

Hinweispapier für Oberleitungsinfrastrukturbetreiber

Betrachtungszeitraum: 05.2019 – 06.2022




Bild: Hbessen Mobil [2020]

In dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) geförderten Forschungsprojekt „Elektrischer, innovativer Schwerverkehr auf Autobahnen“ (ELISA II-B) wird der Realbetrieb einer Pilotstrecke mit oberleitungsgebundener Energieversorgung und der Nutzung durch elektrisch angetriebene Nutzfahrzeuge im öffentlichen Straßenraum erprobt. ELISA zeichnet sich unter anderem durch einen ganzheitlichen, interdisziplinären Evaluationsansatz des eHighway-Systems im Zusammenwirken mit seiner Systemumwelt aus. Das notwendige Fundament hierfür bildet der Feldversuch, für den ein Teilabschnitt der Bundesautobahn BAB 5 zwischen Frankfurt am Main und Darmstadt beidseitig mit einer Oberleitung über je fünf Kilometer Länge ausgestattet wurde. Über den Untersuchungszeitraum zwischen Mai 2019 und Juni 2022 wurde das eHighway-System fahrzeug- und infrastrukturseitig getestet und eine Vielzahl relevanter verkehrs- und energietechnischer, ökologischer, ökonomischer und aktorenspezifischer Aspekte, die für einen möglichen Ausbau des Systems relevant sein können, gemeinsam mit Wissenschafts- und Industriepartnern evaluiert.

Dieses Hinweispapier richtet sich an Oberleitungsinfrastrukturbetreiber (OLB). Relevante Kernergebnisse aus dem Projekt ELISA werden aufgezeigt. Insbesondere werden Hinweise zur Verfügbarkeit der Anlage, zur Nutzung der Infrastruktur von Verkehrsleitzentralen, zur Steuerung und Überwachung der Oberleitungsinfrastruktur, zum möglichen Beitrag der Betriebserkenntnisse, zur Weiterentwicklung der Technologie, zum Nutzens eines Kamerasystems im Bereich einer Oberleitungsinfrastruktur, sowie zu Aspekten des Störfallmanagements zusammengetragen.

1. Inhaltsverzeichnis

1. Inhaltsverzeichnis	1
2. Systembeschreibung eHighway	1
3. Hinweise für Oberleitungsinfrastrukturbetreiber (OLB)	3
4. Schlussfolgerungen und Ausblick.....	8
5. Schrifttum und weiterführende Literatur	9
6. Autorinnen und Autoren des Hinweispapiers ..	9
7. Beteiligte Institutionen.....	9

2. Systembeschreibung eHighway

Der fortwährende Klimawandel erfordert zügiges Handeln. Zukunftsfähige Lösungen werden benötigt. Hiervon betroffen ist vor allem der Verkehrssektor, im Speziellen der Transportsektor. Viele Lösungsansätze werden diskutiert und derzeit erprobt. Als besonders interessant zeigt sich mehr und mehr die Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs mittels Oberleitungen. Die Kombination der Effizienz der Schiene mit der Flexibilität der Straße nutzt das als „eHighway“ bezeichnete System zur kontinuierlichen Stromversorgung von Lastkraftwagen während der Fahrt geschickt aus: Sogenannte Oberleitungs-Hybrid-Lastkraftwagen (OH-Lkw) werden neben ihrem traditionellen Verbrennungsmotor mit einer elektrischen Maschine, einer Batterie sowie einem Stromabnehmer – dem sogenannten Pantograph – ausgestattet. Straßenseitig wird eine Oberleitungsinfrastruktur errichtet. Sobald ein Streckenabschnitt mit

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit



Erneuerbar
mobil

verfügbarer Oberleitungsinfrastruktur von einem OH-Lkw erreicht wird, wird durch den Pantographen eine kraftschlüssige Verbindung zwischen OH-Lkw und Oberleitung hergestellt – das Fahrzeug bezieht nun Strom aus der Oberleitung und fährt elektrisch. Zeitgleich wird die im Fahrzeug verbaute Batterie geladen. Endet der mit dem eHighway-System ausgestattete Streckenabschnitt oder soll ein vorausfahrendes, langsames Fahrzeug überholt werden, wird der Pantograph abgesenkt. Der OH-Lkw bezieht seine Energie nun aus der aufgeladenen Batterie. Aufgrund der Feldversuchscharakteristik ermöglicht derzeit noch ein Verbrennungsmotor die Überwindung auch größerer Entfernungen – perspektivisch wird dieser mit einem fortschreitenden Netzausbau an Bedeutung verlieren und später nicht mehr notwendig sein. Eine Dekarbonisierung des aktuell noch immer durch den Verbrennungsmotor geprägten Straßengüterverkehrs rückt durch einen effizienten Ausbau des eHighway-Systems in greifbare Nähe [Lehmann et al. 2021].

Das eHighway-System wird zum gegenwärtigen Zeitpunkt in Deutschland auf drei Teststrecken untersucht. Vor allem die hessische Teststrecke („ELISA“) nimmt eine Vorreiterrolle ein: Als erste seiner Art wird hier das eHighway-System im realen Straßenverkehr umfassend evaluiert.



Bild 1: ELISA-eHighway-Teststrecke BAB 5 zwischen Frankfurt am Main und Darmstadt

Die auf der ELISA-Teststrecke errichtete Oberleitungsinfrastruktur bezieht elektrische Energie aus zwei Gleichrichterunterwerken, welche an das Mittelspannungsnetz angeschlossen sind. Die eigentliche Oberleitungsanlage setzt sich u.a. zusammen aus Masten, Ausleger, Tragseil und Fahrdrabt. Insgesamt sind etwa fünf Kilometer Autobahnstrecke je Fahrtrichtung zwischen der Anschlussstelle Langen/Mörfelden und der

Anschlussstelle Weiterstadt mittels Fahrdrabt elektrifiziert. Hierzu wurden in einem Abstand von bis zu 57 Metern insgesamt 223 Masten parallel zum äußeren Fahrbahnrand und 6 Masten im Bereich der Tank- und Rastanlage Gräfenhausen in Mittellage errichtet [Giebel, Hahn 2021]. Eine einseitige Erweiterung der ELISA-Teststrecke in Fahrtrichtung Süden um etwa 7 Kilometer wird bis Mitte 2023 realisiert.

Zwischen Mai 2019 sind schrittweise fünf OH-Lkw der ersten Generation in den Realbetrieb bei fünf diversifizierten Transportunternehmen gestartet. Bei den OH-Lkw der ersten Generation 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 dem Pantographen.

Bezeichnung	OH-Lkw-Konfiguration
Generation	Generation 1.1 und 1.2
Fahrzeugtyp	Scania R450 A4x2NB
Fahrerkabine	R17N (nur Notliege)
Antrieb	Parallelhybrid
Leistung des Verbrennungsmotors (Diesel)	450 PS (Tankgröße: 300 dm ³)
Leistung der E-Maschine	130 kW
Batterie	18,5 kWh
Abmessung	Gesamtlänge inkl. Sattelauf- lieger: 16,85 m Höhe: 3,95 m Länge: 6,1 m Breite: 2,55 m
Leergewicht der Sattelzugmaschine	9,1 - 9,2 t
Zulässiges Gesamtgewicht des Sattelzugs	41,786 t (KV: 44 t)

Tabelle 1: Technische Informationen der ersten OH-Lkw-Generation

3. Hinweise für Oberleitungsinfrastrukturbetreiber (OLB)

3.1. Oberleitungsbetrieb

Der Betrieb der ELISA-Versuchsanlage wurde am 07. Mai 2019 aufgenommen. Damit ging die erste eHighway-Anlage auf einer deutschen Autobahn und im öffentlichen Verkehrsraum in Betrieb. Da zum Zeitpunkt der Betriebsaufnahme noch keine Erfahrungen mit dem Betrieb einer eHighway-Anlage und den damit einhergehenden Störfallmanagementprozessen vorlagen, wurde der Betrieb nach der Inbetriebnahme der ELISA-Versuchsanlage in zwei Phasen unterteilt:

1. Einführungsphase „8/5-Betrieb“
2. Regelbetrieb „24/7-Betrieb“

In der **Einführungsphase** stand die ELISA-Versuchsanlage den Nutzenden von Montag bis Freitag in der Zeit von 08:00 Uhr bis 16:00 Uhr zur Verfügung. Es handelte sich um einen „8/5-Betrieb“, also einem Betrieb mit je 8 Betriebsstunden an 5 Tagen in der Woche. Die Abschaltungen und alle störfallmanagementrelevanten Aufgaben wurden in der Einführungsphase durch speziell geschultes Personal in der Verkehrszentrale Hessen (VZH; heute: Verkehrszentrale Deutschland, VZD) des Anlagenbetreibers übernommen. Auf diese Weise wurde sichergestellt, dass auf Anforderung der Einsatzkräfte von Polizei oder Feuerwehr die Abschaltung und ggf. die manuelle Erdung vor Ort durch das geschulte Fachpersonal der VZD durchgeführt werden konnte. Während des Einführungsbetriebs wurden, in enger Abstimmung mit den Rettungskräften, die Störfallprozesse für den Regelbetrieb erarbeitet.

Im **Regelbetrieb**, welcher am 02. Januar 2020 aufgenommen wurde, steht die ELISA-Versuchsanlage den Nutzenden 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 7 Tagen der Woche. Um diesen Betrieb zu ermöglichen, wurden die Einsatzkräfte der Feuerwehr im Umgang mit der ELISA-Versuchsanlage geschult und mit entsprechendem Material ausgestattet, so dass sie im Notfall auch eigenständig dazu in der Lage sind, die ELISA-Versuchsanlage manuell zu erden. Die Abschaltung der ELISA-Versuchsanlage kann rund um die Uhr durch die 24/7 anwesenden Operatoren in der VZD durchgeführt werden. Auch diese wurden dafür entsprechend geschult.

Während des Betriebs der ELISA-Versuchsanlage kommt es hin und wieder zu Betriebsunterbrechun-

gen. Im Wesentlichen kann dabei zwischen geplanten und ungeplanten Betriebsunterbrechungen unterschieden werden.

Unter den **geplanten Betriebsunterbrechungen** werden Betriebsunterbrechungen verstanden, die für den Anlagenbetreiber absehbar sind und deren Ankündigung hinreichend lange vor der eigentlichen Abschaltung liegt. Beispiele dafür sind Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten an der ELISA-Versuchsanlage, 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. Beispielhaft liegt für Bauarbeiten und sonstige nichtelektrotechnische Arbeiten der Schutzabstand für den Spannungsbereich der ELISA Versuchsanlage bei einem Meter. Ein weiteres Beispiel für geplante Betriebsunterbrechungen sind Updates der Anlagensoftware, sofern der Betrieb während des Updates unterbrochen werden muss.

Die **ungeplanten Betriebsunterbrechungen** sind alle Betriebsunterbrechungen, die von den Gefahrenabwehrbehörden, also den Feuerwehren oder der Polizei, aufgrund einer akuten Gefahrenlage im Anlagenbereich angefordert werden. Auch die ELISA-Versuchsanlage unmittelbar betreffende Ereignisse, wie eine Kollision eines überhohen Fahrzeugs mit der Oberleitung oder wetterbedingte Schäden, die entweder den Oberleitungsinfrastrukturbetreiber dazu veranlassen, den Betrieb zu unterbrechen oder eines der Sicherheitssysteme der ELISA-Versuchsanlage auslösen, sind ungeplante Betriebsunterbrechungen. Ein Beispiel dafür bildet eine Unterbrechung der Datenübertragung zwischen der ELISA-Versuchsanlage und der Leitstelle, aufgrund derer die Umsetzung sicherheitsrelevanter Prozesse im Notfall nicht gewährleistet werden kann.

Seit Beginn des Regelbetriebs bis Juni 2022 wurden insgesamt 55 Abschaltungen dokumentiert, davon 40 ungeplante und 15 geplante. Aus Sicherheitsgründen wurden bei ungeplanten Abschaltungen stets beide Fahrrichtungen der Anlage abgeschaltet. Unter den ungeplanten Abschaltungen machten 32 Verkehrsunfälle im Anlagenbereich den häufigsten Grund aus. Im betrachteten Zeitraum kam es vier Mal zu Kommunikationsproblemen zwischen Anlage und Zentrale, die eine Abschaltung zur Folge hatten. Der Großteil der geplanten Abschaltungen war auf Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten (sieben Abschaltungen) sowie Arbeiten Dritter, wie z. B. Gehölz- und Mäharbeiten sowie Anpassungen an der Beschilderung (sechs Abschaltungen) zurückzuführen (Bild 2). Von Interesse ist auch die Entwicklung der Häufigkeit von ungeplanten Betriebsunterbrechungen im Verlauf des Regelbetriebes. Den durchschnittlich 1,41

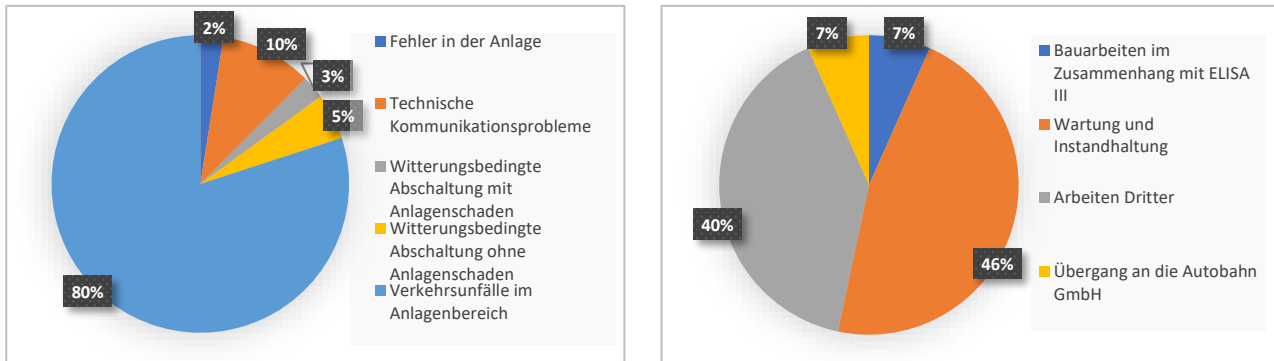


Bild 2: Darstellung ungeplanter (links) und geplanter (rechts) Betriebsunterbrechungen im Regelbetrieb (beide Fahrrichtungen)

Abschaltungen pro Monat auf Aufforderung der Gefahrenabwehrbehörden im Jahr 2020 stehen durchschnittlich 1,25 Abschaltungen pro Monat aus den gleichen Gründen im Jahr 2021 gegenüber. In der ersten Hälfte des Jahres 2022 (Stichtag 01.07.22) konnten durchschnittlich 1,17 ungeplante Abschaltungen pro Monat verzeichnet werden.

Die Abnahme ist unter anderem einem Gewöhnungseffekt seitens der Gefahrenabwehrbehörden zuzuschreiben, die im Verlauf des Betriebs besser einzuschätzen lernten, welches Ereignis eine Abschaltung bedingt und welche nicht.

Die Ursächlichkeit der auftretenden Abschaltungen wird stetig beobachtet und analysiert, sodass für den zukünftigen Betrieb weitere Optimierungen vorgenommen werden können.

3.2. Bedienbarkeit und Integrierbarkeit in Verkehrszentralen

Der Betrieb eines eHighway erfolgt aus der Leitstelle heraus. Hier wird der Zustand der Anlage überwacht und gesteuert, um den Pflichten eines Anlagenbetreibers nach DIN VDE 0105-100 für eine Energieanlage im Sinne des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) nachzukommen. Während bei anderen eHighway-Feldversuchen ein Betrieb der Infrastruktur über Leitstellen von Straßenbahnbetrieben (FESH) oder über Energieversorgerunternehmen (eWayBW) verfolgt wird, erfolgt die Überwachung und Steuerung der ELISA-Versuchsanlage aus dem Kontrollzentrum der Verkehrszentrale Deutschland heraus.

Die Wahl des Kontrollzentrums der Verkehrszentrale Deutschland erschien im Projekt ELISA zielführend, da das Kontrollzentrum allen beteiligten Stellen, wie beispielsweise den Feuerwehroleitstellen und der Polizei, bereits seit Jahrzehnten als verlässlicher und kompetenter Ansprechpartner bei Ereignissen auf den Autobahnen in Hessen bekannt ist. Zudem gab es bei Projektbeginn bereits einen 24/7-Schichtbetrieb des operativen Personals (Operatoren) in der Verkehrszentrale, so dass für den Regelbetrieb der

Oberleitungsanlage auf bereits bestehende organisatorische Strukturen aufgebaut werden konnte.

Während der Einführungsphase wurde der Betrieb der ELISA-Versuchsanlage inklusive der Steuerung und der Überwachung durch entsprechend geschultes Personal sichergestellt. Das Personal führte auch bei Bedarf die Abschaltungen und Sicherungsmaßnahmen vor Ort durch. In dieser Zeit nahmen die Operatoren der Verkehrszentrale - während der Betriebszeit zwischen 8 und 16 Uhr - lediglich Anrufe zu etwaigen Vorkommnissen entgegen und leiteten die Abschaltanforderungen an die Projektgenieure des ELISA-Teams weiter.

Mit den Schulungen für die Operatoren der Verkehrszentrale hinsichtlich einer Abschaltung der ELISA-Versuchsanlage im Notfall und für die Einsatzkräfte der auf dem Streckenabschnitt aktiven Feuerwehren und der Autobahnpolizei hinsichtlich des Umgangs mit der ELISA-Versuchsanlage im Einsatzfall sowie mit der Übergabe von Erdungswerkzeug an die Feuerwehren wurden während des Einführungsbetriebs die Rahmenbedingungen für den Übergang in den Regelbetrieb ab 2020 geschaffen.

Die Operatoren sind seither in der Lage die Anlage auf Anforderung der Gefahrenabwehrbehörden gemäß den dazu festgelegten Prozessen abzuschalten. Die Wiedereinschaltung erfordert hingegen Schalthandlungen, die nach DIN VDE 0105-100 ausschließlich der entsprechenden verantwortlichen Elektrofachkraft (VEFK) und elektrotechnisch unterwiesenen Personen (EuP), die im Auftrag der VEFK handeln, vorbehalten sind.

Seit März 2020 steht für den Anlagenbetrieb zudem ein Kamerasystem zur Verfügung, mit dem der optische Zustand des ELISA-Streckenabschnitts sowie der Oberleitung aus der Verkehrszentrale heraus beurteilt werden kann. Zudem können Einsätze der Rettungskräfte vor Ort koordiniert und das Verkehrsgeschehen im Anlagenbereich beobachtet werden.

Die Integration der Bedienung und der Überwachung der eHighway-Infrastruktur in die Verkehrszentrale Deutschland konnte im Projekt ELISA damit erfolgreich umgesetzt werden.

3.3. Einrichtungskosten der Leitstelle

Die ELISA-Leitstelle wurde im Kontrollzentrum der Verkehrszentrale Deutschland eingerichtet. Hierbei konnte auf einen sehr gut geeigneten technischen und organisatorischen Bestand zurückgegriffen werden. Aufgrund der Synergieeffekte und der sehr guten Grundvoraussetzungen, kann die Einrichtung der ELISA-Leitstelleninfrastruktur in der Verkehrszentrale Deutschland wirtschaftlich betrachtet in guter Näherung als best-case für die Einrichtung der Leitstelleninfrastruktur eines eHighway betrachtet werden.

Gleichzeitig findet beim Oberleitungsinfrastrukturbetreibenden 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 Oberleitungsinfrastrukturbetreibenden im Zuge des laufenden Projektes ELISA III, im Rahmen dessen eine Verlängerung der Feldversuchsstrecke um weitere ca. 7 Kilometer in eine Fahrtrichtung umgesetzt wird. Aber auch für die zukünftigen möglichen Entwicklungen ist diese Frage von großem Interesse.

Durch die Nutzung der bereits im bisherigen Anlagenbetrieb entwickelten Prozesse sowie der bereits zur Anwendung kommenden Infrastruktur, können zusätzliche Einrichtungskosten für die Leitstelle im Zusammenhang mit ELISA III vermieden werden.

In Anbetracht der sonstigen Infrastrukturkosten – hauptsächlich für das Kamerasystem – im zweistelligen Millionenbereich, konnte für die ELISA-Versuchsanlage festgestellt werden, dass die Einrichtung der Leitstelleninfrastruktur mit einer mittleren fünfstelligen Summe nicht zu einer signifikanten Verteuerung des eHighway-Systems führt.

Die voraussichtliche Entwicklung der Einrichtungskosten für die Leitstelleninfrastruktur bei einem großflächigen Ausbau des eHighway-Systems konnte noch nicht abschließend bewertet werden. Angenommen wird, dass sich die Einrichtungskosten für die Leitstelleninfrastruktur nicht linear zur Ausbaulänge erhöhen, sondern schrittweise und abhängig von der technischen und organisatorischen Gestaltung des Betriebskonzepts. So benötigen die Integrationen weiterer Organisationseinheiten jeweils einen Sockelbetrag, der nur bedingt abhängig von der Streckenlänge ist.

3.4. Aufwandsänderung bei Integration der Leitstelle

Die eHighway-Betriebsprozesse wurden so konzipiert, dass der Aufwand für die Mitarbeitenden des Kontrollzentrums der Verkehrszentrale Deutschland möglichst gering ist.

Zur Bewältigung der hinzukommenden beschriebenen Aufgaben des operativen Personals im Regelbetrieb der Anlage wurden hier drei weitere Mitarbeitende eingestellt. Diese wurden dabei vollständig in den Wechselschichtbetrieb (Dreischichtbetrieb 24/7) integriert. Die eingangs beschriebenen Schulungen wurden dabei sowohl für die neuen als auch die zuvor bereits beschäftigten Mitarbeitenden durchgeführt, so dass sämtliches Personal des Kontrollraums mit den betrieblichen Prozessen vertraut gemacht wurde. Auf diese Weise ist ein Betrieb der ELISA-Versuchsanlage unter allen Umständen und unabhängig von der konkreten Verfügbarkeit der zusätzlich eingestellten Operatoren gewährleistet. Die Neueinstellungen erhöhen die laufenden Kosten der Verkehrszentrale Deutschland im Zuge des eHighway-Betriebs entsprechend. Es ist davon auszugehen, dass die nun bestehende Personaldecke auch für den Betrieb eines etwas größeren Oberleitungsnetzes ausreichend ist, bei überregionalem Ausbau steigen diese Kosten allerdings schrittweise mit der Länge des hinzukommenden Netzes.

Durch die Integration der eHighway-Leitstellenaufgaben in eine bestehende und funktionierende Verkehrszentrale, lassen sich im Vergleich zum Aufbau einer dezidierten Leitstelle die Fixkosten erheblich reduzieren, sofern die Verkehrszentrale - wie im Falle der Verkehrszentrale Deutschland - über ausreichende technische und räumliche Kapazitäten für die Übernahme der eHighway-Leitstellenaufgaben verfügt. Mit zunehmender Anlagenlänge und - damit einhergehend - steigender Anzahl der unabhängig voneinander zu schaltenden Teilstreckenabschnitte des Gesamtsystems auf Autobahnen im gesamten Bundesgebiet, müssen aber technische und personelle Kapazitäten geschaffen werden, die über die bestehenden Kontrollzentren in den Verkehrszentralen hinausgehen.

3.5. Aufwandsänderung Leittechnik

Der elektrifizierte Streckenabschnitt ist seit März 2021 in Fahrtrichtung Darmstadt mit insgesamt acht schwenk- und neigbaren Kameras ausgestattet. Diese liefern Informationen über das Verkehrsgeschehen sowie den Zustand auf der Strecke im Bereich der ELISA-Versuchsanlage in Echtzeit. Durch die Wahl der Kamerastandorte, die flexible Kame-

rasteuerung sowie eine dem Standard der Verkehrsbeobachtung entsprechend hohe Bildqualität ist es möglich, die Strecke in beiden Fahrtrichtungen zu beobachten und somit die ELISA-Versuchsanlage visuell zu überwachen. Dadurch kann das Ausmaß eines etwaigen Vorfalles besser abgeschätzt, bzw. festgestellt werden, ob und in welcher Weise die ELISA-Versuchsanlage betroffen ist und Einsatzkräfte vor Ort zu koordinieren sind.

Die Gesamtkosten, die im Zusammenhang mit der Errichtung des Kamerasystems im Bereich der ELISA-Versuchsanlage angefallen sind, belaufen sich auf etwa 1,9 Millionen Euro. Bei einer Hinzuziehung von nachtragsbereinigten Kosten für die Errichtung der eHighway-Infrastruktur von ca. 13 Millionen Euro, würde das Kamerasystem das Gesamtsystem um 14,6% verteuern und damit einen signifikanten Anteil an den Gesamtsystemkosten darstellen. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass das Kamerasystem auch für sonstige Aufgaben der Verkehrsbeobachtung im entsprechenden Streckenabschnitt der Bundesautobahn A5 eingesetzt werden kann, was einen über den Anlagenbetrieb hinausgehenden Mehrertrag darstellt. Zudem können perspektivisch die Anteiligen Kosten gesenkt werden, wenn eine parallele Umsetzung von Oberleitung und Kamerasystem angestrebt wird, da beispielsweise Tiefbauarbeiten für beide Systeme in einem Zug erledigt werden können oder Masten der Oberleitung auch für das Kamerasystem mitgenutzt werden können. Grundsätzlich ist bei den Errichtungskosten des Kamerasystems eine direkte Abhängigkeit von der Anlagenlänge gegeben. Diese begründet sich darin, dass mit zunehmender Anlagenlänge zusätzliche Kameraeinheiten installiert werden müssen, was jeweils Kosten für das Material, Tiefbau, Stromanbindung und -versorgung, sowie Datenanbindung und Datenmanagement nach sich zieht. Absehbar ist, dass durch die nun nachgewiesene Sinnhaftigkeit des Kamerasystems für den Betrieb, die Planungs- und Bauprozesse angepasst werden können, damit die Kosten des Kamerasystems für zukünftige Bauabschnitte reduziert werden können. Die Auswirkungen können jedoch aktuell noch nicht quantifiziert werden.

3.6. Störfallmanagement und Zuständigkeiten Leitstelle

Aus der Übernahme der Rolle des Anlagenbetreiber der ELISA-Versuchsanlage im Sinne des EnWG ergab sich die Notwendigkeit, die erforderlichen organisatorischen und personellen Voraussetzungen zu schaffen und die betrieblichen Prozesse vorzubereiten. Eine abschließende Einordnung der eHighway-Technologie in das EnWG ist jedoch nicht erfolgt.

Ein wesentlicher Teil der Planung und Vorbereitung des Anlagenbetriebs betrifft die enge Abstimmung mit Gefahrenabwehrbehörden, welche hier federführend die Interessen und Anforderungen aller Rettungsdienste vertreten. Ziel dieser Abstimmung ist es, sicherzustellen, dass die Prozesse des Störfallmanagements so gestaltet sind, dass vom Betrieb der Oberleitungsanlage keine negativen Auswirkungen auf Abläufe bei Störfällen im Bereich der ELISA-Versuchsanlage ausgehen.

Neben der Neuartigkeit der ELISA-Anlage generell, war dies für den zum Zeitpunkt der Übernahme der Betriebsverantwortung zuständigen Oberleitungsinfrastrukturbetreiber – Hessen Mobil Straßen- und Verkehrsmanagement (heute: Die Autobahn GmbH des Bundes) die erste Energieanlage im Sinne des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG), für die dieser die Betriebsverantwortung übernommen hat. Es mussten folglich sämtliche Betriebs- und Störfallprozesse neu entwickelt werden. Diese im Projektverlauf etablierten Prozesse können zukünftigen eHighway-Anlagen als Grundlage dienen.

Die Verantwortung für diese Prozesse trägt die verantwortliche Elektrofachkraft (VEFK) die seitens der Autobahn GmbH berufen wurde. Die VEFK muss eine Elektrofachkraft im Sinne der Norm DIN VDE 0105-100 sein. Das ELISA-Betriebspersonal wurde für die Durchführung des Anlagenbetriebs zu elektrotechnisch unterwiesenen Personen (EuP) weitergebildet und durch die VEFK mit Schaltberechtigungen ausgestattet. Direkte Schalthandlungen in den Anlagenräumen dürfen ausschließlich durch die VEFK oder durch die EuPs im Auftrag der VEFK durchgeführt werden. Dies betrifft vor allem das Einschalten der ELISA-Versuchsanlage, in dessen Vorfeld sich die schalthandelnde Person immer zunächst vergewissern muss, dass die ELISA-Versuchsanlage betriebsbereit ist und vor Ort keine Gründe gegen eine Einschaltung sprechen. Durch den Umstand, dass die Abschaltung aus der Verkehrszentrale keinen Zutritt zu Anlagenräumen bedingt und diese - nur softwareseitig eingeleitet - von der ELISA-Versuchsanlage selbst und unter Einhaltung der fünf Sicherheitsregeln der Elektrotechnik durchgeführt wird, stellt diese eine Ausnahme dar. Es ist der einzige betriebliche Vorgang bei ELISA, der auch von elektrotechnischen Laien - die die Mitarbeiter im Kontrollzentrum der Verkehrszentrale Deutschland für gewöhnlich sind - durchgeführt werden darf.

Über die Prozesse im Kontrollzentrum der Verkehrszentrale hinausgehend, sollte es zwischen dem Anlagenbetreiber Autobahn GmbH und dem Anlagenerrichter zusätzlich eine Vereinbarung über die Bereitschaft eines Not-Instandsetzungs-Teams („Entstörungstrupp“) auf Seiten Letzterer geben. Diese besagt, dass im Schadensfall an der Oberleitungsinfrastruktur zu jedem Zeitpunkt Mitarbeiter von Siemens auf Abruf innerhalb von zwei Stunden am Ort des Geschehens verfügbar sein müssen, um bei der Schadensbewältigung und -bewertung mitzuarbeiten und die schnellstmögliche Wiederherstellung eines unbeeinträchtigten Verkehrsflusses auf dem Streckenabschnitt anzustreben. (Siehe Bild 3).

Während der **Einführungsphase** blieb der Oberleitungsinfrastrukturbetreiber verantwortlich für die Erdung- und Kurzschließung im Falle eines Vorfalles im Anlagenbereich. Für die Einführungsphase wurden Regelprozesse definiert, die den genauen Ablauf bei Schalthandlungen (Ein- und Ausschaltungen der ELISA-Versuchsanlage) für alle Beteiligten regeln. In diesem Rahmen wurde eine monatliche Einsatzplanung bezüglich der Schalthandlungen und der Anwesenheit des Betriebspersonals seitens des Oberleitungsinfrastrukturbetreibers für jeden Werktag der Einführungsphase durchgeführt. Bei einer Meldung eines Ereignisses auf der ELISA-Versuchsanlage durch die Gefahrenabwehr bekamen Mitarbeiter im Kontrollzentrum Informationen über das Ereignis und

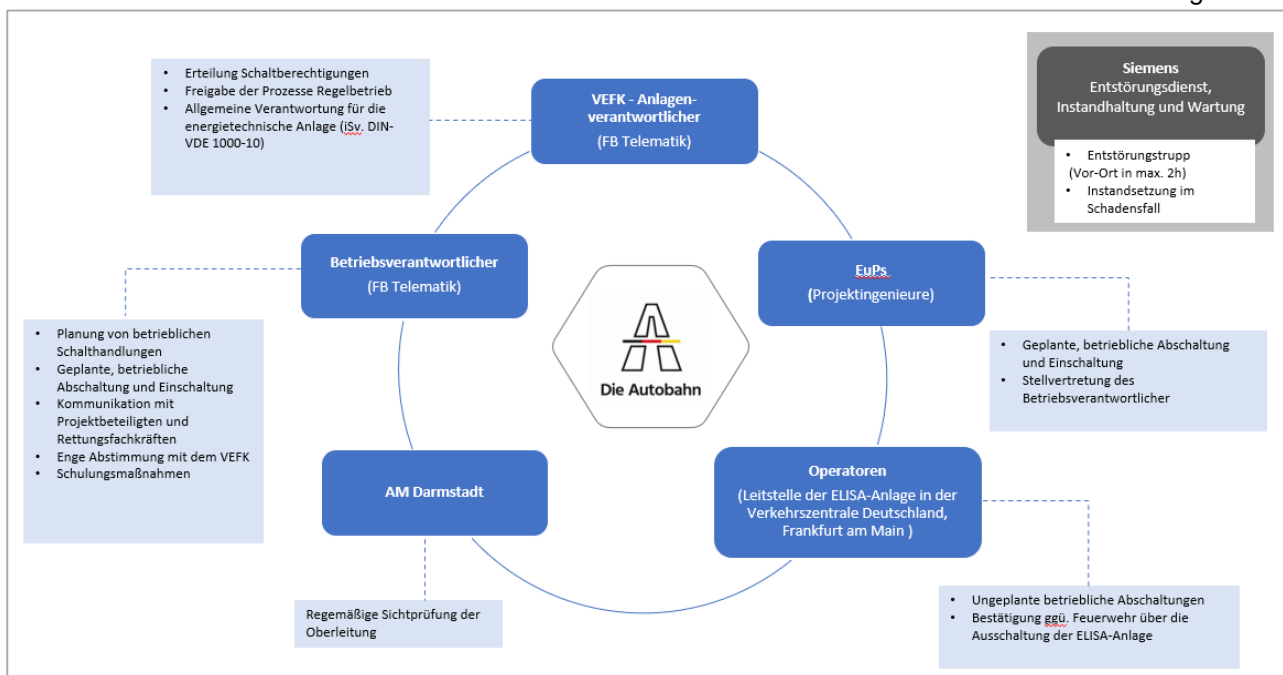


Bild 3: Schematische Darstellung der am Betrieb beteiligten Akteure und ihrer Aufgaben

Um den Übergang von der erstmaligen Übernahme der Betriebsverantwortung durch den Oberleitungsinfrastrukturbetreiber hin zum 24/7-Betrieb der ELISA-Versuchsanlage geordnet und für alle Beteiligten transparent zu gestalten, sowie die Verantwortlichkeiten klar zu regeln und abzugrenzen, wurden drei Betriebsphasen definiert: Testphase, Einführungsphase und Regelbetrieb.

In der **Testphase** wurde die ELISA-Versuchsanlage nur dann eingeschaltet, wenn sich ein Nutzer angemeldet hat. Diese Phase begann mit der Übernahme der Betriebsverantwortung für die ELISA-Versuchsanlage durch den Oberleitungsinfrastrukturbetreiber und endete mit der Übergabe des ersten OH-Lkw an die am Feldversuch teilnehmende Spedition. Somit startete die Testphase am 15.03.2019 und endete am 06.05.2019.

informierten daraufhin die Einsatzkräfte über den Anlagenstatus. Die Einsatzkräfte beantragten, sofern sie hierfür die Veranlassung sehen, eine Abschaltung der ELISA-Versuchsanlage und führen nach Bestätigung der Abschaltung durch den Oberleitungsinfrastrukturbetreiber die Arbeiten durch.

Nach der Übermittlung der Anforderung an den diensthabenden Mitarbeiter des Betriebspersonals endete die Mitwirkung des Mitarbeiters des Kontrollzentrums der Verkehrszentrale Deutschland und der diensthabende Mitarbeiter des Betriebspersonals übernahm die weitere Bearbeitung des Vorganges.

Das ELISA-Betriebspersonal informierte über E-Mail die Gefahrenabwehrbehörden, zuständige Autobahnmeisterei, OH-Lkw-betreibende Transportpartner, übrige Projektpartner aus ELISA II B und relevante Stellen/Personen innerhalb der Organisation

des Anlagenbetreibers mittels vorbereiteter E-Mail-Verteilerlisten über den Vorgang. Gegebenenfalls begab sich ein Mitglied des ELISA-Betriebspersonals zur ELISA-Versuchsanlage und führte, sollte es erforderlich sein, eine manuelle Erdung der ELISA-Versuchsanlage durch, um den Einsatz der Rettungskräfte zu ermöglichen. Die Autobahnmeisterei räumte nach erfolgtem Rettungseinsatz die Einsatzstelle und informierte den Operator im Kontrollzentrum über den Abschluss der Arbeiten. Das ELISA-Betriebspersonal versendete per E-Mail die Information über die bestehende Wiederinbetriebnahme und schaltete die ELISA-Versuchsanlage nach einer Streckenkontrolle in Form einer oder, falls erforderlich, mehrerer Befahrungen ein. Während der Einführungsphase blieb der Anlagenbetreiber verantwortlich für die Erdung- und Kurzschließung der ELISA-Versuchsanlage im Falle eines Vorfalles im Anlagenbereich.

Im **Regelbetrieb**, also dauerhaften Betrieb der ELISA-Versuchsanlage, bleibt die Anlage 24/7 eingeschaltet und wird nur bei Vorfällen, Fehlfunktionen oder auf Anforderung der Leitstellen der Gefahrenabwehr abgeschaltet.

Durch Schulungen während der Einführungsphase wurde sichergestellt, dass die Einsatzkräfte der zuständigen Feuerwehren Darmstadt und Mörfelden-Walldorf in der Lage sind, die Erdung- und Kurzschließung der ELISA-Versuchsanlage im Falle eines Vorfalles selbstständig durchzuführen. Für die Abschaltung der ELISA-Versuchsanlage auf Anforderung der Gefahrenabwehrbehörden sind im Regelbetrieb die Mitarbeiter des Kontrollzentrums der Verkehrszentrale Deutschland zuständig. Sie wurden ebenfalls durch Schulungen dazu befähigt.

Für die Mitarbeiter des Kontrollzentrums der Verkehrszentrale Deutschland wurden Prozesse, Formulare und Protokolle entwickelt, um die Vorgänge im Rahmen eines Störfallmanagements zu strukturieren und diese für alle Beteiligten nachvollziehbar und sicher zu gestalten.

4. Schlussfolgerungen und Ausblick

Der Oberleitungsinfrastrukturbetreiber der ELISA-Versuchsanlage ist der **erste Betreiber einer eHighway-Anlage auf einer deutschen Bundesfernstraße**. Dies war im Zuge der Betriebsvorbereitung 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-Versuchsanlage also die Autobahn GmbH des Bundes, die Rolle des Oberleitungsinfrastrukturbetreibers grundsätzlich erfolgreich

Auch hat sich die Dauer von der Durchführung der Schalthandlung (Abschaltung) bis zum Versand der entsprechenden Bestätigung an die Leitstelle der Gefahrenabwehr als eine wichtige und zugleich kritische Größe erwiesen. Um diesen Vorgang zu optimieren, wurde ein dezidiertes Scanner für die eHighway-Aufgaben für das Kontrollzentrum der Verkehrszentrale Deutschland beschafft und dort installiert, mit dem die Operatoren die Informationen über den Anlagenstatus unverzüglich an die Gefahrenabwehrbehörden senden können.

Die Verlängerung der bestehenden ELISA-Versuchsanlage im Zuge des Forschungsprojektes ELISA III stellt einen, organisatorisch betrachtet, einfachen Fall der Verlängerung einer eHighway-Anlage dar. Die Anlage wird weiterhin als Ganzes und über beide Fahrrichtungen schnell und einfach abschaltbar bleiben. Auch die Leitstelle wird softwareseitig zwar weiterentwickelt, jedoch grundsätzlich der gleichen Bedienlogik folgend, aufgebaut sein.

Dennoch ergeben sich selbst in diesem einfachen Fall Anpassungsbedarfe für das Störfallmanagementkonzept. Dies ist alleine durch die Verlängerung der ELISA-Versuchsanlage in den Verantwortungsbereich der Feuerwehr Frankfurt am Main und damit einer neu einzubindenden, auszustattenden und zu schulenden Feuerwehr gegeben. Dementsprechend müssen die Prozesse geprüft und ggfs. erweitert werden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass jede Längenzunahme bzw. Verlängerung der eHighway-Anlage auch die entsprechende Ausweitung des Störfallmanagements nach sich zieht. Dies betrifft neben dem Oberleitungsinfrastrukturbetreiber auch die zuständigen Gefahrenabwehrbehörden der entsprechenden Streckenabschnitte.

bekleiden kann. Hierfür bildet jedoch die **Verfügbarkeit einer geeigneten Leitzentrale** eine wichtige Voraussetzung. Im Projekt ELISA stand hierfür mit der Verkehrszentrale Deutschland eine der modernsten Verkehrszentralen Europas zur Verfügung.

Der Feldversuchsbetrieb lieferte bereits viele wertvolle Hinweise im Hinblick auf einige notwendige und einige wünschenswerte **Anpassungen des Anlagendesigns** von eHighway-Anlagen in der Zukunft. Es ist davon auszugehen, dass dies auch in der Zukunft der Fall sein wird, denn einige Optimierungsbedarfe, die aufgedeckt worden sind, hängen unmittelbar mit der zunehmenden Betriebsdauer der ELISA-Versuchsanlage zusammen.

Die errichtete **Kamerainfrastruktur** im Bereich der ELISA-Versuchsanlage bildet eine äußerst **sinnvolle Ergänzung** der eHighway-Infrastruktur zur Überwachung und Nachverfolgung von optischen Anlagenzuständen aber auch zur Vereinfachung betrieblicher Prozesse. Die Kameras ermöglichen es den Operatoren in der Leitstelle, die Situation vor Ort aus der Ferne deutlich besser einzuschätzen und versetzt sie somit in die Lage, schneller auf Gefahrensituationen zu reagieren und befähigen das Betriebspersonal die Wiedereinschaltung vorzunehmen ohne den Streckenabschnitt befahren zu müssen.

5. Schrifttum und weiterführende Literatur

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.

Lehmann, M.; Wauri, D.; Sommer, H.; Boltze, M. (2021): A.1 Systemdefinition und Systemüberblick zum eHighway. 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.

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.

6. Autorinnen und Autoren des Hinweispapiers

Dr. Achim Reußwig, Die Autobahn GmbH des Bundes

Dominik Gurske, Die Autobahn GmbH des Bundes

Adriana Bedoya Zapata, Die Autobahn GmbH des Bundes

7. Beteiligte Institutionen

Die Autobahn GmbH des Bundes
Geschäftsbereich Verkehrsmanagement,
Verkehr und Betrieb
Abteilung Verkehrsmanagement –
Verkehrszentrale Deutschland
Bessie-Colemann-Straße 7
60549 Frankfurt am Main

Siemens Mobility GmbH
Siemenspromenade 6
91052 Erlangen

Technische Universität Darmstadt
Institut für Verkehrsplanung und
Verkehrstechnik
Otto-Berndt-Straße 2
64287 Darmstadt

e-netz Süd Hessen AG
Forschung & Entwicklung
Frankfurter Straße 110
64293 Darmstadt