktuell umgesetzten ELISA-Teststrecke und dem zugrunde gelegten Nutzungsszenario könnte sich bereits eine Reduktion von THG-Emissionen von ca. 22% realisieren lassen – in einem eingeschwungenen Zustand des Systems und einer hohen Anlagenauslastung. Mit einem Ausbau des Systems sind weitere Einsparungspotenziale anzunehmen. Zusammenfassend erlauben die vorliegenden LCA-Ergebnisse aus der im ELISA-Projekt durchgeführten Untersuchung zunächst vor allem aber eine Bewertung des aktuellen Zustandes für den Gütertransport eines OH-Lkws auf der ELISA-Teststrecke. Die ökologische Vorteilhaftigkeit des eHighway-Systems gegenüber dem herkömmlichen Transportsystem wird durch die Implementierung der Oberleitungs-Infrastruktur sowie der passiven Schutzeinrichtung zunächst aufgrund der „Einmalaufwendungen“ verschlechtert. Inwieweit das eHighway-System in Summe eine vorteilhafte Ökobilanz aufweisen wird, hängt schlussendlich von der anschließenden Nutzenphase des eHighway-Systems ab. Ein hoher Anteil der „Einmalaufwendungen“ resultiert aus der im ELISA II-B-Feldversuch errichteten passiven Schutzeinrichtung in Betonbauweise (Rückhaltstufe H4b). Diese muss nicht zwangsläufig dem eHighway-System im Allgemeinen zugeordnet werden, wurde im Rahmen des Feldversuchs aber explizit für diesen errichtet. Die Zielstellung im ELISA II-B-Projekt sieht die Abbildung des realisierten Versuchsbetriebs vor, weswegen auch die passive Schutzeinrichtung in der umgesetzten Bauweise in der Bilanzierung Beachtung finden muss. Für einen zukünftigen Ausbau des eHighway-Systems muss jedoch nicht zwangsläufig eine passive Schutzeinrichtung in Betonbauweise mit Rückhaltstufe H4b verwendet werden. Auch andere Bauweisen sind denkbar und wahrscheinlicher.



Aufgrund der aktuell geringen Auslastung der Testanlage durch lediglich fünf OH-Lkw beeinflusst die passive Schutzeinrichtung das Ergebnis der LCA stark (die Umweltwirkungen, resultierend aus der Implementierung der Oberleitungs-Infrastruktur sowie der passiven Schutzeinrichtung, werden auf die fünf betriebenen OH-Lkw umgeschlagen). Im Umkehrschluss: Je höher die Anzahl an oberleitungsnutzenden Fahrzeugen ist, desto weniger Auswirkungen auf die Gesamtbilanz hat diese. Wird die Infrastruktur unter Volllast genutzt, sind die Umweltwirkungen umgerechnet auf den individuellen Transportprozess jedes OH-Lkws für die Oberleitungs-Infrastruktur und die passive Schutzeinrichtung nur noch sehr gering. Die Hypothesen F3d-1 und F3d-2:

- „Die Errichtung einer autobahnseitigen passiven Schutzeinrichtung wirkt sich auf die Umweltbilanz der die Infrastruktur nutzenden Fahrzeuge aus“ und
- „Die ökologische Auswirkung der passiven Schutzeinrichtung hängt anteilig von der Menge der die neue Infrastruktur nutzenden Fahrzeuge ab“

können bestätigt werden.

Die Hypothesen F3d-3, F3d-4 und F3d-5:

- „Die baustellenseitige Errichtung der passiven Schutzeinrichtung wirkt sich marginal auf die gesamte Umweltwirkung aus“,
- „Der Transport der Vorprodukte für die passive Schutzeinrichtung wirkt sich marginal auf die gesamte Umweltwirkung aus“ und
- „Die Herstellung der Vorprodukte für die passive Schutzeinrichtung wirkt sich am stärksten auf die gesamte Umweltwirkung aus“

können ebenfalls bestätigt werden.

Von größter Bedeutung im Errichtungsprozess des eHighway-Systems ist der Energieeinsatz der Baustellenfahrzeuge. Für die passive Schutzeinrichtung werden hierbei die Hälfte der Umweltwirkungen der Errichtung der neuen Schutzeinrichtung zugerechnet, die andere Hälfte der Umweltwirkungen entfällt auf den Abriss der vorherigen Schutzeinrichtung und kann vernachlässigt werden.

Im Verhältnis zu allen Vorketten der autobahnseitigen Oberleitungs-Infrastruktur sowie der passiven Schutzeinrichtung, spielt der Transport im Rahmen der zweiten Lebenszyklusphase eine untergeordnete Rolle. Die Transportprozesse der Komponenten der passiven Schutzeinrichtung wirken sich nur marginal auf die gesamte Umweltwirkung aus und wurden modelliert von der Produktionsstätte zur Pilotanlage in Abhängigkeit von Distanz und Komponentengewicht.

Die Herstellung der Vorprodukte für die passive Schutzeinrichtung wirkt sich am stärksten auf die Umweltbilanz aus. Während in der Produktionsphase für die passive Schutzeinrichtung hohe Treibhausgas-Emissionen auftreten, ändert sich die Umweltwirkung der passiven Schutzeinrichtung in der Nutzenphase dagegen nicht.

### 3.6.8 Bewertung des Betriebskonzepts

*Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methoden und die Ergebnisse zu den Forschungshypothesen zur Bewertung des Betriebskonzepts vorgestellt.*

#### 3.6.8.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden

Im Projekt ELISA wird der Anlagenbetrieb durch die Autobahn GmbH des Bundes übernommen. Ferner ist die Autobahn GmbH auch für den Betrieb der Straßeninfrastruktur des deutschen Autobahnnetzes zuständig. Die Überwachung und Steuerung der hessischen Verkehrstelematikanlagen erfolgt im 24/7-Betrieb mit durch Operatoren besetzten Kontrollzentrum der Verkehrszentrale Deutschland. Auf diese Infrastruktur wurde beim Aufbau des Anlagenbetriebs der Oberleitungsanlage zurückgegriffen. Die Rollen des Straßeninfrastrukturbetreibers und des Oberleitungsinfrastrukturbetreibers liegen also im Fall von ELISA in einer Hand. Die organisatorische und teils auch räumliche Nähe des Oberleitungsbetriebspersonals zu den verschiedenen, in den Straßenbetrieb eingebundenen Stellen birgt Vorteile im Hinblick auf eine schnelle und unkomplizierte Abstimmung zwischen Autobahnbetrieb, Verkehrsbehörde, Autobahnmeisterei/Straßenbetriebsdienst, Verwaltung von Bauwerken/Autobahnausstattung und dem Betriebspersonal der ELISA-Versuchsanlage

Die Erfahrungen im Laufe des Forschungsbetriebs, die auf diesen Umstand zurückzuführen sind, liegen der Evaluation des 24/7-Betriebsmodus zu Grunde.

#### 3.6.8.2 Untersuchte Hypothesen

Die in Tabelle 34 dargelegten Hypothesen liegen der Untersuchung der Bewertung des Betriebskonzepts zu Grunde:

**Tabelle 34: Hypothesenübersicht zur Bewertung des Betriebskonzepts**

| Nr.   | Hypothese                                                                                        | Ergebnis |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| F4a-1 | Ein großflächiger Ausbau der eHighway-Technologie erfordert eine Anpassung des Betriebskonzepts. | Offen    |
| F4a-2 | Das gewählte Betriebskonzept ist übertragbar auf andere Verkehrszentralen.                       | Offen    |

#### 3.6.8.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Ein Alleinstellungsmerkmal des ELISA-Projekts ist es, dass mit der Autobahn GmbH des Bundes dieselbe Instanz in der Rolle sowohl des Straßen-, als auch des Anlageninfrastrukturbetreibers ist. Darauf fußt das Betriebskonzept, das auf der bestehenden Infrastruktur und den technischen wie personellen Kapazitäten der Verkehrszentrale Deutschland aufbaut. Wie beschrieben, lässt sich der Betrieb des beidseitig 5 km langen Streckenabschnitts der ELISA-Versuchsanlage mit einem geringen zusätzlichen Aufwand in die Verkehrszentrale integrieren. Bei einem großflächigen Ausbau der Technologie und einer damit einhergehenden Unterteilung der

Oberleitungsinfrastruktur in mehrere Streckenabschnitte, ist das bestehende Betriebskonzept jedoch anzupassen. Denkbar ist, dass zu diesem Zweck verschiedene Teams definiert werden, die jeweils für den Betrieb einer gewissen Anzahl an elektrifizierten Streckenabschnitten im jeweiligen örtlichen Umfeld zuständig sind. In diesem Rahmen ist im weiteren Verlauf des Feldversuchs zu untersuchen, inwiefern das ELISA-Betriebskonzept auf andere Verkehrszentralen übertragbar ist und ob auf Grundlage der jeweils vorhandenen Leitstelleninfrastruktur in diesen ein Markthochlauf der Oberleitungstechnologie durchführbar ist, bzw. wie hoch der Bedarf an zusätzlicher Infrastruktur für einen solchen Markthochlauf ist.

### 3.7 Ergebnisse aus Sicht des Straßenbetriebsdienstes

*Die nachfolgenden Ausführungen beschäftigen sich mit der Analyse des eHighway-Systems aus Sicht des Straßenbetriebsdienstes. Zu untersuchende Fragestellungen umfassen dabei arbeitsschutztechnische Belange im Zusammenhang mit Arbeiten in der Nähe zu spannungsführenden Teilen der Anlage, Einflüsse der Oberleitungsanlage auf die alltäglichen Prozesse des Straßenbetriebsdienstes, die Bewertung dieser Einflüsse hinsichtlich Arbeitsaufwand, Planungs- und Koordinationsaufwand, Geräteinvestitions- und Betriebskosten und Störungsanfälligkeit, sowie die Notwendigkeit von Prozessoptimierungen beim Straßenbetriebsdienst um eine maximale Verfügbarkeit von Oberleitungsanlagen zu gewährleisten, ohne die Arbeit der Betriebsdienste zu beeinträchtigen.*

*Hierzu gehört auch die Klärung einiger Sachverhalte, die bereits vor Inbetriebnahme der Anlage abgeschlossen sein mussten. Hierzu zählen generelle Fragestellungen zu Auswirkungen der stromführenden Oberleitungsanlage auf das Umfeld neben, über und unter der Fahrleitung (z. B. Definition von Schutzräumen) im Zusammenhang mit den Arbeiten des Straßenbetriebsdienstes, sowie ein Herausarbeiten der konkreten Arbeitsprozesse, bei denen eine Auswirkung der Oberleitungsanlage auf den Straßenbetriebsdienst zu erwarten ist. Daraus folgend soll eine Risikobewertung erfolgen und gegebenenfalls ein Anpassungsbedarf der Arbeitsschutzvorgaben definiert werden.*

#### 3.7.1 Einflüsse auf Unterhaltungsmaßnahmen aus arbeitstechnischer Sicht

*Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methoden und die Ergebnisse zu den Hypothesen zur Untersuchung der Einflüsse des eHighway-Systems auf Unterhaltungsmaßnahmen aus arbeitstechnischer Sicht vorgestellt.*

##### 3.7.1.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden

Die Bewertung der Einflüsse auf Unterhaltungsmaßnahmen aus arbeitstechnischer Sicht wurde durch Beobachtungen und Experteninterviews durchgeführt. Hierbei wurden verschiedenste Tätigkeiten der Autobahnmeisterei Darmstadt und von Drittfirmen begleitet und Beschäftigte in Arbeitspausen befragt.

Hierbei werden drei Bereiche definiert: Unterhaltungsmaßnahmen, die die Verkehrssicherheit und die Funktionalität des eHighway-Systems gewährleisten (anlagenbedingt); Unterhaltungsmaßnahmen, die auch ohne eHighway durchgeführt werden müssen, aber aufgrund der Positionierung im Querschnitt zwangsläufig in Konflikt mit dem eHighway geraten (anlagenbeeinflusst); und Unterhaltungsmaßnahmen, die durch eine Veränderung der infrastrukturellen Randbedingungen des eHighway-Systems entstehen (anlagenresultierend).

##### 3.7.1.2 Untersuchte Hypothesen

Die in Tabelle 35 dargelegten Hypothesen liegen der Untersuchung der Einflüsse auf Unterhaltungsmaßnahmen aus arbeitstechnischer Sicht zu Grunde:

**Tabelle 35: Hypothesenübersicht zu Einflüssen auf Unterhaltungsmaßnahmen**

| Nr.   | Hypothese                                                                                                               | Ergebnis  |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| G1a-1 | Der eHighway führt nicht zu zusätzlichen Unterhaltungsmaßnahmen (anlagenbedingt).                                       | Widerlegt |
| G1a-2 | Der eHighway beeinflusst keine Unterhaltungsmaßnahmen (anlagenbeeinflusst).                                             | Widerlegt |
| G1a-3 | Aus den infrastrukturellen Randbedingungen des eHighway resultieren keine Unterhaltungsmaßnahmen (anlagenresultierend). | Widerlegt |
| G1a-4 | Gefährdungen bei Unterhaltungsmaßnahmen durch den eHighway sind als gering einzustufen.                                 | Bestätigt |
| G1a-5 | Die Wahrscheinlichkeit einer Beschädigung des eHighway durch Unterhaltungsmaßnahmen ist als gering einzustufen.         | Bestätigt |

### 3.7.1.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Nur ein geringes Maß an Unterhaltungsmaßnahmen ist anlagenbedingt. Eine Beeinflussung durch den eHighway (z. B. Masten) findet bei der Gehölz- und Grünpflege statt. Sie erweitern bisherige Tätigkeitsfelder und verkomplizieren bisherige Arbeitsweisen. Eine schwerwiegende Beeinflussung erfolgt hauptsächlich bei der Grünpflege durch eine Unterbrechung der Arbeiten an jedem Mast, da der Mähkopfausleger aus dem Seitenraum herausgehoben und nach dem Mast wieder in den Seitenraum hineingehoben werden muss. Bei der Gehölzpflege sorgt der Abstand zwischen Baumreihe und eHighway, der geringer ist als der Abstand zwischen Baumreihe und Fahrbahn, zu einer Erhöhung des Leistungsturnus, so dass hier signifikante Aufwände entstehen können. Zusätzlich beeinflussen die Änderung der infrastrukturellen Randbedingungen bzw. das Fahrzeugrückhaltesystem die Arbeiten. Sie ist für neue Tätigkeiten (z. B. Reinigen der Durchlässe) verantwortlich und beeinflusst zusätzlich in hohem Maße die anlagenbedingten und anlagenbeeinflussten Unterhaltungsmaßnahmen. Bei jeder Tätigkeit im Seitenraum muss der Umgang mit dem Fahrzeugrückhaltesystem eingeplant werden, um die eigentliche Tätigkeit auszuführen.

Im Allgemeinen können Gefährdungen für Beschäftigte entweder durch die sehr geringe Eintrittswahrscheinlichkeit (unsachgemäße Bedienung von Arbeitsmitteln, so dass mechanische oder elektrische Gefährdungen eintreten) oder durch die geringe Schwere des Schadens (bspw. durch das Übersteigen des Fahrzeugrückhaltesystems) als gering bewertet werden. Das gleiche Prinzip trifft auch für Beschädigung des eHighway-Systems zu, die nur durch unsachgemäße Bedienung von Arbeitsmitteln entstehen kann und zur Beschädigung von Masten oder Erdungskabeln führen kann, so dass diese als gering bewertet werden.

Nach aktuellem Stand ist die ELISA-Versuchsanlage mit Mehraufwänden für die AM Darmstadt verbunden. Eine frühzeitige Einbindung der Verantwortlichen für den Straßenbetriebsdienst in

die Vorplanung zukünftiger eHighway-Abschnitte ist sinnvoll. Im Falle des Projekts ELISA waren Randbedingungen vorhanden, die einen Mehraufwand für die Mitarbeiter des Straßenbetriebsdienstes nach sich ziehen.

Ein Beispiel soll hier beschrieben werden: Die Ausführung der passiven Schutzeinrichtung (auch Fahrzeurückhaltesystem) war durch die vorhandenen Randbedingungen (bauliche Einschränkungen, vorhandene Leitungstrassen von Dritten) nur in Form einer Betongleitwand möglich. Somit ergibt sich ein Mehraufwand für die Mitarbeiter des Straßenbetriebsdienstes etwa beim Reinigen der Entwässerungseinrichtungen in dieser Betongleitwand.

Für eine evtl. netzweite Ausstattung von Strecken mit Oberleitungsanlagen sollten aus Sicht des Straßenbetriebsdienstes folgende Punkte bereits bei der Planung beachtet werden:

- Die erste Baumreihe soll sich in einem ausreichend großen Abstand zur Anlage bzw. zu den Masten befinden, um den Turnus einer notwendigen Gehölzpflege zur Gewährleistung der Sicherheit der Anlage und die damit verbundenen erhöhten Kosten auf ein Minimum zu reduzieren.
- Die Masten sollen vom Fahrzeurückhaltesystem so weit entfernt aufgestellt werden, dass der Mähkopf schadensfrei zwischen passiver Schutzeinrichtung und Mast geführt werden kann. Der Straßenbetriebsdienst kann mit entsprechend schmalen Mähköpfen bzw. anderen Mähgeräten (z. B. ferngesteuerte Mähroboter) ausgestattet werden (hierbei muss jedoch eine gesonderte Betrachtung z.B. hinsichtlich der Effizienz aufgrund der schmalen Mähbreite stattfinden).
- Um Arbeiten zu erleichtern, sollte eine Übersteigbarkeit bzw. Durchlässigkeit des Fahrzeurückhaltesystems geschaffen werden, um die Erreichbarkeit des dahinterliegenden Bereiches für Beschäftigte zu erleichtern. Falls auch bei sorgfältiger Prüfung eine geringere Aufhaltstufe nach DIN EN 1317 [11] bzw. RPS [12] nicht möglich ist (i. d. R. weisen die meisten Fahrzeurückhaltesysteme mit geringerer Aufhaltstufe eine geringere Tiefe und Höhe auf), könnten integrierte Stufen in der vorhandenen Schutzeinrichtung angelegt werden.

### **3.7.2 Akzeptanz auf Seiten des Straßenbetriebsdienstes**

*Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methoden und die Ergebnisse zu den Forschungshypothesen zur Akzeptanz auf Seiten des Straßenbetriebsdienstes vorgestellt.*

#### **3.7.2.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden**

Zur Einschätzung der Akzeptanz der Beschäftigten und zu möglichen Beeinträchtigungen und Gefährdungen durch die ELISA-Versuchsanlage oder anderen Elementen wurden teilstandardisierte Experteninterviews durchgeführt. Dieses Verfahren wurde aufgrund der kleinen Stichprobe und der Möglichkeit, mehr Informationen durch dieses Verfahren zu generieren, gewählt. Die Interviews fanden i. d. R. in Arbeitspausen an der ELISA-Versuchsanlage, auf dem Meistereigelände oder im Fahrzeug statt. Es wurden insgesamt mehr

als 16 Interviews mit Kolonnenführern, Streckenwärtern, Fahrern von Absicherungsfahrzeugen mit fahrbaren Absperrtafeln (FAT) und Vorwarnern sowie weiteren Beschäftigten der Meisterei und Dritter durchgeführt. Folgende Themen wurden in den Interviews angesprochen, wobei bei den Themen zur Förderung des fachlichen Gesprächs auf die Aussagen der Experten eingegangen wurde:

- Relevanz der Tätigkeit vor und nach dem Bau der ELISA-Versuchsanlage und daraus resultierende Mehraufwände im Hinblick auf die konkreten Elemente (z. B. Fahrdrähte, Masten, passive Schutzeinrichtung),
- Beeinträchtigung der gewöhnlichen Arbeitsweise im Hinblick auf die konkreten Elemente,
- Sicherheitsgefühl bzw. Sicherheitsbedenken für die persönliche Unversehrtheit in Bezug auf konkrete Elemente,
- Akzeptanz für das Projekt und der resultierenden Mehraufwände,
- Mehraufwände und Beeinträchtigungen weiterer Tätigkeiten,
- Weitere Konfliktpunkte in Bezug auf Straßenraumelemente bzw. ELISA-Versuchsanlage.

### 3.7.2.2 Untersuchte Hypothesen

Die in Tabelle 36 dargelegten Hypothesen liegen der Untersuchung der Akzeptanz auf Seiten der Straßenbetriebsdienste zu Grunde:

Tabelle 36: Hypothesenübersicht zur Akzeptanz auf Seiten des Straßenbetriebsdienstes

| Nr.   | Hypothese                                                                                                      | Ergebnis |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| G5a-1 | Aufgrund neu entstehender Leistungsbereiche sinkt die Akzeptanz aus Sicht der Straßenbetriebsdienste.          | Offen    |
| G5a-2 | Aufgrund von Anpassung bestehender Leistungsbereiche sinkt die Akzeptanz aus Sicht der Straßenbetriebsdienste. | Offen    |

### 3.7.2.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

In den Interviews mit den Beschäftigten der AM Darmstadt zeigte sich eine anfängliche Skepsis des Personals im Straßenbetriebsdienst bzgl. der ELISA-Versuchsanlage. Nach ausführlicher Aufklärung über die Hintergründe des Projekts konnten die Bedenken zum Ausführen der Arbeiten im Bereich der Anlage jedoch ausgeräumt werden. Zwar entstehen durch den Bau und Betrieb des eHigways zusätzliche Leistungsbereiche, z.B. die Sichtkontrolle der ELISA-Versuchsanlage. Dies hat jedoch keine negativen Auswirkungen auf die Durchführung von bereits bestehenden Leistungsbereichen, weshalb Rückschlüsse auf die Akzeptanz nicht gezogen werden können. Aus diesem Grund werden die Hypothesen für den Schlussbericht noch einmal neu bewertet bzw. definiert. Generell jedoch wird deutlich, dass ein frühzeitiges Einbeziehen aller Beteiligten notwendig ist, um in Zukunft möglichst früh Bedenken gegenüber einer solcher Anlage auszuräumen.





### 3.8 Ergebnisse aus Sicht der Gesellschaft

*Die nachfolgenden Ausführungen beschäftigen sich mit der Analyse des eHighway-Systems aus Sicht der Gesellschaft. Fokussiert werden dabei unter anderem die Einflüsse des eHighway-Systems auf Arbeitsstellen kürzerer/längerer Dauer sowie auf Großraum- und Schwerlasttransporte. Es folgen Untersuchungen zur Zuverlässigkeit des Gesamtsystems „eHighway“. Im weiteren Verlauf wird die Nachnutzung der ELISA-Teststrecke evaluiert. Die Ausführungen schließen mit den zentralen Ergebnissen zu aktorspezifischen Fragestellungen aus Sicht der Gesellschaft: Die Akzeptanz auf Seiten der Verkehrsteilnehmenden sowie der Öffentlichkeit.*

#### 3.8.1 Einflüsse auf Arbeitsstellen kürzerer/längerer Dauer

*Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methoden und die Ergebnisse zu den Hypothesen zur Untersuchung der Einflüsse des eHighway-Systems auf Arbeitsstellen kürzerer/längerer Dauer vorgestellt.*

##### 3.8.1.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden

Für die Untersuchungen zu den Arbeitsstellen auf dem ELISA-Streckenabschnitt wird auf verfügbare Daten zugegriffen, da für Arbeitsstellen im öffentlichen Verkehrsraum im Vorfeld Genehmigungen eingeholt werden müssen und somit eine Dokumentation vorhanden ist. Vor der Errichtung des eHighway-Systems wurden Abstimmungsgespräche mit den betroffenen Einrichtungen geführt, um mögliche Änderungen oder Ergänzungen bei den Genehmigungsverfahren identifizieren zu können.

Bei der Analyse der Einflüsse auf die Arbeitsstellen kürzerer/längerer Dauer ist es weiterhin wichtig, zunächst die nachfolgenden Grundlagen zur Sicherung von Arbeitsstellen und die damit verbundenen Begrifflichkeiten auf deutschen Straßen zu betrachten.

Die Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA) [13] enthalten u. a. Regelpläne für die Absicherung von typischen Arbeitsstellensituationen. Es besteht eine generelle Verkehrssicherungspflicht für Arbeitsstellen auf Autobahnen. Da die in den RSA abgebildeten Regelpläne nicht alle grundlegenden Arbeitsstellensituationen abdecken, die auf den hochbelasteten hessischen Autobahnen relevant sind, wie z. B. Arbeitsstellen im Bereich von Streckenbeeinflussungsanlagen, wurden für alle relevanten Fälle typisierte Verkehrszeichenpläne erstellt. Diese typisierten Verkehrszeichenpläne sind Grundlage für die Autobahnmeistereien sowie für alle Unternehmen, die Arbeiten auf der Autobahn durchführen. Zu jedem typisierten Verkehrszeichenplan wurden auch Phasenpläne zum Auf- und Abbau von Arbeitsstellen kürzerer Dauer (AkD) entwickelt und im Hessischen Verkehrszeichenplan-Katalog für Arbeitsstellen kürzerer Dauer (HE VZP-Katalog für AkD) zusammengefasst. [14] Unter AkD fallen sämtliche Arbeitsstellen, die nur über eine begrenzte Stundenzahl, in der Regel während der Tageshelligkeit eines Kalendertages, bestehen, auch wenn die Arbeiten an den folgenden Tagen fortgesetzt werden.

Gleichzeitig wurden Phasenpläne zum Auf- und Abbau von Arbeitsstellen längerer Dauer (AID) entwickelt und im Hessischen Verkehrszeichenplan-Katalog zusammengefasst. [15] Dabei werden unter Arbeitsstellen längerer Dauer alle Arbeitsstellen verstanden, die mindestens einen Kalendertag durchgehend und ortsfest aufrechterhalten werden.

Beide Kataloge sind auf allen Autobahnen und Straßen von besonderer Verkehrsbedeutung in Hessen anzuwenden. Arbeitsstellen kürzerer und längerer Dauer dürfen nur nach verkehrsrechtlicher Anordnung durch die zuständige Verkehrsbehörde, mit Angabe eines Verkehrszeichenplans, durchgeführt werden. Dies umfasst sowohl den typisierten Verkehrszeichenplan als auch alle dazugehörigen Phasenpläne zum Auf- und Abbau der Arbeitsstelle.

### 3.8.1.2 Untersuchte Hypothesen

Die in Tabelle 37 dargelegten Hypothesen liegen der Untersuchung der Einflüsse des eHighway-Systems auf Arbeitsstellen kürzerer/längerer Dauer zu Grunde:

Tabelle 37: Hypothesenübersicht zu Einflüssen auf Arbeitsstellen kürzerer/längerer Dauer

| Nr.   | Hypothese                                                                                                 | Ergebnis |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| H1a-1 | Die Oberleitungstechnologie erhöht nicht den Abstimmungsaufwand bei Arbeitsstellen.                       | Offen    |
| H1a-2 | Die Oberleitungstechnologie beeinflusst nicht die Durchführung von Arbeiten im Rahmen von Arbeitsstellen. | Offen    |

### 3.8.1.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Die Hypothese H1a-1 („Die Oberleitungstechnologie erhöht den Abstimmungsaufwand bei Arbeitsstellen“) lässt sich noch nicht abschließend bewerten. Die ELISA-Anlage ist seit 07.05.2019 in Betrieb. Durch die in der Zeit ausgeführten Arbeiten und darüber hinaus auch im Jahr 2020 ist bislang kein gegenseitiger Einfluss auf die ELISA-Anlage, bzw. von der ELISA-Anlage ausgehend, erkannt worden. Aufgrund der geringen Verfügbarkeit von Daten zu Arbeitsstellen kann zum jetzigen Zeitpunkt jedoch noch keine Aussage zu der zu untersuchenden Hypothese gemacht werden.

Die Hypothese H1a-2 („Die Oberleitungstechnologie beeinflusst nicht die Durchführung von Arbeiten im Rahmen von Arbeitsstellen“) lässt sich noch nicht abschließend bewerten. Es gibt Einflüsse auf den Anlagenbetrieb aufgrund von Bauarbeiten im Bereich von Arbeitsstellen kürzerer Dauer im Bereich der ELISA-Anlage. Im Zeitraum von Betriebsstart vom 07.05.2019 bis zum 31.12.2020 gab es drei Ereignisse, die einen Einfluss auf den Betrieb der ELISA-Anlage hatten. Aufgrund der geringen Verfügbarkeit von Daten zu Arbeitsstellen kann zum jetzigen Zeitpunkt jedoch noch keine Aussage zu der zu untersuchenden Hypothese gemacht werden.

### 3.8.2 Einflüsse auf Großraum- und Schwerlasttransporte

*Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methoden und die Ergebnisse zu den Hypothesen zur Untersuchung der Einflüsse des eHighway-Systems auf Großraum- und Schwerlasttransporte vorgestellt.*

#### 3.8.2.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden

Für die Untersuchungen zu Großraum- und Schwerlasttransporten auf dem ELISA-Streckenabschnitt wird auf verfügbare Daten zugegriffen, da für die Durchführung von Großraum- und Schwerlasttransporten im Vorfeld Genehmigungen eingeholt werden müssen und somit eine Dokumentation vorhanden ist. Vor der Errichtung des eHighway-Systems wurden Abstimmungsgespräche mit den betroffenen Einrichtungen geführt, um mögliche Änderungen oder Ergänzungen bei den Genehmigungsverfahren identifizieren zu können. Darüber hinaus liegen der Evaluation der Auswirkungen von Oberleitungsanlagen auf die Durchführung von Großraumtransporten die Auswertungen des bisherigen Verlaufs des Forschungsbetriebs der ELISA-Versuchsanlage, die getroffenen Absprachen im Zusammenhang mit dem Anlagenbetrieb mit der Verkehrsbehörde sowie die Auswertung der Norm DIN VDE 0105-100 zum Betrieb von elektrischen Anlagen zugrunde. Weiterhin fließen die technischen Daten der Versuchsanlage – insbesondere in Bezug auf die Fahrdrabtmindesthöhe – in die Untersuchung ein.

#### 3.8.2.2 Untersuchte Hypothesen

Die in Tabelle 38 dargelegten Hypothesen liegen der Untersuchung der Einflüsse des eHighway-Systems auf Großraum- und Schwerlasttransporte zu Grunde:

**Tabelle 38: Hypothesenübersicht zu Einflüssen auf Großraum- und Schwerlasttransporten**

| Nr.   | Hypothese                                                                                                | Ergebnis  |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| H1b-1 | Die Oberleitungstechnologie erhöht nicht den Abstimmungsaufwand bei Großraum- und Schwerlasttransporten. | Offen     |
| H1b-2 | Die Oberleitungstechnologie beeinflusst nicht die Durchführung von Großraum- und Schwerlasttransporten.  | Offen     |
| H1b-3 | Die Durchführung von Großraumtransporten unter 4,50 m im Anlagenbereich ist grundsätzlich möglich.       | Bestätigt |
| H1b-4 | Die Anpassung der Prozesse zur Genehmigung von Großraumtransporten im Anlagenbereich ist möglich.        | Offen     |

#### 3.8.2.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Die Hypothese H1b-1 („Die Oberleitungstechnologie erhöht nicht den Abstimmungsaufwand bei Großraum- und Schwerlasttransporten“) lässt sich noch nicht abschließend bewerten. Aufgrund der geringen Verfügbarkeit von Daten zu durchgeführten Großraum- und Schwerlasttransporten lässt sich zum aktuellen Zeitpunkt keine abschließende Aussage zu der zu untersuchenden Hypothese treffen.

Die Hypothese H1b-2 („Die Oberleitungstechnologie beeinflusst nicht die Durchführung von Großraum- und Schwerlasttransporten“) lässt sich noch nicht abschließend bewerten. Entlang

des Streckenverlaufs der ELISA-Anlage auf der BAB 5 ist die Durchfahrtshöhe auf allen Fahrstreifen durch Brückenbauwerke auf 4,65m beschränkt. Durch die Oberleitung konnten bisher keine Einschränkungen bei der Durchführung von Großraumtransporten festgestellt werden. Aufgrund der geringen Verfügbarkeit von Daten zu durchgeführten Großraum- und Schwerlasttransporten lässt sich zum aktuellen Zeitpunkt jedoch noch keine abschließende Aussage zu der zu untersuchenden Hypothese treffen.

Die Hypothese H1b-3 („Die Durchführung von Großraumtransporten unter 4,50 m im Anlagenbereich ist grundsätzlich möglich“) lässt sich bestätigen. Im Verlaufe des bisherigen Forschungsbetriebs kam es zu keiner negativen Auswirkung von Großraumtransporten auf den Anlagenbetrieb. Die einzige Kollision mit der Oberleitung geht auf ein unsachgemäß gesichertes Kranfahrzeug zurück. Grundsätzlich ist die Durchführung von Großraumtransporten unter 4,50 m im Anlagenbereich also möglich.

Die Hypothese H1b-4 („Die Anpassung der Prozesse zur Genehmigung von Großraumtransporten im Anlagenbereich ist möglich“) lässt sich zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht abschließend beantworten. Die Durchführung von Großraumtransporten im Anlagenbereich ist grundsätzlich möglich. Im Zuge des Pilotbetriebs wurde jedoch in Absprachen mit der Verkehrsbehörde erörtert, dass der erste Fahrstreifen für Fahrzeuge mit Überhöhe zu sperren ist. Dies hat in erster Linie Auswirkungen auf Fahrzeuge, die im Anlagenbereich auf die Autobahn auffahren. Da im Falle der ELISA-Versuchsanlage die Tank- und Rastanlage Gräfenhausen die einzige Möglichkeit zur Auffahrt von Großraumtransporten im Anlagenbereich darstellt, wurden zunächst keine weiteren Schritte zur Anpassung der Prozesse zur Genehmigung von Großraumtransporten unternommen. Ein Markthochlauf der Technologie bedarf hier wahrscheinlich einer Anpassung.

### **3.8.3 Zuverlässigkeit des Gesamtsystems**

*Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methoden und die Ergebnisse zu den Hypothesen zur Zuverlässigkeit des Gesamtsystems vorgestellt.*

#### **3.8.3.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden**

Um die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems evaluieren zu können, wurden im ersten Schritt ein umfassendes Anlagenbetriebstagebuch entwickelt und die erfassten Betriebs- und Ausfallzeiten der Oberleitungsanlage systematisch ausgewertet. Hierzu wurden zunächst alle aufgezeichneten Betriebsunterbrechungen der Oberleitungsanlage auf Basis der Anlagendaten im Unterwerk Bornbruch erfasst. Anschließend wurden die Gründe der Betriebsunterbrechungen den jeweiligen Ausfallzeiten gegenübergestellt und kategorisiert, wodurch eine Auswertung der Betriebsunterbrechungen ermöglicht wird. Die bisherigen Analysen umfassen zunächst nur die Verfügbarkeit der Oberleitungsanlage, liefern jedoch bereits erste Hinweise zu den jeweiligen Forschungshypothesen bzgl. der Zuverlässigkeit der Oberleitungsanlage.

### 3.8.3.2 Untersuchte Hypothesen

Die in Tabelle 39 dargelegten Hypothesen liegen der Untersuchung der Zuverlässigkeit des Gesamtsystems zu Grunde:

**Tabelle 39: Hypothesenübersicht zur Zuverlässigkeit des Gesamtsystems**

| Nr.   | Hypothese                                                                                                                              | Ergebnis |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| H1c-1 | Die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems ist unabhängig von vorherrschenden Witterungsbedingungen.                                        | Offen    |
| H1c-2 | Die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems ist unabhängig von der Anzahl gleichzeitig strombeziehender Fahrzeuge auf einem Speiseabschnitt. | Offen    |
| H1c-3 | Die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems wird während der Projektlaufzeit gesteigert.                                                     | Offen    |
| H1c-4 | Die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems verbessert sich mit einem voranschreitenden Netzausbau.                                          | Offen    |

### 3.8.3.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

In Bezug auf den Zusammenhang zwischen dem Gesamtsystem und den vorherrschenden Witterungsbedingungen (Hypothese H1c-1, „Die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems ist unabhängig von vorherrschenden Witterungsbedingungen“) lassen sich einzelne Situationen aufzeigen, welche den Betrieb des Gesamtsystems zumindest teilweise einschränkten (erhöhte Temperatur im Unterwerk, Vereisung der Oberleitung, eingeschränkte Funktion der OH-Lkw). Wie diese Situationen im Kontext der Zuverlässigkeit zu bewerten sind, muss über weitere Analysen geprüft werden.

Inwieweit die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems von der Anzahl gleichzeitig strombeziehender Fahrzeuge auf einem Speiseabschnitt beeinflusst wird und inwieweit diese sich im Zuge der Projektlaufzeit verändert hat, lässt sich auf Grundlage der aktuellen Datenlage noch nicht ausreichend evaluieren (Hypothese H1c-2, „Die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems ist unabhängig von der Anzahl gleichzeitig strombeziehender Fahrzeuge auf einem Speiseabschnitt“). Hierzu sind zum einen eine erhöhte Anzahl an Fahrten von gleichzeitig strombeziehenden OH-Lkws erforderlich, welche bspw. durch geplante Forschungsfahrten generiert werden, zum anderen ist ein größerer Betrachtungszeitraum notwendig.

Die Untersuchungen zur Zuverlässigkeit des Gesamtsystems werden im aktuellen Betrachtungszeitraum fortgeführt. Neben der Betrachtung der Anlagenverfügbarkeit werden auch Analysen zur Energiebereitstellung der Anlage durchgeführt, um die Zuverlässigkeit beschreiben zu können. (Hypothesen H1c-3: „Die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems wird während der Projektlaufzeit gesteigert“ und H1c-4: „Die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems verbessert sich mit einem voranschreitenden Netzausbau“).

### 3.8.4 Nachnutzung Teststrecke

Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methoden und die Ergebnisse zu den Hypothesen zur Nachnutzung der Teststrecke vorgestellt.

#### 3.8.4.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden

Um die Auswertungen in Bezug auf die Nachnutzung der Teststrecke durchführen zu können, wurde im ersten Schritt das softwarebasierte Bewertungsmodell von Teilstrecken und Streckenelementen hinsichtlich ihres Ausstattungspotentials mit Oberleitungen (BeTSIE) [21] erweitert. Durch das weiterentwickelte Bewertungsmodell (BeTISE+) wird es ermöglicht, zusätzliche und vom Nutzer ausgewählte Streckenabschnitte zu analysieren. Auch die Analyse von möglichen Ausbaukonzepten wird durch die Nutzung von BeTSIE+ erfolgen.

#### 3.8.4.2 Untersuchte Hypothesen

Die in Tabelle 40 dargelegten Hypothesen liegen der Untersuchung der Nachnutzung der Teststrecke zu Grunde:

Tabelle 40: Hypothesenübersicht zur Nachnutzung der Teststrecke

| Nr.   | Hypothese                                                                                                                                    | Ergebnis  |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| H2a-1 | Eine Nachnutzung der ELISA-Teststrecke ist möglich.                                                                                          | Offen     |
| H2a-2 | Die ELISA-Teststrecke kann in ein Gesamtnetz integriert werden.                                                                              | Bestätigt |
| H2a-3 | Es sind verschiedene Möglichkeiten zur Nachnutzung der Teststrecke als verkehrsbezogenes Energieversorgungssystem vorhanden.                 | Offen     |
| H2a-4 | Es bestehen neben der Nutzung als verkehrsbezogenes Energieversorgungssystem weitere alternative Nutzungsmöglichkeiten des Systems eHighway. | Offen     |

#### 3.8.4.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Die bisher durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass das Nachfragepotenzial der BAB 5 insbesondere im Bereich von dem Reiskirchener Dreieck bis zur Landesgrenze zwischen Hessen und Baden-Württemberg größtenteils sehr hoch und somit durch den Ausbau der Teststrecke entlang der BAB 5 weitere Logistik-Standorte erreicht werden können. Weiterhin wurden bereits bei der Wahl der Lage der ELISA-Teststrecke wichtige Voraussetzungen für eine Nachnutzung geschaffen, da diese in einem Bereich liegt, welche ein hohes Ausstattungspotenzial und ein sehr hohes Nachfragepotenzial aufweist. (Hypothese H2a-1, „Eine Nachnutzung der ELISA-Teststrecke ist möglich“).

Die gute Lage der ELISA-Teststrecke verdeutlicht bereits, dass diese zielführend in ein Gesamtnetz integriert werden kann (Hypothese H2a-2, „Die ELISA-Teststrecke kann in ein Gesamtnetz integriert werden“). Bisher wurde jedoch nur die BAB 5 bzgl. des Ausstattungspotenzials und des Nachfragepotenzials untersucht. Für die Analyse zur Integrierbarkeit in ein Gesamtnetz werden zusätzliche Untersuchungen in einem größeren Betrachtungsraum im Zuge des Projektes noch durchgeführt.

Das neu entwickelte Bewertungsmodell BeTSIE+ schafft die Voraussetzung einer gezielten Analyse bzgl. der Entwicklung möglicher Ausbau- und Nachnutzungskonzepte für die Versuchsanlage und der Identifikation weiterer potentieller Nutzergruppen. Die Untersuchungen werden im aktuellen Betrachtungszeitraum fortgeführt, indem ein entsprechend größeres Verkehrsnetz analysiert wird, um die relevanten Ergebnisse zur Nachnutzung der Teststrecke ableiten zu können. (Hypothesen H2a-3 („Es sind verschiedene Möglichkeiten zur Nachnutzung der Teststrecke als verkehrsbezogenes Energieversorgungssystem vorhanden“) und H2a-4 („Es bestehen neben der Nutzung als verkehrsbezogenes Energieversorgungssystem weitere alternative Nutzungsmöglichkeiten des Systems eHighway“)).

### **3.8.5 Akzeptanz auf Seiten der Verkehrsteilnehmenden**

*Die Untersuchung der Akzeptanz auf Seiten der Verkehrsteilnehmenden bezieht sich im Folgenden auf Pkw-Fahrende und Lkw-Fahrende. Die Differenzierung erfolgte unter anderem unter der Annahme, dass neben persönlichen Eigenschaften wie dem Alter oder der Fahrerfahrung auf Fernstraßen, die Berufsgruppe oder auch das Fahrzeug selbst (bspw. Blickwinkel auf die Beschilderung) ausschlaggebend für ein unterschiedliches Meinungsbild bzgl. des eHighway-Systems sein können.*

#### **3.8.5.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden**

Die Untersuchung der Akzeptanz auf Seiten der Verkehrsteilnehmenden erfolgte anhand einer digital durchgeführten Personenbefragung getrennt für Pkw-Fahrer und Lkw-Fahrer im Zusammenhang mit einer Personenbefragung zum Fahrverhalten der Pkw-Fahrenden und Lkw-Fahrenden. Sie stellt eine Momentaufnahme der subjektiven Empfindungen zum eHighway dar. Dabei wurde sowohl die Einstellungsakzeptanz als auch die Verhaltensakzeptanz abgefragt.

#### **3.8.5.2 Untersuchte Hypothesen**

Die in Tabelle 41 dargelegten Hypothesen liegen der Untersuchung der Akzeptanz auf Seiten der Verkehrsteilnehmenden zu Grunde:

**Tabelle 41: Hypothesenübersicht Akzeptanz auf Seiten der Verkehrsteilnehmenden**

| Nr.   | Hypothese                                                                                                                                                               | Ergebnis  |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| H5a-1 | Verkehrsteilnehmende mit einer positiven Grundeinstellung gegenüber technischen Neuerungen haben auch eine positive Einstellung gegenüber dem ELISA-Feldversuch.        | Bestätigt |
| H5a-2 | Ein hoher Kenntnisstand über das eHighway-System und den ELISA-Feldversuch führt zu einer erhöhten Akzeptanz auf Seiten der Verkehrsteilnehmenden.                      | Bestätigt |
| H5a-3 | Selbst wenn Verkehrsteilnehmende Befürchtungen bzgl. des eHighway-Systems haben, wirkt sich dies nicht auf das spezifische Fahrverhalten auf dem Streckenabschnitt aus. | Offen     |
| H5a-4 | Verkehrsteilnehmende passen ihr Fahrverhalten nicht an, wenn sie einen OH-Lkw wahrnehmen.                                                                               | Bestätigt |
| H5a-5 | Ein beeinträchtigtes Sicherheitsempfinden der Verkehrsteilnehmenden auf dem Streckenabschnitt führt nicht zu einer angepassten Fahrverhaltensweise.                     | Bestätigt |
| H5a-6 | Die subjektiv empfundene Beanspruchung beim Lesen der Beschilderung infolge des eHighway erhöht sich für die Mehrheit der Verkehrsteilnehmenden nicht.                  | Bestätigt |

### 3.8.5.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Die Analyse der Akzeptanz auf Seiten der Verkehrsteilnehmenden im Rahmen des ELISA-Feldversuchs lässt zum derzeitigen Berichtszeitpunkt die folgenden Schlussfolgerungen zu:

Es konnte anhand der bisherigen Auswertungen der Personenbefragung gezeigt werden, dass Verkehrsteilnehmende mit einer positiven Grundeinstellung gegenüber technischen Neuerungen grundsätzlich eine positive Einstellung gegenüber dem ELISA-Feldversuch haben (Hypothese H5a-1, „Verkehrsteilnehmende mit einer positiven Grundeinstellung gegenüber technischen Neuerungen haben auch eine positive Einstellung gegenüber dem ELISA-Feldversuch“). Eine leicht erkennbare Diskrepanz zwischen der Grundeinstellung gegenüber technischen Neuerungen und Elektromobilität und der Grundeinstellung gegenüber dem eHighway-System und dem Feldversuch kann unter anderem an dem zum derzeitigen Zeitpunkt relativ geringen Kenntnisstand über das eHighway-System und dem ELISA-Feldversuch bei den Teilnehmenden liegen.

Allgemein ist festzustellen, dass die Verkehrsteilnehmenden die ELISA-Versuchsanlage umso mehr als sinnvoller ansehen, je mehr Informationen sie bereits über das eHighway-System und/oder die ELISA-Versuchsanlage erlangt haben (Hypothese H5a-2, „Ein hoher Kenntnisstand über das eHighway-System und den ELISA-Feldversuch führt zu einer erhöhten Akzeptanz auf Seiten der Verkehrsteilnehmenden“). Dabei wird deutlich, dass Personen einen größeren Kenntnisstand besitzen, je näher sie im Umfeld der ELISA-Versuchsanlage leben. Personen – insb. aus den neuen Bundesländern – hingegen, fühlen sich weniger gut über das System und den Feldversuch informiert, was sich auch in der spezifischen Akzeptanz widerspiegelt. Ein hoher Kenntnisstand über das eHighway-System und den ELISA-Feldversuch führt folglich zu einer erhöhten Akzeptanz auf Seiten der Verkehrsteilnehmenden.



Die Notwendigkeit einer vermehrten Informationsweitergabe durch Medien wie Zeitung, Rundfunk oder auch Social Media konnte ebenso dargestellt werden. Dies sollte als Anlass dienen, nicht nur im Einzugsgebiet der Versuchsanlagen über das System und die Feldversuche zu berichten, sondern System und Projekte auch überregional publik zu machen. Eine verbesserte und flächendeckende Akzeptanz ist folglich denkbar.

Mit Hilfe der bisherigen Analysen konnte zudem aufgezeigt werden, dass Verkehrsteilnehmende zwar Befürchtungen bzgl. des eHighway-Systems haben, diese sich jedoch nur gering auf das spezifische Fahrverhalten auf dem Streckenabschnitt auswirken (Hypothese H5a-3, „Selbst wenn Verkehrsteilnehmende Befürchtungen bzgl. des eHighway-Systems haben, wirkt sich dies nicht auf das spezifische Fahrverhalten auf dem Streckenabschnitt aus“). Erkennbar ist, dass Veränderungen im Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmenden (Verhaltensakzeptanz) nicht aus Ängsten oder Befürchtungen resultieren, sondern viel mehr aus der Neugier (Hypothese H5a-4, „Verkehrsteilnehmende passen ihr Fahrverhalten nicht an, wenn sie einen OH-Lkw wahrnehmen“). So verändern die Verkehrsteilnehmenden ihr persönliches Geschwindigkeitsverhalten, um sich die Oberleitungsinfrastruktur genauer anzusehen und um nach OH-Lkw Ausschau zu halten. Der Einfluss auf den Verkehrsablauf (bspw. auf die mittleren Geschwindigkeiten) ist nach bisherigem Kenntnisstand als vernachlässigbar anzusehen. Diese ist in den folgenden Projektmonaten insbesondere fahstreifenspezifisch weiter zu untersuchen. In diesem Zusammenhang konnte auch eine veränderte Fahrverhaltensweise der Verkehrsteilnehmenden infolge einer subjektiv empfundenen Beanspruchung beim Lesen der Beschilderung nicht festgestellt werden.

So bleibt festzuhalten, dass das eHighway-System von der Mehrheit der Verkehrsteilnehmenden akzeptiert wird (Einstellungsakzeptanz) und auch keine wesentlichen Veränderungen im Fahrverhalten (Verhaltensakzeptanz) und folglich auf den Verkehrsablauf identifiziert wurden.

### **3.8.6 Akzeptanz auf Seiten der Öffentlichkeit**

*Im Folgenden werden das Vorgehen, die Methoden und die Ergebnisse zu den Hypothesen zur Akzeptanz auf Seiten der Öffentlichkeit vorgestellt.*

#### **3.8.6.1 Grundlagen und Untersuchungsmethoden**

Für die Untersuchung der Akzeptanz des eHighway-Systems auf Seiten der Öffentlichkeit wurde ein vierstufiges Verfahren erarbeitet. Beginnend mit einer explorativen Studie mündet dieses Verfahren in einer Durchführung einer standardisierten Befragung. Die einzelnen Schritte sind: Durchführung einer Google Trend Analyse, gefolgt von einer Durchführung einer Leitmedienanalyse, ergänzt durch die Analyse von dem Projekt zugegangener Bürger- und Presseanfragen. Die aus den drei Teilschritten abgeleiteten Erkenntnisse bilden schlussendlich Grundlage einer durchzuführenden Befragung, dessen Ergebnisse Bestandteil des Abschlussberichts darstellen werden.

### 3.8.6.2 Untersuchte Hypothesen

Die in Tabelle 42 dargelegten Hypothesen liegen der Untersuchung der Akzeptanz auf Seiten der Öffentlichkeit zu Grunde:

**Tabelle 42: Hypothesenübersicht zur Akzeptanz auf Seiten der Öffentlichkeit**

| Nr.   | Hypothese                                                                                                                                                     | Ergebnis  |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| H5c-1 | Die Wahrnehmung der eHighway-Technologie bzw. des ELISA-Feldversuchs ist abhängig von besonderen Ereignissen im Verlauf des Projekts.                         | Bestätigt |
| H5c-2 | Die Betroffenheit eines Individuums vom eHighway-System beeinflusst die Akzeptanz.                                                                            | Bestätigt |
| H5c-3 | Die Berichterstattung der Presse über die Oberleitungs-Technologie (bzw. ELISA) wirkt sich auf die Akzeptanz der Öffentlichkeit aus.                          | Verworfen |
| H5c-4 | Die Wahrnehmung der Oberleitungs-Technologie in der Öffentlichkeit ändert sich während der Projektlaufzeit.                                                   | Bestätigt |
| H5c-5 | Der Kenntnisstand der Öffentlichkeit zum Zweck des ELISA-Feldversuchs beeinflusst das Meinungsbild der Öffentlichkeit gegenüber der Oberleitungs-Technologie. | Offen     |
| H5c-6 | Das eHighway-System wird von der Gesellschaft akzeptiert.                                                                                                     | Offen     |

### 3.8.6.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen

Die Hypothese H5c-1 („Die Wahrnehmung der eHighway-Technologie bzw. des ELISA-Feldversuchs ist abhängig von besonderen Ereignissen im Verlauf des Projekts“) kann bestätigt werden. Auf Basis einer durchgeführten Google Trend Analyse, bekräftigt durch die Analyse dem Projekt zugänglicher Bürger- und Presseanfragen, lässt sich aufzeigen, dass das Aufkommen solcher Anfragen bzw. eine Zunahme der Wahrnehmung am Projekt und der eHighway-Technologie mit dem Aufkommen besonderer Ereignisse korreliert. Je öffentlich-wirksamer das Ereignis ist, desto mehr Wahrnehmung ziehen Projekt und eHighway-Technologie auf sich.

Die Hypothese H5c-2 („Die Betroffenheit eines Individuums vom eHighway-System beeinflusst die Akzeptanz“) lässt sich ebenfalls bestätigen. Die Auswertung der durchgeführten Google Trend Analyse nach geographischen Gesichtspunkten zeigt klar auf, dass insbesondere in solchen Regionen, in denen ein eHighway-Feldversuch stattfindet, zu einer Zunahme der Wahrnehmung der eHighway-Projekte und -Technologie in der Gesellschaft führt. Die Durchführung einer Leitmedienanalyse ließ ähnliches erkennen: Berichtete das Darmstädter Echo als eine der im Umland der ELISA-Teststrecke regional führenden Zeitungen vergleichsweise regelmäßig zum eHighway, so nimmt die Berichterstattung mit abnehmender Betroffenheit ebenfalls ab.

Die geringe Anzahl an Zeitungsberichten zum eHighway lässt eine Inhaltsanalyse der vorliegenden Artikel als Instrument der empirischen Sozialforschung nicht hinreichend zu. Eine Weiterführung der Leitmedienanalyse über die angegebenen Erhebungszeiträume wird nicht erfolgen. Die Hypothese H5c-3 („Die Berichterstattung der Presse über die Oberleitungs-Technologie (bzw. ELISA) wirkt sich auf die Akzeptanz der Öffentlichkeit aus“) wird entsprechend verworfen.

Die größte Aufmerksamkeit in Deutschland zur eHighway-Technologie lag auf Basis der durchgeführten Google Trend Analyse zum Begriff „eHighway“ im Verlauf des Jahres 2018 – der öffentlich sichtbaren Bauphase der ELISA-Versuchsstrecke – vor. Weitere, zwischenzeitliche lokale Maxima in der Wahrnehmung der eHighway-Technologie ließen sich feststellen. Beispielsweise führte die offizielle Bekanntgabe der Erweiterung der ELISA-Teststrecke um zusätzliche sieben Kilometer zu einem temporären Interessenzuwachs. Auch die Untersuchung der Bürger- und Presseanfragen, welche in regelmäßigen Abständen bei der Projektsteuerung eingehen, lassen weitere Rückschlüsse zu. Das Aufkommen dieser über die Zeit korreliert mit der Entwicklung, die durch die Google Trend Analyse bereits aufgezeigt werden konnte. Das größte Aufkommen an Anfragen wurde im Verlauf der Bauphase der ELISA-Teststrecke in 2018 festgestellt. Das Aufkommen ist – mit Ausnahmen – seitdem rückläufig und pendelt sich auf dem Niveau von etwa einer Anfrage je Monat ein – ähnlich, wie die Entwicklung, die sich auf Basis der Google Trend Analyse abzeichnet. Die Hypothese H5c-4 („Die Wahrnehmung der Oberleitungs-Technologie in der Öffentlichkeit ändert sich während der Projektlaufzeit“) kann entsprechend bestätigt werden.

Eine Beantwortung der Hypothese H5c-5 („Der Kenntnisstand der Öffentlichkeit zum Zweck des ELISA-Feldversuchs beeinflusst das Meinungsbild der Öffentlichkeit gegenüber der Oberleitungs-Technologie“) steht zum derzeitigen Berichtszeitpunkt noch aus. Bisher lassen sich dennoch verschiedene Themenschwerpunkte identifizieren, welche in der Öffentlichkeit von besonderem Interesse sind. Maßgeblich ist hierbei der Projektfortschritt, die Funktion des Projekts, die Anzahl der eingesetzten Fahrzeuge und der Zeitpunkt der Verfügbarkeit von Ergebnissen. Inwieweit der Kenntnisstand der Öffentlichkeit im Allgemeinen Auswirkungen auf die Akzeptanz hat, wird im Rahmen einer standardisierten Befragung abschließend untersucht.

Die Hypothese H5c-6 („Das eHighway-System wird von der Gesellschaft akzeptiert“) ist derzeit Gegenstand der Untersuchungen und lässt sich erst zum Abschluss des Projekts beantworten.

## 4 ZUSÄTZLICH GENERIERTE PROJEKTERGEBNISSE

*Das ELISA-Projekt besitzt durch seine exponierte Lage im Rhein-Main Gebiet und durch die derzeitige Dieselproblematik (fehlende optionale, umweltschonende Antriebstechniken), sowie aufgrund der momentan stattfindenden Elektrifizierungs-Offensive ein hohes öffentliches Interesse. Bereits vor Beginn des Feldversuchs wurde ein erhöhtes Aufkommen an Bürger- und Presseanfragen zu dem Feldversuch, der eHighway-Technologie und den Erkenntnissen aus der begleitenden Forschung erwartet. Es wurde vermutet, dass sich viele Interessierte, jedoch auch einige Kritiker und Gegner zu Wort melden werden. Die Außendarstellung des Projekts und eine proaktive Kommunikation waren von Beginn an von hoher Bedeutung. Neben der Beantwortung von Bürger- und Presseanfragen oder dem Verfassen von Presstexten, war und ist es zentrale Aufgabe von ELISA, die allgemeine Öffentlichkeit sowie nationales und internationales Fachpublikum über den Fortschritt des Feldversuchs und die resultierenden Ergebnisse zu informieren. Neben den Aktivitäten, die im Rahmen des ELISA-Feldversuchs unternommen werden, sind des Weiteren auch feldversuchsübergreifende Aktivitäten von besonderer Relevanz. Die nachfolgenden Ausführungen zeigen ausschnittsweise besondere, zusätzlich generierte Projektergebnisse auf.*

### 4.1 Vernetzung mit anderen Feldversuchen

Die Vernetzung des ELISA-Feldversuchs mit den anderen Feldversuchen und Oberleitungsprojekten ist wesentliche Aufgabe des Informations- und Wissenstransfers, um die gegenseitigen Forschungsarbeiten effizient zu gestalten und die gewonnenen Erkenntnisse zu vertiefen und abzusichern. Insbesondere zur Methodik in der Akzeptanzforschung, in den ökologischen Untersuchungen und zu weiteren Themen ist eine feldversuchsübergreifende Abstimmung notwendig. Im Rahmen zahlreicher Arbeitstreffen in verschiedenen Arbeitsgruppen (AG Akzeptanz, AG Umwelt/Ökologie, AG Datenaustausch, AG Abrechnungssysteme, AG Technikbewertung Netz, AG Technikbewertung Fahrzeuge/Infrastruktur, AG Planung und Genehmigung, AG Internationalisierung) konnte ein kontinuierlicher Austausch zwischen den Oberleitungs-Forschenden gewährleistet werden. Neben arbeitsgruppenspezifischen Telefonkonferenzen, Vor-Ort-Zusammenkünften sowie der Ausrichtung einiger Workshops, etablierte sich des Weiteren unter anderem ein feldversuchsübergreifender Regeltermin im zweiwöchentlichen Turnus zum Erfahrungsaustausch erhobener Fahrzeugdaten unter Leitung von VW (bis Q1/2021, nach kurzer Unterbrechung übernommen und fortgesetzt von Scania). Einem regelmäßigen Austausch zwischen Projektbeteiligten der einzelnen Feldversuche ELISA, FESH sowie eWayBW konnte bis dahin Sorge getragen werden.

Seit März 2020 wird die Vernetzung mit anderen Feldversuchen maßgeblich durch die Auswirkungen und Einschränkungen in Folge der Corona-Pandemie geprägt. Trotz Kontakt- und Reisebeschränkungen war es dennoch möglich, den feldversuchsübergreifenden Austausch zwischen den eHighway-Forschenden durch Nutzung digitaler Veranstaltungsformate

erfolgreich aufrechtzuerhalten. Insbesondere die zweite Jahreshälfte 2020 wurde von einigen Arbeitsgruppen für intensive Rücksprachen genutzt.

## 4.2 Wiki eHighway

Um die Vernetzung des ELISA-Feldversuchs mit den anderen Feldversuchen und Oberleitungsprojekten zusätzlich zu fördern und um eine Plattform für den Informations- und Wissenstransfer bereitzustellen, wurde das sogenannte *Wiki eHighway* im Rahmen des Projekts ELISA erstellt. Das Wiki umfasst derzeit Informationen über die laufenden und abgeschlossenen Projekte rund um das Thema eHighway, wie bspw. die Projekte der jeweiligen Feldversuche und die feldversuchsübergreifenden Projekte, wie das Forschungs- und Dialogvorhaben StratES (Strategie für die Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs) [22], das Forschungsprojekt BOLD (Begleitforschung Oberleitungs-Lkw in Deutschland)[23] und andere. Zudem wurden die forschenden Institutionen aufgenommen, wodurch eine Vorstellung der jeweiligen Institutionen sowie die jeweilige Darstellung der Veröffentlichungen ermöglicht werden. Hauptschwerpunkt der Inhalte auf dem Wiki umfassen jedoch die Arbeitsgruppen, welche jeweils in Eigenregie die Inhalte in das Wiki einstellen und die jeweilige Seite pflegen können. Um die Bearbeitung des Wikis durch die jeweiligen Arbeitsgruppenleiter zu unterstützen, wurde am 21.07.2020 ein Wiki Workshop durchgeführt. Neben den Arbeitsgruppen sind auch die durchgeführten Vernetzungstreffen zum eHighway auf dem Wiki vorzufinden.

## 4.3 Besuchergruppen und Streckenbesichtigungen

Um den Feldversuch interessierten Bürgerinnen und Bürgern sowie dem nationalen und internationalen Fachpublikum zugänglich zu machen, ist ein weiterer Schwerpunkt im Rahmen des ELISA-Projekts die Durchführung von Streckenbesichtigungen und Betreuung von Besuchergruppen. Als ein wichtiger Arbeitsschritt zur institutionsübergreifenden, strukturierten Organisation und Durchführung von ELISA-Besuchen und -Streckenbesichtigungen wurde vom ELISA-Projektkonsortium zunächst ein modulares Besucherkonzept entworfen, abgestimmt und verabschiedet. Im gleichen Zuge wurde ein Standardprogramm für wissenschaftliche Besuchergruppen erarbeitet. In diesem Zusammenhang hervorzuheben sind insbesondere die durchgeführten Streckenbesichtigungen im Rahmen der 3rd Electric Road Systems Conference vom 7.-8. Mai 2019, die vom ELISA-Projekt maßgeblich verantwortet wurden. Neben der Durchführung von Streckenbesichtigungen wurde das Projekt ELISA mehreren Interessierten während des Berichtszeitraums vorgestellt.

Die Arbeiten zur Durchführung von Besichtigungen der Anlage von Besuchergruppen wurden seit März 2020 durch die Auswirkungen der Corona-Pandemie erheblich beeinträchtigt. Es konnten seitdem keine weiteren Besuchergruppen in Präsenz empfangen werden. Das Projekt ELISA konnte dennoch einigen Interessierten im Rahmen digital stattgefundener Veranstaltungen vorgestellt werden.

Grundsätzlich wurden das Projekt ELISA und berichtsfähige Inhalte in zahlreichen Präsentationen Interessierten aus sämtlichen Bereichen vorgestellt.

#### 4.4 Veröffentlichungen und Konferenzbeiträge

Zahlreiche Veröffentlichungen und Konferenzbeiträge konnten im Rahmen des ELISA-Projekts bereits generiert werden. Nachfolgende Ausführungen geben auszugsweise einen Überblick über die bisher angefertigten Beiträge (unvollständig). Die Tätigkeiten in Bezug zu Veröffentlichungen von Projektergebnissen können dabei untergliedert werden in Buchveröffentlichungen, Dissertationen, Veröffentlichungen in Fachzeitschriften, Konferenzbeiträge und -vorträge sowie projektinterne Berichte.

##### 4.4.1 Bücher und Buchbeiträge

Im Berichtszeitraum wurde aus ELISA das Buch „Elektrifizierung von Autobahnen für den Schwerverkehr. Umsetzung des Systems eHighway“ veröffentlicht.

Tabelle 43: Übersicht veröffentlichte Bücher aus ELISA

| Erscheinungs-<br>jahr | Herausgeber                                                          | Titel, Bibliographie                                                                                                               |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2021                  | Boltze, M.; Lehmann, M.;<br>Riegelhuth, G.; Sommer,<br>H.; Wauri, D. | <b>Elektrifizierung von Autobahnen für den Schwerverkehr. Umsetzung des Systems eHighway</b><br><br>Kirschbaum Verlag, Bonn (2021) |

Das Buch „Elektrifizierung von Autobahnen für den Schwerverkehr. Umsetzung des Systems eHighway“ enthält im Einzelnen folgende Beiträge:

Tabelle 44: Beiträge in „Elektrifizierung von Autobahnen für den Schwerverkehr. Umsetzung des Systems eHighway“

| Erscheinungs-<br>jahr | Autoren                                           | Titel, Bibliographie                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2021                  | Lehmann, M.; Wauri, D.;<br>Sommer, H.; Boltze, M. | <b>A.1 Systemdefinition und Systemüberblick zum eHighway</b><br><br>In: Elektrifizierung von Autobahnen für den Schwerverkehr. Umsetzung des Systems eHighway. Boltze, M., Lehmann, M., Riegelhuth, G., Sommer, H., Wauri. D. (Hrsg.), Kirschbaum Verlag, Bonn (2021) |

|      |                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2021 | Lehmann, M.; Sommer, H.; Hahn, G.; Dietrich, K.; Schemmel, A.         | <p><b>A.2 Energieversorgung des eHighway</b></p> <p>In: Elektrifizierung von Autobahnen für den Schwerverkehr. Umsetzung des Systems eHighway. Boltze, M., Lehmann, M., Riegelhuth, G., Sommer, H., Wauri. D. (Hrsg.), Kirschbaum Verlag, Bonn (2021)</p>                          |
| 2021 | Lehmann, M.; Schemmel, A.; Wauri, D.; Hahn, G.                        | <p><b>A.3 Fahrweg des eHighway</b></p> <p>In: Elektrifizierung von Autobahnen für den Schwerverkehr. Umsetzung des Systems eHighway. Boltze, M., Lehmann, M., Riegelhuth, G., Sommer, H., Wauri. D. (Hrsg.), Kirschbaum Verlag, Bonn (2021)</p>                                    |
| 2021 | Lehmann, M.; Bühs, F.; Sommer, H.; Dietrich, K.                       | <p><b>A.4 Fahrzeuge des eHighway</b></p> <p>In: Elektrifizierung von Autobahnen für den Schwerverkehr. Umsetzung des Systems eHighway. Boltze, M., Lehmann, M., Riegelhuth, G., Sommer, H., Wauri. D. (Hrsg.), Kirschbaum Verlag, Bonn (2021)</p>                                  |
| 2021 | Rolko, K.; Linke, R.; Boltze, M.; Lehmann, M.; Dietrich, K.; Hahn, G. | <p><b>A.5 Planung und Errichtung des eHighway</b></p> <p>In: Elektrifizierung von Autobahnen für den Schwerverkehr. Umsetzung des Systems eHighway. Boltze, M., Lehmann, M., Riegelhuth, G., Sommer, H., Wauri. D. (Hrsg.), Kirschbaum Verlag, Bonn (2021)</p>                     |
| 2021 | Langhagen-Rohrbach, C.; Doepgen, P.                                   | <p><b>B.1 Einführung und politische Einordnung des Projekts ELISA</b></p> <p>In: Elektrifizierung von Autobahnen für den Schwerverkehr. Umsetzung des Systems eHighway. Boltze, M., Lehmann, M., Riegelhuth, G., Sommer, H., Wauri. D. (Hrsg.), Kirschbaum Verlag, Bonn (2021)</p> |
| 2021 | Boltze, M.; Wauri, D.; Riegelhuth, G.; Reußwig, A.; Gurske, D.        | <p><b>B.2 Beschreibung des Projekts ELISA</b></p> <p>In: Elektrifizierung von Autobahnen für den Schwerverkehr. Umsetzung des Systems eHighway. Boltze, M., Lehmann, M., Riegelhuth,</p>                                                                                           |

|      |                                                    |                                                                                                                                                                                                                                               |
|------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      |                                                    | G., Sommer, H., Wauri. D. (Hrsg.), Kirschbaum Verlag, Bonn (2021)                                                                                                                                                                             |
| 2021 | Boltze, M.; Wauri, D.; Riegelhuth, G.; Reußwig, A. | <b>B.3 Örtliche Gegebenheiten</b><br>In: Elektrifizierung von Autobahnen für den Schwerverkehr. Umsetzung des Systems eHighway. Boltze, M., Lehmann, M., Riegelhuth, G., Sommer, H., Wauri. D. (Hrsg.), Kirschbaum Verlag, Bonn (2021)        |
| 2021 | Giebel, S.; Hahn, G.                               | <b>B.4 Technische Gestaltung</b><br>In: Elektrifizierung von Autobahnen für den Schwerverkehr. Umsetzung des Systems eHighway. Boltze, M., Lehmann, M., Riegelhuth, G., Sommer, H., Wauri. D. (Hrsg.), Kirschbaum Verlag, Bonn (2021)         |
| 2021 | Giebel, S.; Hahn, G.; Schmitt, N.; Wauri, D.       | <b>B.5 Errichtung der Versuchsanlage</b><br>In: Elektrifizierung von Autobahnen für den Schwerverkehr. Umsetzung des Systems eHighway. Boltze, M., Lehmann, M., Riegelhuth, G., Sommer, H., Wauri. D. (Hrsg.), Kirschbaum Verlag, Bonn (2021) |
| 2021 | Hönig, D.; Diener, L.                              | <b>C.1 Planungsrechtliche Einordnung</b><br>In: Elektrifizierung von Autobahnen für den Schwerverkehr. Umsetzung des Systems eHighway. Boltze, M., Lehmann, M., Riegelhuth, G., Sommer, H., Wauri. D. (Hrsg.), Kirschbaum Verlag, Bonn (2021) |
| 2021 | Hönig, D.; Diener, L.                              | <b>C.2 Mögliche Zulassungsverfahren</b><br>In: Elektrifizierung von Autobahnen für den Schwerverkehr. Umsetzung des Systems eHighway. Boltze, M., Lehmann, M., Riegelhuth, G., Sommer, H., Wauri. D. (Hrsg.), Kirschbaum Verlag, Bonn (2021)  |
| 2021 | Hönig, D.; Diener, L.                              | <b>C.3 Entfallen von Planfeststellung und Plangenehmigung am Projektbeispiel ELISA –</b>                                                                                                                                                      |



|      |                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      |                                    | <p><b>Verortung und Anwendung hessischer Vorschriften</b></p> <p>In: Elektrifizierung von Autobahnen für den Schwerverkehr. Umsetzung des Systems eHighway. Boltze, M., Lehmann, M., Riegelhuth, G., Sommer, H., Wauri, D. (Hrsg.), Kirschbaum Verlag, Bonn (2021)</p>                                       |
| 2021 | Hönig, D.; Diener, L.              | <p><b>C.4 Aufnahme des Betriebs</b></p> <p>In: Elektrifizierung von Autobahnen für den Schwerverkehr. Umsetzung des Systems eHighway. Boltze, M., Lehmann, M., Riegelhuth, G., Sommer, H., Wauri, D. (Hrsg.), Kirschbaum Verlag, Bonn (2021)</p>                                                             |
| 2021 | Wilke, J. K.                       | <p><b>D.1 Einführung in das Vergaberecht von Bauleistungen</b></p> <p>In: Elektrifizierung von Autobahnen für den Schwerverkehr. Umsetzung des Systems eHighway. Boltze, M., Lehmann, M., Riegelhuth, G., Sommer, H., Wauri, D. (Hrsg.), Kirschbaum Verlag, Bonn (2021)</p>                                  |
| 2021 | Wilke, J. K.                       | <p><b>D.2 Hinweise zur Vergabe- und Vertragsordnung von Bauleistungen</b></p> <p>In: Elektrifizierung von Autobahnen für den Schwerverkehr. Umsetzung des Systems eHighway. Boltze, M., Lehmann, M., Riegelhuth, G., Sommer, H., Wauri, D. (Hrsg.), Kirschbaum Verlag, Bonn (2021)</p>                       |
| 2021 | Reußwig, A.                        | <p><b>D.3 Vergabeverfahren für die Planung, den Bau und den Betrieb der ELISA-Infrastruktur</b></p> <p>In: Elektrifizierung von Autobahnen für den Schwerverkehr. Umsetzung des Systems eHighway. Boltze, M., Lehmann, M., Riegelhuth, G., Sommer, H., Wauri, D. (Hrsg.), Kirschbaum Verlag, Bonn (2021)</p> |
| 2021 | Lehmann, M.; Sommer, H.; Wauri, D. | <p><b>E.1 Einführung in das Forschungsfeld eHighway</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                  |

|      |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      |                         | In: Elektrifizierung von Autobahnen für den Schwerverkehr. Umsetzung des Systems eHighway. Boltze, M., Lehmann, M., Riegelhuth, G., Sommer, H., Wauri. D. (Hrsg.), Kirschbaum Verlag, Bonn (2021)                                                                       |
| 2021 | Lehmann, M.; Sommer, H. | <b>E.2 Förderprojekte zur Technologie- und Systemforschung</b><br><br>In: Elektrifizierung von Autobahnen für den Schwerverkehr. Umsetzung des Systems eHighway. Boltze, M., Lehmann, M., Riegelhuth, G., Sommer, H., Wauri. D. (Hrsg.), Kirschbaum Verlag, Bonn (2021) |
| 2021 | Lehmann, M.; Sommer, H. | <b>E.3 Feldversuche und Erprobungen</b><br><br>In: Elektrifizierung von Autobahnen für den Schwerverkehr. Umsetzung des Systems eHighway. Boltze, M., Lehmann, M., Riegelhuth, G., Sommer, H., Wauri. D. (Hrsg.), Kirschbaum Verlag, Bonn (2021)                        |

Darüber hinaus konnte im Rahmen des ELISA-Projekts folgender Buchbeitrag erarbeitet werden:

Tabelle 45: Angefertigte Buchbeiträge im Rahmen des ELISA-Projekts

| Erscheinungsjahr | Autoren    | Titel, Bibliographie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2019             | Boltze, M. | <b>eHighway – An Infrastructure for Sustainable Road Freight Transport</b><br><br>In: C. Ha Minh, D.V. Dao, F. Benboudjema, S. Derrible, D.V.K. Huynh, A.M. Tang (Editors): CIGOS 2019. Innovation for Sustainable Infrastructure. Proceedings of the 5th International Conference on Geotechnics, Civil Engineering Works and Structures. Springer-Verlag 2019.<br>(scienceconf.org: cigos2019: 283689) |

#### 4.4.2 Dissertationen

Eine Dissertation im Zusammenhang mit dem ELISA-Projekt konnte bereits erfolgreich fertiggestellt werden. Dr.-Ing. Kevin Rolko wurde promoviert anlässlich seiner Arbeit zu: „Simulationsbasierte Optimierung der Ausstattung von Teilstrecken mit Systemen zur Energieversorgung von Lastkraftwagen während der Fahrt“.

Weitere Dissertationen im Zusammenhang mit dem ELISA-Projekt befinden sich derzeit in der Erstellung.

Tabelle 46: Dissertationen im Zusammenhang mit dem ELISA-Projekt

| Erscheinungs-<br>jahr | Autoren   | Titel, Bibliographie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2020                  | Rolko, K. | <p><b>Simulationsbasierte Optimierung der Ausstattung von Teilstrecken mit Systemen zur Energieversorgung von Lastkraftwagen während der Fahrt.</b></p> <p>Dissertation. Technische Universität Darmstadt, Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik. Verfügbar unter:<br/> <a href="https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/13358/">https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/13358/</a><br/>                     (Letzter Zugriff: 31. März 2021)</p> |

#### 4.4.3 Veröffentlichungen in Fachzeitschriften und Konferenzbänden

Nachfolgend gelistet findet sich ein Auszug einiger Veröffentlichungen in Fachzeitschriften und Konferenzbänden, die im Rahmen des ELISA-Projekts entstanden sind.

Tabelle 47: Veröffentlichungen in Fachzeitschriften und Konferenzbänden im Zusammenhang mit dem ELISA-Projekt

| Erscheinungs-<br>jahr | Autoren                                                           | Titel, Bibliographie                                                                                                                                                                              |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2021                  | Schöpp, F.; Öztürk, Ö.;<br>Linke, R.; Wilke, J. K.,<br>Boltze, M. | <p><b>Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs. Kraftstoff- und Stromverbrauchsanalyse von Oberleitungs-Hybrid-Lastkraftwagen</b></p> <p>In: Internationales Verkehrswesen, Ausgabe 3   2021</p> |

|      |                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2020 | Boltze, M.; Linke, R.;<br>Schöpp, F.; Wilke, J. K.;<br>Öztürk, Ö.; Wauri, D. | <b>Insights into the Operation of Overhead Line Hybrid Trucks on the ELISA Test Track</b><br><br>In: ERSC2020. Abstract Book.<br><a href="https://www.electricroads.org/wp-content/uploads/2020/05/ERSC2020-Abstract-Book-Publ.pdf">https://www.electricroads.org/wp-content/uploads/2020/05/ERSC2020-Abstract-Book-Publ.pdf</a>       |
| 2020 | Gurske, D,                                                                   | <b>Experiences in Road Maintenance Operations on the ELISA pilot site / eHighway Hessen</b><br><br>In: ERSC2020. Abstract Book.<br><a href="https://www.electricroads.org/wp-content/uploads/2020/05/ERSC2020-Abstract-Book-Publ.pdf">https://www.electricroads.org/wp-content/uploads/2020/05/ERSC2020-Abstract-Book-Publ.pdf</a>     |
| 2020 | Rudgartser, I.                                                               | <b>eHighway Hessen / ELISA pilot site: first year of operation of the first German eHighway</b><br><br>In: ERSC2020. Abstract Book.<br><a href="https://www.electricroads.org/wp-content/uploads/2020/05/ERSC2020-Abstract-Book-Publ.pdf">https://www.electricroads.org/wp-content/uploads/2020/05/ERSC2020-Abstract-Book-Publ.pdf</a> |
| 2019 | Boltze, M.                                                                   | <b>eHighway – An Infrastructure for Sustainable Road Freight Load</b><br><br>In: CIGOS 2019, Innovation for Sustainable Infrastructure                                                                                                                                                                                                 |
| 2019 | Boltze, M.                                                                   | <b>Oberleitungen auf Autobahnen – nicht nur einen Versuch wert!</b><br><br>In: Straßenverkehrstechnik, Heft 4, Bonn 2019.                                                                                                                                                                                                              |
| 2016 | Boltze, M.                                                                   | <b>Zukünftige Entwicklungen und Herausforderungen im Straßenverkehr</b><br><br>In: Straßenverkehrstechnik, Heft 12, Bonn 2016, S. 853-862.                                                                                                                                                                                             |

#### 4.4.4 Konferenzbeiträge und -vorträge

Aus dem ELISA-Projekt gewonnene Erkenntnisse und Ergebnisse konnten einem breiten nationalen sowie internationalen Fachpublikum durch zahlreiche Beiträge und Vorträge auf verschiedenen Konferenzen präsentiert werden. Eine Übersicht ausgewählter Konferenzbeiträge und -vorträge findet sich nachfolgend.

**Tabelle 48: Übersicht ausgewählter Konferenzbeiträge und -vorträge**

| Jahr | Beteiligte                                                                   | Beitrags-/Vortragstitel und Konferenz                                                                                                                                                                    |
|------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2021 | Wilke, J. K.; Linke, R.;<br>Schöpp, F.; Boltze, M.                           | <b>Factors for the design of electric road system networks related to road operation, construction and vehicle characteristics</b><br><br>49 <sup>th</sup> European Transport Conference                 |
| 2021 | Linke, R.; Schöpp, F.;<br>Wilke, J. K.; Boltze, M.                           | <b>Integration of new drive concepts by transport companies – experiences with the eHighway System</b><br><br>49 <sup>th</sup> European Transport Conference                                             |
| 2021 | Schöpp, F.; Öztürk, Ö.;<br>Linke, R.; Wilke, J. K.;<br>Boltze, M.            | <b>Electrification of road freight transport: the influence of gross vehicle weight on the energy consumption of (overhead line) hybrid trucks</b><br><br>49 <sup>th</sup> European Transport Conference |
| 2021 | Linke, R.; Schöpp, F.                                                        | <b>Factors influencing the integration of the eHighway system by transport companies</b><br><br>5th Interdisciplinary Conference on Production, Logistics and Traffic                                    |
| 2021 | Schöpp, F.; Öztürk, Ö.;<br>Linke, R.; Wilke, J. K.;<br>Boltze, M.            | <b>Electrification of Road Freight Transport – Energy Consumption Analysis of Overhead Line Hybrid Trucks</b><br><br>Transportation Research Board 100th Annual Meeting                                  |
| 2020 | Rudgartser, I.                                                               | <b>eHighway Hessen / ELISA pilot site: first year of operation of the first German eHighway</b><br><br>4th Electric Road Systems Conference                                                              |
| 2020 | Gurske, D.                                                                   | <b>Experiences in Road Maintenance Operations on the ELISA pilot side / eHighway Hessen</b><br><br>4th Electric Road Systems Conference                                                                  |
| 2020 | Boltze, M.; Linke, R.;<br>Schöpp, F.; Wilke, J. K.;<br>Öztürk, Ö.; Wauri, D. | <b>Insights into the Operation of Overhead Line Hybrid Trucks on the ELISA Test Track</b><br><br>4th Electric Road Systems Conference                                                                    |

|      |                                  |                                                                                                                                                                     |
|------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2019 | Boltze, M.                       | <b>Validators, Demonstrators, Facilitators – The Roles of eHighway Field Tests on the Way to Large-scale Implementation</b><br>3rd Electric Road Systems Conference |
| 2019 | Wauri, D.; Boltze, M.            | <b>ELISA – Initial Analyses of Impacts of the eHighway System on Traffic Flow</b><br>3rd Electric Road Systems Conference                                           |
| 2019 | Rudgartser, I.                   | <b>Experiences with planning and construction of the ELISA pilot site / eHighway Hessen</b><br>3rd Electric Road Systems Conference                                 |
| 2019 | Rolko, K.; Linke, R.; Boltze, M. | <b>Coaches as a part of the eHighway system: A feasibility study</b><br>3rd Electric Road Systems Conference                                                        |
| 2019 | Öztürk, Ö.; Boltze, M.           | <b>Evaluation Concept. Verification of the ELISA eHighway</b><br>3rd Electric Road Systems Conference                                                               |
| 2019 | Boltze, M.                       | <b>eHighway – An Infrastructure for Sustainable Road Freight Load</b><br>5th International Conference on Geotechnics, Civil Engineering Works and Structures        |
| 2019 | Wauri, D.                        | <b>ELISA – Feldversuch zur Erprobung der eHighway-Technik auf einer öffentlichen Fernstraße</b><br>18. Antriebstechnisches Kolloquium                               |
| 2018 | Wauri, D.                        | <b>Projekt eHighway aus Sicht der Nutzer</b><br>2. ITS Kongress, Hypermotion                                                                                        |
| 2018 | Wauri, D.                        | <b>Evaluation Concept for the ELISA eHighway System Field Trial</b><br>2nd Electric Road Systems Conference                                                         |
| 2018 | Boltze, M., Rolko, K.            | <b>Automated Assessment of Highway Track Elements Regarding Their Capability to be Equipped with Catenaries</b>                                                     |

|      |                          |                                                                                                                                                                                                                         |
|------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      |                          | 2nd Electric Road Systems Conference                                                                                                                                                                                    |
| 2020 | Giebel, S.; Kirmaier, G. | <b>Realisierung von e-Highway-Systemen – Erkenntnisse aus der Elektrifizierung von Autobahnen   Implementation of e-highway systems – experiences from the electrification of highways</b><br><br>DCRPS 2020 in Leipzig |

#### 4.4.5 Projektinterne Berichte

Im Projekt ELISA sind darüber hinaus zahlreiche interne Berichte entstanden, welche sich nachfolgender Übersicht auszugsweise entnehmen lassen. Die internen Berichte dienen insbesondere der regelmäßigen Information der Projektpartnerinnen und Projektpartner über die wichtigsten Entwicklungen im Feldversuch.

Tabelle 49: Übersicht ausgewählter projektinterner Berichte

| Erscheinungs-jahr | Bericht                              |
|-------------------|--------------------------------------|
| 2021              | Newsletter für Transporteure 09/2021 |
| 2021              | Quarterly Research Report Q2/2021    |
| 2021              | Newsletter für Transporteure 06/2021 |
| 2021              | Quarterly Research Report Q1/2021    |
| 2021              | Newsletter für Transporteure 03/2021 |
| 2021              | Quarterly Research Report Q4/2020    |
| 2020              | Newsletter für Transporteure 12/2020 |
| 2020              | Quarterly Research Report Q3/2020    |
| 2020              | Newsletter für Transporteure 09/2020 |
| 2020              | Quarterly Research Report Q2/2020    |
| 2020              | Newsletter für Transporteure 06/2020 |
| 2020              | Quarterly Research Report Q1/2020    |
| 2020              | Quarterly Research Report Q4/2020    |

|      |                                      |
|------|--------------------------------------|
| 2020 | Newsletter für Transporteure 03/2020 |
| 2019 | Newsletter für Transporteure 12/2019 |
| 2019 | Newsletter für Transporteure 10/2019 |
| 2019 | Newsletter für Transporteure 08/2019 |
| 2019 | Newsletter für Transporteure 06/2019 |
| 2019 | Newsletter für Transporteure 04/2019 |
| 2018 | Newsletter für Transporteure 12/2018 |



## 5 SCHLUSSFOLGERUNGEN

*Seit dem Start des ELISA-Feldversuchs im November 2018 konnten bereits wichtige Kenntnisse und Ergebnisse zur Einsatz- und Zukunftsfähigkeit des oberleitungsgebundenen Straßengüterverkehrs erarbeitet werden. Auch wenn es sich derzeit noch um vorläufige Zwischenergebnisse handelt, so zeigt sich doch schon heute, dass die Oberleitungs-Technologie ihre in der Theorie vielversprechenden Vorteile auch in der praktischen Anwendung zu großen Teilen unter Beweis stellen kann. Die fortlaufenden Untersuchungen in den kommenden Monaten werden weitere Rückschlüsse zulassen. In den folgenden Abschnitten werden die zentralen Schlussfolgerungen dargestellt, die sich entsprechend der jeweiligen Akteursgruppe derzeitig ziehen lassen.*

### 5.1.1 Transporteure

Bisher konnten im Projekt ELISA bereits wichtige Erkenntnisse zur technischen Eignung der aktuellen OH-Lkw-Generation für Transporteure gewonnen, erste Erkenntnisse zum Transportaufkommen und zur Integration in Logistik- bzw. Transportprozesse der OH-Lkw im Realbetrieb ermittelt sowie wichtige Kennwerte zu Kraftstoff- und Stromverbräuchen basierend auf den CML-Fahrzeugdaten berechnet werden. Insgesamt hat der Feldversuch bisher ergeben, dass die technischen Anforderungen der Transportunternehmen an OH-Lkw durch die in ELISA eingesetzten Versuchsfahrzeuge bereits sehr weitgehend erfüllt werden. Einige spezifische Anforderungen, wie die Einrichtung der sicherheitstechnischen Voraussetzungen zum Transport von Gefahrgut sowie der Einsatz eines Kippaufliegers können von den aktuell eingesetzten OH-Lkw nicht erfüllt werden. Jedoch schließt dies nicht die Möglichkeit aus, dass die Fahrzeuge im Zuge der Weiterentwicklung auch diese Anforderungen erfüllen werden. Weiterhin konnte bereits im Projektverlauf eine Erweiterung der Fahrzeugausstattung um einen von den Transportpartnern gewünschten Abbiegeassistenten erreicht werden.

Im Zuge der Analyse der OH-Lkw-Konfiguration und der Begleitung der OH-Lkw-Zulassung wurde festgestellt, dass trotz des höheren Gewichts der Sattelzugmaschine und der größeren Länge der OH-Lkw aufgrund der zusätzlich verbauten Pantographenkomponenten eine Zulassung der aktuell eingesetzten OH-Lkw möglich war. Die Auswertungen der Fahrgeschwindigkeit der OH-Lkw über die Monatsverläufe haben gezeigt, dass die OH-Lkw die Oberleitungsanlage größtenteils mit maximaler zulässiger Fahrgeschwindigkeit passieren. Diese Geschwindigkeit ist wiederum vergleichbar mit der Durchschnittsgeschwindigkeit eines konventionellen Lkws.

Ein weiteres, wesentliches Ergebnis ist, dass der Kraftstoffverbrauch eines OH-Lkws durch die Nutzung der Oberleitungs-Technologie gesenkt wird. Auf Basis von 178.837 Testkilometern konnte analysiert werden, dass nicht nur eine Kraftstoffverbrauchssenkung realisierbar ist, sondern auch ein Null-Kraftstoffverbrauch. Abhängigkeiten des Kraftstoffeinsparpotentials liegen nach derzeitigem Stand der Forschung vor allem bzgl. der Leistungsfähigkeit der elektrischen Maschine, der Größe der Batterie sowie dem Anteil der mit Oberleitungen elektrifizierten Streckenabschnitte, gemessen an einer insgesamt zurückgelegten Strecke, vor. Im aktuellen Testbetrieb beträgt dieser elektrifizierte Streckenanteil in etwa 10%

(unterschiedlich für jeden OH-Lkw), was singulär betrachtet schon zu einer mittleren Diesel-Kraftstoffeinsparung von 10% führt. Ein höherer Anteil von mit Oberleitungen elektrifizierten Streckenabschnitten innerhalb der von einem OH-Lkw zurückgelegten Strecken dürfte sich jedoch mindestens proportional auf die damit verbundenen Diesel-Kraftstoffeinsparungen auswirken, voraussichtlich sogar deutlich höher, weil unter der Oberleitung die Batterie nachgeladen werden kann.

Für eine abschließende Evaluation des Feldversuchs ELISA und der Evaluation aus Sicht der Transporteure bedarf es jedoch bis zum Projektende weiterer Forschungen, insbesondere im Hinblick auf die Erkenntnisse zu den Betriebskosten von OH-Lkw, den THG- und Luftschadstoffemissionen sowie zur Akzeptanz.

### 5.1.2 Fahrzeughersteller

Im Projekt ELISA konnten bereits wichtige Erkenntnisse zur Verfügbarkeit des OH-Lkws sowie zur Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit des Pantographen gewonnen werden. Mittels einer LCA konnte eine umfassende Umweltbewertung des eHighway-Systems und insbesondere des OH-Lkws durchgeführt werden. Des Weiteren wurden erste Analysen und Zukunftsabschätzungen zum aktuellen Instandhaltungskonzept von OH-Lkw durchgeführt.

Die Auswertungen zum Instandhaltungskonzept der OH-Lkw mittels des Fahrzeugbetriebs-tagebuchs zeigen, dass sich das aktuelle Instandhaltungskonzept der OH-Lkw von dem eines konventionellen Lkws unterscheidet. Zurückzuführen ist dies zum aktuellen Zeitpunkt zum einen auf den Prototypenstatus der OH-Lkw, zum anderen aber auch auf die zusätzlich verbauten Komponenten, wie z.B. Pantograph oder Batteriesystem, welche bei konventionellen Lkw noch nicht vorhanden sind.

Die OH-Lkw zeigen eine äußerst gute Spurtreue. Einerseits ist dies auf die Unterstützung durch den CKA zurückzuführen, andererseits wird davon ausgegangen, dass die OH-Lkw-Fahrer auch ohne Unterstützung durch den CKA sehr gut die Spur unter der Oberleitung halten können. Die Spurtreue ist insgesamt sogar so gut, dass dies vereinzelt zu verstärkten Abnutzungen im Mittelbereich der Schleifleisten führt. In dieser Hinsicht wäre eine breitere Ausnutzung der Fahrspur für eine gleichmäßigere Beschleifung der Kohleleiste sogar vorteilhaft.

Mit Blick auf das Pantographensystem lässt sich für den Betrachtungszeitraum festhalten, dass es gelungen ist, den Betrieb dieser neuartigen Pantographengeneration (PAN Gen.3) von Beginn der Betriebserprobung an performant sicherzustellen. Da es sich bei den für das Projekt ELISA bereitgestellten fünf Pantographen um die ersten ausgelieferten Exemplare dieser prototypischen Baureihe handelte, war diese von Beginn an hohe Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit keinesfalls eine Selbstverständlichkeit. Dies gilt insbesondere auch vor dem Hintergrund der spezifischen Gestaltung des Oberleitungssystems auf Basis der vorhandenen baulichen Rahmenbedingungen. Die technische Verfügbarkeit des Pantographensystems konnte über den Verlauf des Feldversuchs zusätzlich gesteigert werden.

Die Ergebnisse der LCA zeigen, dass ein OH-Lkw eine andere Umweltbilanz als ein Vergleichs-Lkw aufweist. Bei dem Vergleich, basierend auf aktuellen Daten (bilanziert wurde der ELISA-

Feldversuch: ca. zehn Kilometer Oberleitungsinfrastruktur, ca. zehn Kilometer passive Schutzeinrichtung in Betonbauweise (Rückhaltstufe H4b), fünf OH-Lkw in Betrieb), schneidet der OH-Lkw im bisherigen Pilotbetrieb schlechter ab als der herkömmliche Lkw. Bei einem Vergleich, der zukünftige technische Veränderungen (Batteriegröße, Leistungselektronik, Pantographensystem, etc.) berücksichtigt, kann bereits zum aktuellen Zeitpunkt abgeschätzt werden, dass die eHighway-Technologie deutlicher Verbesserungen bzgl. der Umweltbilanz im Vergleich zu konventionellen Lkw realisieren wird. In der Nutzenphase kann der OH-Lkw, abhängig von der Kraftstoffverwendung während des Transports und der Zusammensetzung des Strommix, eine bessere Umweltbilanz haben. Mit einem höheren Anteil an regenerativ erzeugtem Strom weist der OH-Lkw eine deutlich bessere Umweltbilanz auf. Während bei der Berücksichtigung des aktuellen Strommix zur Bereitstellung nicht unerhebliche Umweltwirkungen anfallen, reduzieren sich diese, wenn der Strommix von 2030 berücksichtigt wird. Folglich beeinflusst die Zusammensetzung des deutschen Strommix die Umweltwirkungen aus der Nutzenphase stark.

Für eine abschließende Evaluation des Feldversuchs ELISA und der Evaluation aus Sicht der Fahrzeughersteller bedarf es bis zum Projektende weiterer Forschung, insbesondere im Hinblick auf die weitere Entwicklung der Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der OH-Lkw und Pantographen sowie einer Akzeptanzbefragung der aktuell am Projekt beteiligten Fahrzeughersteller bzw. Pantographenhersteller.

### 5.1.3 Energieversorgungsunternehmen

Basierend auf der aktuell niedrigen Frequentierung der Anlage, welche sich durch eine geringe Befahrung der Versuchsstrecke bis zum jetzigen Zeitpunkt auszeichnet, konnte nur ein geringer Stromgesamtverbrauch festgestellt werden. Fundierte Aussagen über die Reaktion der Anlage auf Lastspitzen im Realbetrieb können aufgrund dessen zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht verifiziert getroffen werden. Im Zuge der allgemeinen Stromversorgung der Oberleitungsanlage konnten jedoch mit den zugrundeliegenden Daten und der Hochfrequentierung des Mengengerüsts der OH-Lkw verschiedene Versorgungsszenarien der Anlage im Realbetrieb evaluiert werden. Hierauf beruhend kann die Stromversorgung der Oberleitungsanlage unproblematisch und tageszeitunabhängig bereitgestellt werden.

Bei der Evaluation eines Abrechnungsmodells für die Oberleitungsnutzer wurde sich an bestehenden energiewirtschaftlichen Abrechnungskonzepten orientiert, jedoch wurden auch weitere Abrechnungsmodelle untersucht. Da primär die individuelle Abrechnung pro Lkw zu favorisieren ist, wurde aus diesem Grund ein Schwerpunkt auf eine Abrechnung auf Basis der im OH-Lkw verbauten Sensorik, sowie einer Fakturierung auf Grundlage der Messwerte eines Energiezählers gelegt. Nach Prüfung der verschiedenen möglichen Abrechnungsvarianten hat sich die Variante der Abrechnung von Kilowattstunden auf Fahrzeug-Ebene mit einem Zähler für die gerechteste und die am schnellsten umsetzbare Variante herausgestellt. Eine Verbrauchsmessung auf Basis eines Standard-Zählers aus der Energiewirtschaft ist daher aus abrechnungstechnischer Sicht dringend notwendig, um sowohl einen Vergleich zur vorhandenen Sensorik zu ermöglichen als auch das Abrechnungssystem in die

energiewirtschaftlichen Prozesse einbinden zu können. Dies gewährleistet eine effiziente und möglichst kostengünstige Abrechnung für alle Beteiligten, so auch für die Transportunternehmen als Endverbraucher.

#### **5.1.4 Oberleitungsinfrastrukturbetreiber**

Die Verkehrszentrale Deutschland der Autobahn GmbH Frankfurt am Main war im Zuge der ELISA-Anlage der erste Betreiber einer eHighway-Anlage auf einer deutschen Bundesfernstraße. Die Betriebsvorbereitung war demnach mit besonderen Herausforderungen verbunden, da keine Erfahrungswerte vorlagen und auch der rechtliche Status in einigen Teilaspekten noch abschließend geklärt werden musste. Auch musste ein speziell auf die Anforderungen eines eHighway-Systems ausgerichtetes Störfallmanagement entwickelt und implementiert werden.

Im Sinne einer ersten Bilanz kann festgehalten werden, dass die Funktion des Oberleitungsinfrastrukturbetreibers jederzeit eindeutig und rechtssicher besetzt und die damit verbundenen Aufgaben erfolgreich erfüllt werden konnten. Dies zeigt, dass ein Straßeninfrastrukturbetreiber, im Falle der ELISA-Anlage also die Autobahn GmbH des Bundes, die Rolle des Oberleitungsinfrastrukturbetreibers grundsätzlich erfolgreich umsetzen kann.

Hierfür bildet jedoch die Verfügbarkeit einer geeigneten Leitzentrale eine wichtige Voraussetzung. Im Projekt ELISA stand hierfür mit der Verkehrszentrale Deutschland eine der modernsten Verkehrsleitzentralen Europas zur Verfügung. Der Feldversuchsbetrieb lieferte bereits bis zum Berichtsstichtag des vorliegenden Berichtes viele wertvolle Hinweise im Hinblick auf notwendige und einige wünschenswerte Anpassungen des Anlagendesigns von eHighway-Anlagen in der Zukunft. Die errichtete Kamerainfrastruktur im Bereich der ELISA-Anlage bildet eine sinnvolle Ergänzung der eHighway-Infrastruktur zur Überwachung und Nachverfolgung von Anlagenzuständen. Da die Errichtung des Kamerasystems jedoch erst im März 2021 vollständig abgeschlossen werden konnte, ist die Datenlage für die Bewertung von den meisten damit zusammenhängenden Fragestellungen noch nicht ausreichend. Diese Daten werden fortlaufend gesammelt und werden in den Schlussbericht einfließen.

Auch die mit einer Verlängerung der Anlage im Zusammenhang stehenden Fragestellungen wurden diskutiert. Durch die derzeit laufende Durchführung des Projekts ELISA III ist die Verlängerung der ELISA-Anlage nicht nur angedacht, sondern wird auch tatsächlich umgesetzt. Doch auch großflächige Verlängerungsoptionen und damit verbundene theoretische Anpassungsbedarfe wurden qualitativ diskutiert und sollen im weiteren Verlauf der Projekte detaillierter betrachtet werden.

#### **5.1.5 Oberleitungsinfrastrukturerrichter**

Der vorliegende Ergebniszwischenbericht analysiert die Planungs-, Genehmigungs-, Bau- und Betriebsphase der ELISA-Versuchsanlage aus der Perspektive des Oberleitungsinfrastrukturerrichters. Für die drei Haupt-Evaluationsbereiche verkehrlich-technisch, ökonomisch und ökologisch können die folgenden Erkenntnisse zusammengefasst werden.

Die Fahrleitungsanlage zeichnet sich insgesamt durch eine hohe Verfügbarkeit aus und gewährleistet eine sichere Energieversorgung der Oberleitungs-Hybrid-Lkw. Einzelne Störereignisse, die zu Abschaltungen führten, ergaben sich nicht aus dem regulären Fahrbetrieb. Die regelmäßig stattfindenden Inspektionen der Anlage bilden eine wichtige Grundlage für die Identifizierung von technischen Problemstellen, die sich bei Versuchsanlagen im Erstbetrieb des Systems üblicherweise ergeben. Weiterhin ist festzuhalten, dass durch den Betrieb der Fahrleitungsanlage keine Gefährdungen auf weitere Verkehrsteilnehmende ausgehen und bis zum Ende des Evaluationszeitraumes kein Verschleiß an den Fahrleitungen messbar war. Eine gegenseitige Beeinflussung der Errichtung der Oberleitungsinfrastruktur und der Baumaßnahme der, in der Regel vorzusehenden, passiven Schutzeinrichtung bei einer zeitgleichen Durchführung der Arbeiten ist gegeben. Dies führt jedoch nicht zu einer generellen Handlungsempfehlung, da die daraus resultierenden Nachteile durch positive Aspekte, wie kürzere Gesamtdauer der Baumaßnahme, durchaus überkompensiert werden können. In jedem konkreten Einzelfall ist eine separate Betrachtung aller Handlungsoptionen angeraten. Die ökonomischen Auswirkungen der Erkenntnisse aus der Errichtung und dem Betrieb der Oberleitungsinfrastruktur auf die Kosten und die Kalkulierbarkeit für den Oberleitungsinfrastrukturbetreiber konnten im Evaluationszeitraum nicht abschließend bewertet werden. Dies soll im weiteren Bearbeitungsverlauf der Forschungshypothesen erfolgen.

#### 5.1.6 Straßeninfrastrukturbetreiber

Im Projekt ELISA liegen die Funktionen des Straßeninfrastrukturbetreibers und des Oberleitungsinfrastrukturbetreibers in derselben Hand. Durch die bereits vorhandene Leitstelle des Straßeninfrastrukturbetreibers konnte der Integrationsaufwand der Steuerung der Oberleitungsanlage auf ein Minimum reduziert werden. Dieser Bericht liefert bereits wichtige Erkenntnisse zu Fragen des Verkehrsablaufs und zum Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmenden. Zusammenfassend konnte nach bisherigem Kenntnisstand kein wesentlicher Einfluss der ELISA-Versuchsanlage auf den Verkehrsablauf identifiziert werden. So sind beispielsweise keine wesentlichen Unterschiede in den Verkehrsbelastungen, den mittleren Geschwindigkeiten sowie den mittleren Reisezeiten oder Weglücken identifiziert worden. Dies spiegelt sich auch im spezifischen Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmenden auf dem Streckenabschnitt wider, bei dem deutlich wird, dass die Verkehrsteilnehmenden ihr Verhalten weitestgehend unabhängig vom eHighway-System und in Abhängigkeit der jeweiligen Verkehrssituation anpassen. Wenngleich im weiteren Projektverlauf weitere Analysen durchzuführen sind, ist dennoch zu erwarten, dass das eHighway-System auch bei einem großflächigen Ausbau keinen wesentlichen Einfluss auf das Fahrverhalten und den Verkehrsablauf haben wird.

Zum Abschluss der Arbeiten der Evaluation sind weitere Untersuchungen nötig, wie etwa zu bestimmten Verhaltensweisen der Verkehrsteilnehmer und der Akzeptanz auf Seiten des Straßeninfrastrukturbetreibers und zu nötigen Anpassungen im Betriebskonzept vor dem Hintergrund eines großflächigen Ausbaus der Technologie.

### 5.1.7 Straßenbetriebsdienst

Durch Beobachtungen, Experteninterviews und Auswertung verschiedenster Betriebsdienst-daten wurden Belange des Straßenbetriebsdienstes in Bezug auf Oberleitungsanlagen an Autobahnen untersucht. Hierbei zeigt sich in der Beobachtung der Tätigkeiten und in den Experteninterviews, dass die ELISA-Versuchsanlage in seltenen Fällen eine Herausforderung in den Tätigkeitsfeldern des Straßenbetriebsdienstes darstellt. Eine mechanische Gefährdung durch die Fahrdrähte kann jedoch nur bei fahrlässiger oder falscher Bedienung von Arbeitsgeräten eintreten. Zusätzliche anlagenbedingte Mehraufwände ergeben sich nur aus den Unterhaltungsmaßnahmen des Streckenabschnitts der ELISA-Versuchsanlage. Aufgrund der Ausführung des Fahrzeugrückhaltesystems und deren Abstand zu den Masten sind zusätzliche Tätigkeiten notwendig oder es können bei bestehenden Tätigkeiten, aufgrund der Abmessungen, Arbeitsabläufe nicht wie gewohnt durchgeführt werden, so dass neue und aufwändigere Arbeitsabläufe organisiert werden müssen. Für einen Aus- bzw. Neubau von Oberleitungsanlagen sollte eine frühzeitige und vollumfängliche Einbeziehung aller Beteiligten – inklusive des Meistereipersonals – durchgeführt werden, um die Akzeptanz des Projekts zu gewährleisten. Zeitgleich sind Verantwortungen bei bestimmten Ereignissen, z. B. bei Unfällen oder Tätigkeiten im Umgang mit der Anlage zu klären und zu dokumentieren. Die Wahl des Fahrzeugrückhaltesystems und der Abstand zwischen diesem und den Masten sollte so gewählt werden, dass die Tätigkeiten des Straßenbetriebsdienstes in möglichst geringem Maße beeinträchtigt werden. Durch ein Absetzen der Baumgrenze zur Anlage kann der Turnus für notwendige Tätigkeiten der Grünpflege vergrößert werden, wodurch laufende Kosten reduziert werden können.

### 5.1.8 Gesellschaft

Bisher konnten im Projekt ELISA wichtige Erkenntnisse zu Einflüssen des eHighway-Systems auf Arbeitsstellen kürzerer und längerer Dauer sowie auf die Durchführbarkeit von Großraum- und Schwerlasttransporte gewonnen werden. Die ELISA-Anlage ist seit 07.05.2019 in Betrieb. Durch die in der Zeit ausgeführten Arbeiten und darüber hinaus auch im Jahr 2020 ist bislang kein gegenseitiger Einfluss auf die ELISA-Anlage, bzw. von der ELISA-Anlage ausgehend, erkannt worden. Entlang des Streckenverlaufs der ELISA-Anlage auf der BAB 5 ist die Durchfahrthöhe auf allen Fahrstreifen durch Brückenbauwerke auf 4,65m beschränkt. Durch die Oberleitung konnten bisher keine Einschränkungen bei der Durchführung von Großraumtransporten festgestellt werden. Grundsätzlich ist die Durchführung von Großraumtransporten unter 4,50 m im Anlagenbereich also möglich.

Des Weiteren liegen bereits Ergebnisse zur Zuverlässigkeit des Gesamtsystems vor. In Bezug auf den Zusammenhang zwischen dem Gesamtsystem und den vorherrschenden Witterungsbedingungen lassen sich einzelne Situationen aufzeigen, welche den Betrieb des Gesamtsystems zumindest teilweise einschränken (erhöhte Temperatur im Unterwerk, Eisbildung, eingeschränkte Funktion der OH-Lkw). Wie diese Situationen im Kontext der Zuverlässigkeit zu bewerten sind, muss über weitere Analysen geprüft werden. Inwieweit die

Zuverlässigkeit des Gesamtsystems von der Anzahl gleichzeitig strombeziehender Fahrzeuge auf einem Speiseabschnitt beeinflusst wird und inwieweit diese sich im Zuge der Projektlaufzeit verändert hat, lässt sich auf Grundlage der aktuellen Datenlage noch nicht ausreichend evaluieren. Hierzu sind zum einen eine erhöhte Anzahl an Fahrten von gleichzeitig strombeziehenden OH-Lkws erforderlich, welche bspw. durch geplante Forschungsfahrten generiert werden, zum anderen ist ein größerer Betrachtungszeitraum notwendig.

Die Weiterentwicklung der Auswertungssoftware BeTSIE zu BeTSIE+ erlaubt darüber hinaus aufbauende Aussagen zur Nachnutzung der ELISA-Teststrecke und ihrer Einbindung in ein übergeordnetes Netz. Die bisher durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass das Nachfragepotenzial der BAB 5 insbesondere im Bereich von dem Reiskirchener Dreieck bis zur Landesgrenze zwischen Hessen und Baden-Württemberg größtenteils sehr hoch und somit durch den Ausbau der Teststrecke entlang der BAB 5 weitere Logistik-Standorte erreicht werden können. Weiterhin wurden bereits bei der Wahl der Lage der ELISA-Teststrecke wichtige Voraussetzungen für eine Nachnutzung geschaffen, da diese in einem Bereich liegt, welche ein hohes Ausstattungspotenzial und ein sehr hohes Nachfragepotenzial aufweist. Die gute Lage der ELISA-Teststrecke verdeutlicht bereits, dass diese zielführend in ein Gesamtnetz integriert werden kann.

Wichtige Erkenntnisse und Ergebnisse konnten außerdem im Rahmen der akteurspezifischen Fragestellungen zur Akzeptanz, u. a. auf Seiten der Verkehrsteilnehmenden und der Öffentlichkeit gewonnen werden. Es konnte anhand der bisherigen Auswertungen der Personenbefragung gezeigt werden, dass Verkehrsteilnehmende mit einer positiven Grundeinstellung gegenüber technischen Neuerungen grundsätzlich eine positive Einstellung gegenüber dem ELISA-Feldversuch haben. Allgemein ist festzustellen, dass die Verkehrsteilnehmenden die ELISA-Versuchsanlage umso mehr als sinnvoll ansehen, je mehr Informationen sie bereits über das eHighway-System und/oder die ELISA-Versuchsanlage erlangt haben. Dabei wird deutlich, dass Personen einen größeren Kenntnisstand besitzen, je näher sie im Umfeld der ELISA-Versuchsanlage leben. Personen – insb. aus den neuen Bundesländern – hingegen, fühlen sich weniger gut über das System und den Feldversuch informiert, was sich auch in der spezifischen Akzeptanz widerspiegelt. Ein hoher Kenntnisstand über das eHighway-System und den ELISA-Feldversuch führt folglich zu einer erhöhten Akzeptanz auf Seiten der Verkehrsteilnehmenden. Die Notwendigkeit einer vermehrten Informationsweitergabe durch Medien wie Zeitung, Rundfunk oder auch Social Media konnte ebenso dargestellt werden. Dies sollte als Anlass dienen, nicht nur im Einzugsgebiet der Versuchsanlagen über das System und die Feldversuche zu berichten, sondern System und Projekte auch überregional publik zu machen. Eine verbesserte und flächendeckende Akzeptanz ist folglich denkbar. Erkennbar ist, dass Veränderungen im Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmenden (Verhaltensakzeptanz) nicht aus Ängsten oder Befürchtungen resultieren, sondern viel mehr aus der Neugier.

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

|                  |                                                                                                                     |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A                | Autobahn                                                                                                            |
| Abs.             | Absatz                                                                                                              |
| AG               | Aktiengesellschaft                                                                                                  |
| AkD              | Arbeitsstellen kürzerer Dauer                                                                                       |
| AID              | Arbeitsstellen längerer Dauer                                                                                       |
| AM               | Autobahnmeisterei                                                                                                   |
| arbeitsstellenb. | Arbeitsstellenbedingt                                                                                               |
| ARegV            | Anreizregulierungsverordnung                                                                                        |
| AS               | Anschlussstelle                                                                                                     |
| BAB              | Bundesautobahn                                                                                                      |
| BAST             | Bundesanstalt für Straßenwesen                                                                                      |
| BB-Anzeige       | Kontrollleuchte Scania Zone (Body Builder-Anzeige)                                                                  |
| BeTSIE           | Bewertungsmodell von Teilstrecken und Streckenelementen hinsichtlich ihres Ausstattungspotentials mit Oberleitungen |
| bspw.            | beispielsweise                                                                                                      |
| bzgl.            | bezüglich                                                                                                           |
| bzw.             | beziehungsweise                                                                                                     |
| ca.              | circa                                                                                                               |
| CKA              | Catenary Keep Assist                                                                                                |
| CML              | Car Media Lab                                                                                                       |
| CMS              | Catenary Monitory System                                                                                            |
| CO <sub>2</sub>  | Kohlenstoffdioxid                                                                                                   |
| Da               | Darmstadt                                                                                                           |
| d.h.             | das heißt                                                                                                           |
| DHT              | Dedicated Hybrid Transmission                                                                                       |
| DIN              | Deutsches Institut für Normung                                                                                      |
| DORA             | dynamischen Ortung von Arbeitsstellen                                                                               |
| Dr.              | Doktor                                                                                                              |
| DTV              | Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke                                                                           |
| DWD              | Deutscher Wetterdienst                                                                                              |
| EAS              | Electric assisted steering                                                                                          |



|                |                                                                                      |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| ELISA          | Elektrifizierter, intelligenter Schwerlastverkehr auf Autobahnen                     |
| EMV            | Elektro-Magnetische-Verträglichkeit                                                  |
| EN             | Europäische Norm                                                                     |
| ENUBA          | Elektromobilität bei schweren Nutzfahrzeugen zur Umweltentlastung von Ballungsräumen |
| EnWG           | Energiewirtschaftsgesetz                                                             |
| ERS            | Electric Road Systems                                                                |
| EU             | Europäische Union                                                                    |
| EuP            | Elektrotechnisch unterwiesene Person                                                 |
| Evtl.          | eventuell                                                                            |
| EXT            | Kontrollleute Pantograph (External Powersupply)                                      |
| Ffm            | Frankfurt am Main                                                                    |
| FRS            | Fahrzeugrückhaltesystem                                                              |
| ggü.           | gegenüber                                                                            |
| GmbH           | Gesellschaft mit beschränkter Haftung                                                |
| GPKE           | Geschäftsprozesse zur Kundenbelieferung mit Elektrizität                             |
| GPS            | Global Position System                                                               |
| GST            | Großraum- und Schwerlasttransporte                                                   |
| GUw            | Gleichrichterunterwerk                                                               |
| GV             | Gesamtverkehr                                                                        |
| h              | Stunde                                                                               |
| HE VZP-Katalog | Hessischer Verkehrszeichenplan-Katalog                                               |
| HRDG           | Hessisches Rettungsdienstgesetz                                                      |
| i. d. R.       | in der Regel                                                                         |
| IDW            | Inverse Distance Weight-Verfahren                                                    |
| IKEM           | Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität                                      |
| Ing.           | Ingenieur                                                                            |
| IVV            | Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik                                     |
| KV             | Kombinierter Verkehr                                                                 |
| KW             | Kalenderwoche                                                                        |
| LC             | Life Cycle                                                                           |
| LCA            | Life Cycle Analyse                                                                   |

|                 |                                                                           |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Lfw             | Lieferwagen/Kleintransporter                                              |
| Lkw             | Lastkraftwagen                                                            |
| LWL             | Lichtwellenleiter                                                         |
| MaBis           | Marktregeln für die Durchführung der Bilanzkreisabrechnung Strom          |
| MaLo            | Marktlotation                                                             |
| MeLo            | Messlokation                                                              |
| MessEG          | Mess- und Eichgesetz                                                      |
| MessEV          | Mess- und Eichverordnung                                                  |
| MQ              | Messquerschnitt                                                           |
| ms              | Millisekunden                                                             |
| MSBG            | Messstellenbetreibergesetz                                                |
| M.Sc.           | Master of Science                                                         |
| Mrd.            | Milliarden                                                                |
| MW              | Megawatt                                                                  |
| MWp             | Megawatt Peak                                                             |
| N               | Stichprobengröße                                                          |
| NO <sub>x</sub> | Stickstoffoxide                                                           |
| Nr.             | Nummer                                                                    |
| NST             | Nomenclature uniforme des marchandises pour les statistiques de transport |
| OBU             | On Board Unit                                                             |
| OH-Lkw          | Oberleitungs-Hybrid-Lkw                                                   |
| o. S.           | ohne Seite                                                                |
| PQ-Box          | Power Quality-Box                                                         |
| Prof.           | Professor                                                                 |
| PTB             | Physikalisch technische Bundesanstalt                                     |
| RAA             | Richtlinien für die Anlage von Autobahnen                                 |
| RSA             | Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen               |
| S.              | Seite                                                                     |
| SAM             | Straßen- und Autobahnmeisterei                                            |
| SAP IS-U        | SAP Industry Solution Utilities                                           |
| SE              | Streckenelement                                                           |

|              |                                                                |
|--------------|----------------------------------------------------------------|
| StVZO        | Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung                             |
| SV           | Schwerverkehr                                                  |
| SV-Kfz       | Schwerverkehr-Kraftfahrzeuge                                   |
| systemb.     | systembedingt                                                  |
| SZM          | Sattelzugmaschine                                              |
| t            | Tonne                                                          |
| TEN-V        | Transeuropäisches Verkehrsnetz                                 |
| TEU          | Twenty-foot Equivalent Unit                                    |
| TP           | Transportpartner                                               |
| TRL          | Technology Readiness Level                                     |
| TU           | Technische Universität                                         |
| T+R          | Tank- und Rastanlagen                                          |
| u. a.        | unter anderem                                                  |
| unfallb.     | unfallbedingt                                                  |
| UP           | Umschlagpunkt                                                  |
| VDE          | Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik |
| VEFK         | verantwortliche Elektrofachkraft                               |
| VEMAGS       | Verfahrensmanagement für Großraum- und Schwerlasttransporte    |
| vgl.         | vergleiche                                                     |
| VZA          | Verkehrszeichenausleger                                        |
| VZB          | Verkehrszeichenbrücke                                          |
| VZD          | Verkehrszentrale Deutschland                                   |
| VZH          | Verkehrszentrale Hessen                                        |
| V zul.       | Zulässige Höchstgeschwindigkeit                                |
| wartungsb.   | wartungsbedingt                                                |
| witterungsb. | witterungsbedingt                                              |
| z.B.         | zum Beispiel                                                   |
| zGG          | Zulässiges Gesamtgewicht                                       |

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

|                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abbildung 1: OH-Lkw auf dem ELISA-eHighway.....                                                                         | 4   |
| Abbildung 2: Im ELISA-Feldversuch eingesetzte OH-Lkw.....                                                               | 4   |
| Abbildung 3: Aufbau der Oberleitung im Projekt ELISA.....                                                               | 9   |
| Abbildung 4: Grundlegender Aufbau der Evaluationsmatrix.....                                                            | 16  |
| Abbildung 5: Nummerierung der Forschungshypothesen.....                                                                 | 17  |
| Abbildung 6: Durchschnittliche täglich zurückgelegte Distanz und durchschnittliche Fahrtenanzahl unter der Anlage ..... | 24  |
| Abbildung 7 :Kontrollzentrum der Verkehrszentrale Deutschland (Autobahn GmbH, 2021) ....                                | 46  |
| Abbildung 8: Evaluationsmatrix ELISA II-B .....                                                                         | XII |

## TABELLENVERZEICHNIS

|                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1: Übersicht der relevanten Parameter der ELISA-Oberleitungsinfrastruktur .....                                            | 9  |
| Tabelle 2: Übersicht der OH-Lkw-Konfiguration – Generation 1.1 und 1.2 .....                                                       | 11 |
| Tabelle 3: Übersicht über die Unterschiede der OH-Lkw Generationen 1.1 und 1.2 im Projekt ELISA .....                              | 12 |
| Tabelle 4: Übersicht über das OH-Lkw Instandhaltungskonzept .....                                                                  | 13 |
| Tabelle 5: Handreichung zur Interpretation der Antwortmöglichkeiten von Hypothesen.....                                            | 18 |
| Tabelle 6: Hypothesenübersicht zur technischen Eignung von OH-Lkw für Transportunternehmen.....                                    | 21 |
| Tabelle 7: Hypothesenübersicht zur Integration von OH-Lkw in Logistikprozesse.....                                                 | 23 |
| Tabelle 8: Hypothesenübersicht zum Kraftstoff- und Stromverbrauch .....                                                            | 25 |
| Tabelle 9: Hypothesenübersicht zur Technikbewertung von OH-Lkw .....                                                               | 31 |
| Tabelle 10: Gemittelte Verfügbarkeit der OH-Lkw über den jeweiligen Betrachtungszeitraum                                           | 32 |
| Tabelle 11: Hypothesenübersicht zur Technikbewertung des Pantographen .....                                                        | 33 |
| Tabelle 12: Hypothesenübersicht zum Herstellungsaufwand .....                                                                      | 34 |
| Tabelle 13: Hypothesenübersicht zur Life Cycle Analyse des OH-Lkws .....                                                           | 36 |
| Tabelle 14: Hypothesenübersicht zum Umgang mit Lastspitzen .....                                                                   | 38 |
| Tabelle 15: Hypothesenübersicht zum Potential zur dezentralen Stromversorgung .....                                                | 40 |
| Tabelle 16: Hypothesenübersicht zum Aufbau eines modellhaften Abrechnungssystems für den Feldversuch .....                         | 41 |
| Tabelle 17: Hypothesenübersicht zu den Betriebsunterbrechungen .....                                                               | 44 |
| Tabelle 18: Hypothesenübersicht zur Bedienbarkeit und zur Integrierbarkeit in eine Verkehrszentrale .....                          | 47 |
| Tabelle 19: Hypothesenübersicht zur Einrichtungskosten der Leitstelle .....                                                        | 48 |
| Tabelle 20: Hypothesenübersicht zu den Aufwandsänderungen der Leitstelle .....                                                     | 49 |
| Tabelle 21: Hypothesenübersicht zur Aufwandsänderung Leittechnik .....                                                             | 51 |
| Tabelle 22: Hypothesenübersicht zu dem Störfallmanagement und Zuständigkeiten Leitstelle                                           | 52 |
| Tabelle 23: Hypothesenübersicht zur Zuverlässigkeit der Fahrleitungsanlage.....                                                    | 55 |
| Tabelle 24: Hypothesenübersicht Passive Schutzmaßnahmen.....                                                                       | 56 |
| Tabelle 25: Hypothesenübersicht Bautechnische Machbarkeit .....                                                                    | 59 |
| Tabelle 26: Hypothesenübersicht Erstellungskosten .....                                                                            | 62 |
| Tabelle 27: Hypothesenübersicht zum Life Cycle Assessment Infrastruktur .....                                                      | 64 |
| Tabelle 28: Hypothesenübersicht zum Verkehrsablauf .....                                                                           | 67 |
| Tabelle 29: Hypothesenübersicht zum Fahrverhalten .....                                                                            | 69 |
| Tabelle 30: Hypothesenübersicht zur baulichen Änderung an Bestandsbauwerken .....                                                  | 71 |
| Tabelle 31: Hypothesenübersicht zur baulichen Änderung an Bestandsbauwerken .....                                                  | 72 |
| Tabelle 32: Hypothesenübersicht zum Einfluss der baulichen Änderungen auf die Gesamterstellungskosten eines eHighway-Systems ..... | 73 |

|                                                                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabelle 33: Hypothesenübersicht zum Life Cycle Assessment Passive Schutzeinrichtung.....                              | 75  |
| Tabelle 34: Hypothesenübersicht zur Bewertung des Betriebskonzepts .....                                              | 77  |
| Tabelle 35: Hypothesenübersicht zu Einflüssen auf Unterhaltungsmaßnahmen.....                                         | 80  |
| Tabelle 36: Hypothesenübersicht zur Akzeptanz auf Seiten des Straßenbetriebsdienstes.....                             | 82  |
| Tabelle 37: Hypothesenübersicht zu Einflüssen auf Arbeitsstellen kürzerer/längerer Dauer ....                         | 85  |
| Tabelle 38: Hypothesenübersicht zu Einflüssen auf Großraum- und Schwerlasttransporten....                             | 86  |
| Tabelle 39: Hypothesenübersicht zur Zuverlässigkeit des Gesamtsystems.....                                            | 88  |
| Tabelle 40: Hypothesenübersicht zur Nachnutzung der Teststrecke .....                                                 | 89  |
| Tabelle 41: Hypothesenübersicht Akzeptanz auf Seiten der Verkehrsteilnehmenden .....                                  | 91  |
| Tabelle 42: Hypothesenübersicht zur Akzeptanz auf Seiten der Öffentlichkeit .....                                     | 93  |
| Tabelle 43: Übersicht veröffentlichte Bücher aus ELISA .....                                                          | 97  |
| Tabelle 44: Beiträge in „Elektrifizierung von Autobahnen für den Schwerverkehr. Umsetzung des Systems eHighway“ ..... | 97  |
| Tabelle 45: Angefertigte Buchbeiträge im Rahmen des ELISA-Projekts .....                                              | 101 |
| Tabelle 46: Dissertationen im Zusammenhang mit dem ELISA-Projekt.....                                                 | 102 |
| Tabelle 47: Veröffentlichungen in Fachzeitschriften und Konferenzbänden im Zusammenhang mit dem ELISA-Projekt.....    | 102 |
| Tabelle 48: Übersicht ausgewählter Konferenzbeiträge und -vorträge.....                                               | 104 |
| Tabelle 49: Übersicht ausgewählter projektinterner Berichte .....                                                     | 106 |
| Tabelle 50: Legende zur Evaluationsmatrix .....                                                                       | XI  |

## LITERATURVERZEICHNIS

- [1] **Boltze, M., Wauri, D., Riegelhuth, G., Reußwig, A., Gurske, D. (2021):** Beschreibung des Projekts ELISA, in: Elektrifizierung von Autobahnen für den Schwerverkehr. Umsetzung des Systems eHighway. Boltze, M., Lehmann, M., Riegelhuth, G., Sommer, H., Wauri, D. (Hrsg.), Kirschbaum Verlag, Bonn.
- [2] **Die Autobahn GmbH des Bundes, Technische Universität Darmstadt – Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik, Siemens Mobility GmbH, ENTEGA AG (2021):** ELISA – Elektrifizierter, innovativer Schwerverkehr auf Autobahnen, Teilprojekt ELISA II-B<sup>Plus</sup>: Begleitung der Erweiterung der Versuchsstrecke und Verlängerung des Versuchsbetriebs, Projektskizze (unveröffentlicht), Frankfurt am Main, Darmstadt, Erlangen.
- [3] **Giebel, S.; Hahn, G. (2021):** B.4 Technische Gestaltung In: Elektrifizierung von Autobahnen für den Schwerverkehr. Umsetzung des Systems eHighway. M. Boltze, M. Lehmann, G. Riegelhuth, H. Sommer, D. Wauri (Hrsg.), Kirschbaum Verlag, Bonn (2021), 150-153.
- [4] **Giebel, S. (2019):** The construction of ELISA eHighway Hesse, 3rd Electric Road Systems Conference 2019, Frankfurt.
- [5] **Hessen Mobil – Straßen- und Verkehrsmanagement, ENTEGA AG, Siemens Mobility GmbH, Technische Universität Darmstadt (2019):** ELISA II – Elektrifizierter, innovativer Schwerverkehr auf Autobahnen II, Teilprojekt ELISA II-B: Vorbereitung, Durchführung und Evaluation eines realitätsnahen Probetriebs von OH-Lkw auf der ELISA-Versuchsanlage, Vorhabenbeschreibung zur Förderbekanntmachung BAnz AT 15.12.2017 B4, Punkt 2.1, Wiesbaden, Erlangen, Darmstadt.
- [6] **Eberlin, S., Hock, B. (2014):** *Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit technischer Systeme - Eine Einführung in die Praxis*, Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- [7] **DIN EN ISO 14044:2006-10:** Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006).
- [8] **DIN EN ISO 14040:2009-11:** Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006).
- [9] **Huijbregts, Mark A. J.; Steinmann, Zoran J. N.; Elshout, Pieter M. F.; Stam, Gea; Verones, Francesca; Vieira, Marisa et al. (2017):** ReCiPe2016. A harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. In: *Int J Life Cycle Assess* 22 (2), S. 138–147. DOI: 10.1007/s11367-016-1246-y.
- [10] **Weidema, B. P.; Bauer, C.; Hischer, R.; Mutel, C. (2013):** Overview and Methodology. Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. ecoinvent report No. 1 (v3). St. Gallen: The ecoinvent Centre.

- [11] **DIN – Deutsches Institut für Normung e.V.:** DIN EN 1317-2:2010, Rückhaltesysteme an Straßen – Teil 2: Leistungsklassen, Abnahmekriterien für Anprallprüfungen und Prüfverfahren für Schutzeinrichtungen und Fahrzeugbrüstungen, Berlin, 2011
- [12] **FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2009):** Richtlinien für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme (RPS), Köln, 2009
- [13] **Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (1995):** *RSA – Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen.*
- [14] **Hessen Mobil (2016):** *Hessischer Verkehrszeichenplan-Katalog für Arbeitsstellen kürzerer Dauer.*
- [15] **Hessen Mobil (2015):** *Hessischer Verkehrszeichenplan-Katalog für Arbeitsstellen längerer Dauer.*
- [16] **Schöpp, F.; Öztürk, Ö.; Linke, R.; Wilke, J.; Boltze, M. (2020):** "Electrification of Road Freight Transport – Energy Consumption Analysis of Overhead Line Hybrid Trucks". Konferenzbeitrag bei Transportation Research Board 100th Annual Meeting, 25. Januar 2021 (unveröffentlicht). <https://trid.trb.org/view/1759512> (Letzter Zugriff: 30. März 2021).
- [17] **Schöpp, F.; Öztürk, Ö.; Linke, R.; Wilke, J.; Boltze, M. (2021):** „Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs – Kraftstoff- und Stromverbrauchsanalyse von Oberleitungs-Hybrid-Lastkraftwagen“. In: Internationales Verkehrswesen, Ausgabe 3 | 2021, Baidersbronn, 2021, S. 40-45.
- [18] eHighway Feldversuch in Hessen auf der BAB A5: **ELISA - Elektrifizierter, innovativer Schwerverkehr auf Autobahnen.** <https://ehighway.hessen.de/>. (Letzter Zugriff 09. März 2022).
- [19] eHighway Feldversuch in Schleswig-Holstein auf der BAB A1: **FESH - Feldversuch eHighway in Schleswig-Holstein.** <https://www.ehighway-sh.de/de/>. (Letzter Zugriff 09. März 2022).
- [20] eHighway Feldversuch in Baden-Württemberg auf der B462: **eWayBW - eHighway Baden-Württemberg.** <https://ewaybw.de>. (Letzter Zugriff 09. März 2022).
- [21] **BeTSIE:** Softwarebasiertes Bewertungsmodell von Teilstrecken und Streckenelementen hinsichtlich ihres Ausstattungspotentials mit Oberleitungen vgl. auch **Rolko, Kevin (2020):** Simulationsbasierte Optimierung der Ausstattung von Teilstrecken mit Systemen zur Energieversorgung von Lastkraftwagen während der Fahrt. Dissertation. Technische Universität Darmstadt. Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik.
- [22] **StratES (2019):** Forschungs- und Dialogvorhaben: Strategie für die Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs. Öko-Insitut, Hochschule Heilbronn.



- [23] **BOLD (2019):** Begleitforschung Oberleitungs-Lkw-Forschung in Deutschland. Fraunhofer ISI - Institut für System- und Innovationsforschung, ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Öko-Institut e.V.

## ANHANG

### I. Evaluationsmatrix

Die Evaluationsmatrix bildet das gesamte Forschungsprogramm zum Projekt ELISA II-B ab. Der vorliegende Bericht zeigt die aktuellen Zwischenergebnisse zusammenfassend auf. Die farbliche Markierung innerhalb der Matrix kennzeichnet die zuständigen und beteiligten Projektpartner an den Evaluationsaspekten. Die Legende liefert einen Überblick über die Zuordnung von Farben zu Projektpartnern.

Tabelle 50: Legende zur Evaluationsmatrix

|                                                    |
|----------------------------------------------------|
| TU Darmstadt                                       |
| Die Autobahn GmbH des Bundes (vorher Hessen Mobil) |
| Siemens                                            |
| Entega                                             |

| Arbeitspakete | Akteure                            | Untersuchungsgegenstände                              | Evaluationsbereiche                                             |                                                                     |                                                 |                                                               |                     |
|---------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------|
|               |                                    |                                                       | 1. verkehrlich-technisch                                        | 2. ökonomisch                                                       | 3. ökologisch                                   | 4. rechtlich-organisatorisch                                  | 5. akteurspezifisch |
| 3.1           | Transporteure                      | A. Logistikprozesse, Tourenplanung, Ressourcenplanung | a Technische Eignung der OHL/Lkw für Transportunternehmen       | a Anschaffungskosten für OHL/Lkw                                    | a Kraftstoff- und Stromverbrauch                | a Akzeptanz auf Seiten der Lkw-Fahrer                         |                     |
|               |                                    |                                                       | b Integration der OHL/Lkw in Logistikprozesse                   | b Betriebskosten für OHL/Lkw                                        | b THG-Emissionen                                | b Akzeptanz auf Seiten der Transporteure (Management)         |                     |
| 3.2           | Fahrzeughersteller                 | B. Fahrzeug                                           | c Tourenplanung von OHL/Lkw                                     | c Nachfragerpotenzial der Teststrecke und der OHL/Lkw               | c Luftschadstoff-Emissionen NOx, PM             | c Akzeptanz auf Seiten der Transporteure (Management)         |                     |
|               |                                    |                                                       | d Fahrzeugbedarf und Fahrzeugmax bei Transportunternehmen       | a Herstelleraufwand                                                 | a Life Cycle Assessment des OHL/Lkw             | a Akzeptanz auf Seiten der Fahrzeughersteller                 |                     |
| 3.3           | Energieversorgungsunternehmen      | C. Energieversorgung                                  | a Technikbewertung von OHL/Lkw                                  |                                                                     |                                                 | a Akzeptanz auf Seiten der Energieversorgungsunternehmen      |                     |
|               |                                    |                                                       | b Technikbewertung des Pantographen                             |                                                                     |                                                 |                                                               |                     |
| 3.4           | Oberleitungsinfrastrukturbetreiber | D. Leittechnik                                        | a Umgang mit Lastspitzen                                        |                                                                     |                                                 | a Modellhaftes Abschreckungssystem für den Fahrersucht        |                     |
|               |                                    |                                                       | b Potential zur dezentralen Stromversorgung                     |                                                                     |                                                 |                                                               |                     |
| 3.5           | Oberleitungsinfrastrukturerrichter | E. Fahrlleitung                                       | a Erkenntnisse zum Oberleitungsbehob                            | a Erreichungskosten der Leitstelle                                  |                                                 | a Akzeptanz auf Seiten der Oberleitungsinfrastrukturbetreiber |                     |
|               |                                    |                                                       | b Bedenbarkeit und Integrierbarkeit in Verkehrsnetzen           | b Aufwandsänderung bei Integration der Leitstelle                   |                                                 | b Akzeptanz auf Seiten des Leitstellenpersonals               |                     |
| 3.6           | Straßeninfrastrukturbetreiber      | F. Fahrbahn                                           | a Zuverlässigkeit der Fahrlleitungsanlage                       | a Erhaltungskosten                                                  | a Life Cycle Assessment Infrastruktur           |                                                               |                     |
|               |                                    |                                                       | b Passive Schutzmaßnahmen                                       | b Aufwandsänderung Instandhaltungskosten                            |                                                 |                                                               |                     |
| 3.7           | Straßeninfrastrukturbetreiber      | G. Straßenbetriebsdienst                              | c Bautechnische Machbarkeit                                     | c Aufwandsänderung Betriebskosten                                   |                                                 | a Bewertung des Betriebskonzepts                              |                     |
|               |                                    |                                                       | a Verkehrsabbau                                                 | a Einfluss bautechnische Änderung auf Gesamtstallungskosten highway | a THG-Emissionen Strecke                        | a Akzeptanz auf Seiten der Straßeninfrastrukturbetreiber      |                     |
| 3.8           | Gesellschaft                       | H. Gesamtsystem                                       | b Fahrverhalten                                                 | b Einfluss aufwandsänderung Betriebskosten                          | b Luftschadstoff-Immisionen Strecke             |                                                               |                     |
|               |                                    |                                                       | c Schärfer der Beschleunigung durch Verkehrsteilnehmer          | d Durchföhrung Großraumtransporte im Anlagenbereich                 | c Lärm-Immisionen Strecke                       |                                                               |                     |
| 3.8           | Gesellschaft                       | H. Gesamtsystem                                       | d Bauliche Änderung Bestandsbauwerke im Anlagenbereich          | a Aufwandsänderung                                                  | d Life Cycle Assessment Passive Schutzanordnung |                                                               |                     |
|               |                                    |                                                       | e Anlagenbereich                                                | a Einfluss aufwandsänderung Betriebskosten                          |                                                 |                                                               |                     |
| 3.8           | Gesellschaft                       | H. Gesamtsystem                                       | a Einflüsse Unterhaltungsmaßnahmen aus arbeitsrechtlicher Sicht | a Nachnutzung Teststrecke                                           |                                                 | a Anpassungsbedarf bestehender Normen                         |                     |
|               |                                    |                                                       | b Einflüsse auf Großraum- und Schwertransporte                  | b Einfluss aufwandsänderung Betriebskosten                          |                                                 | b Anpassungsbedarf bestehender Gesetze                        |                     |
| 3.8           | Gesellschaft                       | H. Gesamtsystem                                       | c Zuverlässigkeit des Gesamtsystems                             |                                                                     |                                                 | c Akzeptanz auf Seiten der Öffentlichkeit                     |                     |

Abbildung 8: Evaluationsmatrix ELISA II-B (IVV 2021)