



In dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) geförderten Forschungsprojekts ELISA – Elektrischer, innovativer Schwererverkehr auf Autobahnen – wurde zwischen Mai 2019 und Dezember 2024 im Realbetrieb eine Pilotstrecke für die oberleitungsbundene Energieversorgung von elektrisch angetriebenen Nutzfahrzeugen im öffentlichen Straßenraum erprobt. Der Realbetrieb des sogenannten eHighway-Systems wurde von einer wissenschaftlichen Evaluation begleitet. Die Forschung im Rahmen des Projekts ELISA zeichnet sich durch einen ganzheitlichen und interdisziplinären Evaluationsansatz aus, der das eHighway-System im Zusammenspiel mit seiner Systemumwelt analysiert. Dieses Hinweisblatt berücksichtigt wichtige Erkenntnisse aus der gesamten Projektphase (Mai 2019 bis Dezember 2024).

Dieses Hinweisblatt richtet sich an Oberleitungsinfrastrukturerrichter. Die Hinweise orientieren sich an den wesentlichen Realisierungsphasen einer Errichtung von Oberleitungsanlagen im öffentlichen Straßenraum. Dies umfasst Aspekte und zu berücksichtigende Anforderungen im Zuge der Realisierungsphasen Planung und Projektierung (mitsamt Betrachtungen zur Fahrzeulebensdauer und Abriebe) sowie Hinweise zu den Realisierungsphasen der Errichtung (Verkehrssicherung) und der Inbetriebnahme. Zudem werden Empfehlungen zur Instandhaltung gegeben, die mit abschließenden Erkenntnissen aus dem Feldversuch ELISA angereichert sind. Hinweise zur Systemauslegung dynamischer Ladesysteme (Oberleitungsanlagen) in Kombination mit stationären Ladestationen schließen die Betrachtungen.

## 1. Stand der Technik

Das eHighway-System ermöglicht das dynamische Laden von hybriden oder batterie-elektrischen Lkw über einen Pantographen während der Fahrt. Die sogenannten Oberleitungs-Lkw (O-Lkw) beziehen mittels eines auf dem Lkw installierten Pantographen Strom von einer über dem rechten Fahrstreifen errichteten Oberleitungsinfrastruktur. Der bezogene Strom wird gleichzeitig für den Antrieb und das Aufladen der Batterie genutzt. Wird der mit Oberleitungen ausgestattete Streckenabschnitt verlassen oder muss ein langsameres Fahrzeug überholt werden, wird der Pantograph abgesenkt. In diesem Fall fährt der O-Lkw mit Energie aus der zuvor geladenen Batterie weiter.

In der ersten Projektphase zwischen Mai 2019 und Juni 2022 wurden fünf Oberleitungs-Hybrid-Lkw (OH-Lkw) der ersten Generation auf zwei fünf Kilometer

langen Teststrecken in nördlicher und südlicher Fahrtrichtung auf der A5 zwischen Darmstadt und Frankfurt erprobt. Aufbauend auf den positiven Erkenntnissen wurde für die zweite Projektphase die Oberleitungsanlage in südlicher Richtung auf 12 km verlängert, sodass insgesamt 17 km Oberleitungsinfrastruktur für die Erprobung zur Verfügung standen. Die verlängerte Teststrecke wurde im August 2023 in Betrieb genommen.

Parallel zur Erweiterung der Oberleitungsteststrecke wurden die fünf OH-Lkw der ersten Generation kontinuierlich bis Juni 2024 weiter eingesetzt. Weiterhin wurden fünf OH-Lkw der zweiten Generation mit einer deutlich leistungsstärkeren E-Maschine sowie einer größeren Batterie von bestehenden und neuen Transportunternehmen in Betrieb genommen. Ebenfalls wurde ein rein-elektrischer O-Lkw (O-BEV) von einem Transportunternehmen für einige Monate sowie für Forschungsfahrten auf der Teststrecke eingesetzt.

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über die Konfigurationen der O-Lkw Generationen.

**Tabelle 1: Oberleitungs-Lkw Generationen im ELISA-Realbetrieb (IVV 2025)**

O-Lkw Generation	1	2	3
Fahrzeugtyp	Sattelzug	Sattelzug	Koffer-aufbau
E-Maschine	130 kW	260 kW	230 kW
Batterie-kapazität	18,5 kWh	99 kWh	297 kWh
Verbrennungs-motor	450 PS	360 PS	/
Plug-In Laden	Nicht möglich	Möglich	Möglich

Mit der Überprüfung des eHighway-Systems in den Realbetrieb sowohl durch das Projekt in Hessen als auch durch zwei weitere deutsche Projekte in Schleswig-Holstein und Baden-Württemberg erreichte das eHighway-System das Technology Readiness Level (TRL) 7.

Mit dem Abschluss der Realerprobung in den Feldversuchen ist der Nachweis eines erfolgreichen Einsatzes des eHighway-Systems gelungen, sodass im nächsten Schritt die Markteinführung, das Erreichen der TRL 9 vorbereitet werden kann.

## 2. Hinweise für Oberleitungserrichter

### 2.1. Planung und Projektierung

Für die Auslegung einer Oberleitungsanlage wird grundsätzlich eine geplante Nutzungsdauer von mindestens 20 Jahren angenommen. Diese Angabe entspricht der Schutzhaltung der Tragkonstruktionen unter dem Einfluss umwelt- und umgebungsbedingter Faktoren sowie unter dem Einfluss der geplanten Verkehrsaufgabe. Diese und weitere Faktoren stellen verschiedenartige Anforderungen an eine Oberleitungsinfrastruktur dar und beeinflussen unter Berücksichtigung der geplanten Nutzungsdauer die Ausführung und die Komplexität betroffener Anlagenteile. Darüber hinaus können Verschleißkomponenten in Abhängigkeit der Nutzungsintensität kürzere Nutzungsdauern aufweisen. Folglich variiert die Nutzungsdauer der Oberleitungsanlage je nach Anlagenstandort und Umgebungsbedingungen. So sind im Vorfeld der Planung und Projektierung einer Oberleitungsanlage die lokalen und operativen Anforderungen an die Infrastrukturelemente entlang des zu elektrifizierenden Streckenabschnitts zu prüfen und die ggf. bautechnischen Planungsaufgaben anzupassen. Zusätzlich sind die geplante

Nutzungsdauer und die Verkehrsaufgabe festzulegen.

Faktoren, wie die Streckencharakteristik (Fahrbahnquerschnitt, Kurvenradien, Gradienten, angrenzende Bestandsbauwerke, insbesondere Brücken- und Überführungsbauwerke) haben einen Einfluss auf die Materialauswahl und die bautechnischen Planungsaufgaben und wirken sich auf die Positionierung der Maste im Hinblick auf die relativen Abstände zueinander und zum Fahrbahnrand aus. Überdies sind wasserrechtliche und naturschutzrechtliche Bestimmungen zu berücksichtigen, bestehende Freileitungen zu beachten sowie die Verfügbarkeit von Netzanschlusspunkten zur Spannungsversorgung der Anlage (Art der Netzintegration) in die Planungen mit einzubeziehen. Zum fachgerechten Umgang mit einigen dieser Faktoren werden im Rahmen dieses Abschnitts nachfolgend Hinweise gegeben. Die Hinweise erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit und entstammen den wesentlichen Erkenntnissen aus der Erprobung der ELISA-Versuchsanlage.

### Materialeigenschaften und zur Werkstoffauswahl

Bei der Auslegung einer Oberleitungsinfrastruktur sind Kontaktkorrosionen beim Einsatz unterschiedlicher Werkstoffe in einem Bauteil / einer Baugruppe sowie in den Schnittstellen zu anderen Teilen der Fahrleitungsanlage zu vermeiden (bspw. Kontaktkorrosion Aluminium/Kupfer, entsprechend DIN EN 50119). Es ist die Ausführung aller Edelstahlteile einschließlich Normteilen in Edelstahl A4 anzustreben. Ist dies bei Normteilen wie Bolzen oder Splinten nicht realisierbar, ist der Einsatz alternativer Werkstoffe zu prüfen. Die Anforderungen der ZTV-ING Teil 9 Abschnitt 1 zum Korrosionsschutz von Stahlbauteilen, die nicht aus Edelstahl sind (Feuerverzinkung nach DIN EN ISO 1461 unter Berücksichtigung der „DAST-Richtlinie 022), sind bei Fahrleitungsbauteilen wie Klemmen, Hängern und Seitenhaltern, die mit dem Kettenwerk verbunden sind, nicht zwingend zu berücksichtigen. Anpassungen dieser Planungsbasis sind projektspezifisch zu prüfen.

### Umgang mit umwelt- und umgebungsbedingten Gegebenheiten

Die Oberleitungsanlage ist für einen Umgebungstemperaturbereich von -30 °C bis +40°C konzipiert. Dies umfasst auch einen zulässigen Grenztemperaturbereich für Fahrdräht und Tragseil von bis zu 110 °C Temperaturänderung inkl. Stromwärmung, die zur Einhaltung des Arbeitsbereichs der Nachspanneinrichtungen und der Betriebstoleranzbereiche zu berücksichtigen

sind. Umwelt- und umgebungsbedingte Anforderungen sowie der Einfluss vorherrschender klimatischer Bedingungen auf die Materialauswahl sind projektspezifisch zu ermitteln und entsprechend in die Planung und Projektierung miteinzubeziehen.

Einer besonderen Bedeutung kommt hierbei die Berücksichtigung der Aufenthaltszeiten des Winterdienstes und die Schwefeldioxidkonzentrationen, resultierend aus Industrie- und Autoabgasen, zu. In ELISA wurden 2021 im Zusammenhang mit kalten Umgebungstemperaturen und infolgedessen eingesetzter Besalzung der Fahrbahn entlang der gesamten Versuchsanlage starke Korrosionen an den Gießharz-Isolatoren in Verbindung zum Pluspol der Fahrleitung (in Fahrtrichtung rechter Fahrdräht) festgestellt. Die Isolatoren in Verbindung zum Minuspol der Fahrleitung (in Fahrtrichtung linker Fahrdräht) waren ausnahmslos unauffällig. Dies lässt vermuten, dass die sich bildende Salzschicht an den Isolatoren des Pluspols der Fahrleitung zu einer unzulässigen Absenkung des Isolationswertes führt. In Verbindung mit dem Fließen eines Ableitstroms führte dies in einigen seltenen Fällen zu einer Entfestigung der Isolatoren. Um dem entgegenzuwirken, sind Silikon-Isolatoren mit größeren Luft- und Kriechstrecken sowie verbesserten Materialeigenschaften einzusetzen. Seither wurden derartige Korrosionen an den Isolatoren nicht mehr festgestellt. Infolgedessen konnte zudem die Gesamtverfügbarkeit der Oberleitungsanlage gesteigert werden.



**Abbildung 1: Schäden Gießharz-Isolatoren ELISA (Siemens)**

Die Besalzung der Fahrbahn in Verbindung mit einer durch Kraftfahrzeuge aufgewirbelten Salzgitsch führte zudem zu Materialbeschädigungen an den Schließzylinern der Schaltkästen des Oberleitungsüberwachungssystems (engl. Catenary Monitoring Systems). Kurzfristig konnte die Reinigung und Schmierung der Außenschlösser in den Wartungsumfang planmäßiger Wartungsarbeiten aufgenommen werden, ein Austausch einzelner Schließzyylinder war jedoch unumgänglich. Mittelfristig ist eine gegen die äußeren Einflüsse besser geschützte Lösung zu

implementieren, wie z.B. der Einsatz von Stahlschließzylinern mit Schutzabdeckung.

Ein aus ELISA heraus identifizierter Anpassungsbedarf bei hohen Umgebungstemperaturen bezieht sich auf die beiden Gleichrichterunterwerke (GUw). So heizte sich an besonders heißen Sommertagen der Traforaum des GUw Bornbruch sehr stark auf, der Traforaum des GUw Gräfenhausen hingegen nicht. Dies ist insofern bemerkenswert, da die Traforäume der beiden GUw identisch ausgestaltet sind. Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden GUw besteht in der Verschattungssituation. Während das GUw Gräfenhausen sich weitgehend im Schatten befindet, ist das GUw Bornbruch im Hinblick auf die Strahlungsintensität der Sonne deutlich länger einer direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt.

Ein Lösungsansatz ist die Installation einer Photovoltaik-Anlage auf dem GUw. Dies kann für eine künstliche Verschattung sorgen und zugleich kann der Strom einen Beitrag zur Deckung des Eigenbedarfs der GUw leisten. Weitere Lösungsansätze sind der Einsatz von Klimaanlagen mit Luftreinigungsfiltern in den GUw oder die Integration zusätzlicher Lüftungsschlitzte zur Vermeidung von Stauwärmes. Dadurch werden die GUw sowohl gekühlt als auch vor einem erhöhten Staubeintrag geschützt. Durch vermehrte Staubeinträge, resultierend aus einem erhöhten Verkehrsaufkommen entlang der Strecke, ist eine quartalsweise Reinigung der Filtermatten der Lufteinlässe in den GUw zu beachten. Auf der ELISA-Versuchsanlage hat sich ein Turnus von 6 Monaten bewährt. Der Turnus kann vermutlich weiter erhöht werden, indem die Lufteinlässe der GUw auf der abgewandten Seite des GUw integriert werden.

### Umgang mit geologischen und hydrologischen Gegebenheiten

Die Baugrundbeschaffenheit kann sich je nach Anlagenstandort erheblich unterscheiden. In Kombination mit den beschriebenen Umgebungsbedingungen wirkt sich dies auf die Art der Mastgründung und den dafür erforderlichen Aufwand aus. Für die Bewertung der Baugrundbeschaffenheit ist die Verfügbarkeit von Lageplänen hinsichtlich Kabel- und Leitungstrassen von wesentlicher Bedeutung. Insbesondere Such- und Handschachtungen stellen einen erheblichen Kosten- und Zeitfaktor dar und sind zu vermeiden. Zudem sind die wasserschutz- und naturschutzrechtlichen Bestimmungen einzuhalten.

Im Zuge der Planung einer Oberleitungsinfrastruktur ist zudem eine Betrachtung geologischer Aspekte

von wesentlicher Bedeutung. So ist es bei der Auswahl eines zu elektrifizierenden Streckenabschnitts erforderlich, Hindernisse, bspw. in Form von Gestein (ober- und unterirdisch), im Vorfeld zu identifizieren. Ferner ist das Tragverhalten des Baugrundes zu berücksichtigen. Grundsätzlich kann für jede denkbare geologische Gegebenheit bzw. Bodenklasse eine entsprechende Lösung zur Elektrifizierung erarbeitet werden, jedoch sinkt mit steigender Komplexität in der Regel die Wirtschaftlichkeit. Die Umsetzung und die zur Verfügung stehenden Alternativen sind je nach Situation sorgsam abzuwägen.

Die in Deutschland realisierten Oberleitungsprojekte zeigen Bereiche, für die keine „Standardlösungen“ existieren, sondern projektspezifische Lösungen erfordern. Dies verdeutlicht insbesondere der Feldversuch in Baden-Württemberg (eWayBW), bei dem im Zuge der Voruntersuchungen Felsgestein im Baugrund identifiziert wurde. Es standen zwar Lösungsmöglichkeiten zur Verfügung, doch aufgrund der Tatsache, dass die Anlage in Baden-Württemberg zurückgebaut werden soll, wurde auf die Elektrifizierung von Streckenabschnitten mit Felsgestein im Baugrund, auch im Hinblick auf das Kosten-Nutzen-Verhältnis, verzichtet.

Die Realisierung der erweiterten Versuchsanlage im Rahmen von ELISA III zeigte im Gegensatz zur zuvor errichteten Oberleitungsinfrastruktur zusätzliche Herausforderungen aufgrund von im Umfeld befindlicher Kampfmittel im Baugrund auf. Dabei bestand die Herausforderung zum größten Teil in der Organisation und Koordination der beteiligten Gewerke. Die Errichtung selbst blieb weitestgehend unbeeinflusst.

#### **Umgang mit höhen- und längsrelevanten Bestandsbauwerken**

Grundsätzlich muss bei der Planung einer Oberleitungsanlage bei allen Bestandsbauwerken im Streckenabschnitt ein Einfluss auf die Gestaltung oder die bautechnische Umsetzung angenommen werden, bis das Gegenteil nachgewiesen werden kann. Für eine bautechnische Bewertung eines geplanten Abschnitts kann die Methode der Vermessung durch eine Laserflächenscanner-Analyse des Lichtraums (Digital Track Capturing, DTC) verwendet werden.



**Abbildung 2: Beispielhafter DTC-Aufbau und Digitales Streckenmodell (Siemens)**

Es sind die Anforderungen an den freizuhaltenden Lichtraum zu berücksichtigen, wobei das Regellichtraumprofil der Fahrzeuge die Querebene des Fahrwegs in einem Bereich unterhalb des Fahrdrähts beschreibt. Dieser Bereich ist landesspezifisch zu definieren und richtet sich in Deutschland nach den „Richtlinien für die Anlage von Autobahnen“ [RAA]. Das Regellichtraumprofil des Pantographen beschreibt den Bereich neben und oberhalb des Fahrdrähts. Dieser ist durch mögliche Bewegungen des Pantographen definiert und gilt über den gesamten Einbaubereich der Bezugspunkte und über einen seitlichen Bereich neben der elektrifizierten Fahrspur. Dadurch wird ein sicherer Betrieb und ein sicheres Absenken des Pantographen gewährleistet. Neben dem Freiraum für den Pantographen und dem O-Lkw müssen die Bauteile der Oberleitung, vor allem aber die den Fahrdräht tragenden Konstruktionen (bspw. Seitenhalter, Ausleger, Tragseile), einen elektrisch-mechanischen Mindestabstand sowohl in der Höhe als auch in der Breite zum O-Lkw und Pantographen einhalten.

Das Oberleitungssystem ist folglich so auszuführen, dass die genannten Regellichräume unter allen Betriebsbedingungen freigehalten werden.

So ist die vertikale mechanische Lichtraumprofilhöhe für den Arbeitsbereich des Pantographen im angebügelten Zustand von 150 mm und der elektrische Sicherheitsabstand von 50 mm oberhalb der höchsten befahrenen Fahrdrahtlage vor und unter Brücken oder höhenbegrenzenden Bauwerken einzuhalten. Eine Reduzierung der für die Elektrifizierung notwendigen Lichtraumprofilhöhe oberhalb der projektierten Lage des Fahrdrähts kann durch spezielle Maßnahmen erfolgen, bspw. durch Anhubbegrenzer und Ableitschienen vor und unter dem Bauwerk. Zu beachten ist, dass Anhubbegrenzer mit einem erhöhten Fahrdrähtverschleiß einhergehen und die geplante Standzeit reduzieren können.



**Abbildung 3: Fahrdrahtabsenkung Brückenbauwerk (Siemens)**

Im Bereich von Brückenbauwerken ist in der Regel eine Absenkung der Fahrdrähter notwendig, da die lichte Höhe der Brückenbauwerke nur in seltenen Fällen eine Aufrechterhaltung der Nennfahrdrähterhöhe von 5,10 m ermöglicht. Die Elektrifizierung dieser Bereiche kann bspw. durch die Absenkung des Tragseils oder die Reduktion der Mastabstände unterstützt werden. Überdies sind die Befestigungen der Oberleitungsanlage am Brückenbauwerk in jedem konkreten Einzelfall anforderungsgerecht zu projektieren. Hierbei ist häufig ein Eingriff in das Bestandsbauwerk notwendig.

Daneben sind über der Fahrbahn angebrachte Verkehrszeichen(-brücken) zu berücksichtigen, selbst wenn diese im Hinblick auf die konstruktiven Anforderungen der Oberleitungsinfrastruktur nur bedingt relevant sind, da die Schilder zumeist durch den Betreiber an der tragenden Struktur nach oben versetzt werden können. In Abhängigkeit der Größe des jeweiligen Schildes sollten zudem, sofern möglich, Ausleger und Hängesäule so positioniert werden, dass die Kanten der wegweisenden Beschilderung betont werden und der Schildinhalt selbst nicht verdeckt wird. Dies betrifft insbesondere den Mast unmittelbar vor dem jeweiligen Schild. Für Ausleger, Hängesäulen oder andere massive Bauteile ist in Annäherung an die wegweisende Beschilderung (ab 200 m vor dieser) die Sichtbeziehung zu prüfen. Maßgeblich dabei ist eine Beobachtungshöhe von 2,5 m. In Kurvenbereichen ist zu berücksichtigen, dass insbesondere Hängesäulen auf der in Fahrtrichtung linken Seite die Sichtbarkeit auf die wegweisende Beschilderung der Verkehrsteilnehmenden auf benachbarten Fahrstreifen beeinträchtigen können.

Auch längsrelevante Bestandsbauwerke sind in die Vorplanung und Projektierung miteinzubeziehen. So stellen bspw. Lärmschutzwände besondere Anforderungen an die Gestaltung der Anlage und sind ggf. im Zuge der Realisierung einer Oberleitungsinfrastruktur anzupassen. Die Absenkung und Führung der Fahrleitung unter bzw. neben höhenbegrenzenden Bauwerken ist grundsätzlich projekt- bzw. bauwerksspezifisch zu planen, da Neigungswinkel, Montagemöglichkeiten und die daraus resultierenden Fahrdrähtertoleranzen entsprechend variieren können.

Zudem sind Sicherheitsabstände zu Hochspannungsfreileitungen gemäß DIN EN 50341-1 einzuhalten, was einerseits eine Anpassung der

Masthöhe und/oder Maststandorte betroffener Maste und andererseits eine temporäre Abschaltung von Hochspannungsfreileitungen während der Mastmontage erforderlich machen kann. Im Fall von ELISA konnte die Abschaltung einer betroffenen Freileitung durch den Einsatz von kürzeren Spezialmasten vermieden werden.



**Abbildung 4: Sicherheitsabstände Hochspannungsfreileitungen (Siemens)**

**Umgang mit Daten- und Versorgungsleitungen**

Bei Betrachtung bestehender Daten- und Versorgungsleitungen sind unterirdisch verlaufende Bestandstrassen energie- oder nachrichtentechnischer Infrastruktur zu berücksichtigen. Diese können, je nach Anzahl sowie Datenverfügbarkeit und -qualität zur Lage einzelner Trassen, den Komplexitätsgrad des Gesamtvorhabens erhöhen.

Demnach wird im Vorfeld der Planungen empfohlen, für die Gründung der Masten einen definierten Abstandskorridor im Seitenraum vorzusehen, so dass bei Bedarf die Abstände der Masten von der Fahrbahn innerhalb dieses Abstandskorridors variieren können. Kann ein solcher Abstandskorridor nicht gewährleistet werden, sind die Trassenbetreiber frühzeitig in die Planungen miteinzubeziehen, so dass gemeinsame Lösungen entwickelt werden können. Auf diese Weise können die Aufstellbereiche der Maste - idealerweise im Einvernehmen mit den Trassenbetreibern - anhand der vorgefundenen Trassen genauer projektiert werden. Es sollten die Eigentumsverhältnisse aller durch die Baumaßnahme betroffenen Bereiche geprüft werden. In der Regel befindet sich der Baugrund im 5-Meter-Raum seitlich einer Bundesautobahn im Besitz des Bundes. Jedoch gibt es Ausnahmen, die entsprechend berücksichtigt werden müssen.



**Abbildung 5: Unterirdisch verlaufende Bestandstrassen (Siemens)**

Die oberirdische Führung der Daten- und Versorgungsleitungen der Oberleitungsinfrastruktur, wie das Catenary Monitoring System (CMS), die automatische Fahrdrift-Risserkennung und das Erdungsseil, erwies sich im Feldversuch ELISA als leicht anfällig. Gerade im Zusammenhang mit dem im Seitenraum erforderlichen Grünschnitt stellen die zwischen den Seitenmasten befindlichen Verbindungen ein Hindernis dar. Bei einer auf Wirtschaftlichkeit ausgelegten Betriebsführung der Oberleitungsanlage könnten die längsseits oberirdisch geführten Leitungen zu Einschränkungen im Betrieb und während der Instandhaltung der Anlage führen. Demgegenüber steht jedoch der erhebliche organisatorische und ökonomische Mehraufwand, der mit einer unterirdischen Verlegung einhergeht. Aus diesem Grund ist eine oberirdische Verlegung des Erdseils sowie der Daten- und Versorgungleitungen von Vorteil, auch im Hinblick auf eine wesentlich vereinfachte Fehlerdetektion sowie eine damit einhergehende vereinfachte Instandsetzung. Mit Blick auf die Positionierung der GUw in Verbindung mit den zu verlegenden Kabeln wird empfohlen, den Abstand zwischen Gleichrichterunterwerk und Einspeisemast möglichst klein zu wählen. Gründe hierfür sind u. a. der geringere Spannungsfall und der wesentlich geringere Aufwand im Zuge der Trassierung / Verlegung der Kabel, einhergehend mit einer Kostenreduktion. Zu beachten ist jedoch, dass durch die Nähe zum Einspeisemast gleichzeitig auch der Abstand zum Fahrbahnrand deutlich reduziert wird.

### **Elektrische Auslegung**

Das Speisekonzept zukünftiger eHighway-Oberleitungsanlagen sieht ein symmetrisch geerdetes DC-Spannungssystem mit einer Nennspannung von DC 1500 V vor (in ELISA DC 600 V). Die Erhöhung der Nennspannung verfolgt das Ziel, das System leistungsfähiger zu gestalten, um zukünftig gesteigerten Verkehrsanforderungen gerecht zu werden. Die Isolations- und

Erdungskonzepte sind auf das zukünftige Speisekonzept entsprechend abzustimmen. Für eHighway-Oberleitungen gelten bzgl. der elektrischen Sicherheit, Erdung und Rückleitung die Anforderungen nach DIN EN 50122. Die Schutz- und Erdungskonzepte sind im Rahmen der Auslegung zu definieren. Die Anwendung und Gültigkeit weiterer Normen sind durch den Errichter zu prüfen.

In einem symmetrisch geerdeten System werden durch in Reihe geschaltete Widerstände zwischen Plus und Minus des Gleichrichters und Erdung des Mittelpunkts die Spannungen symmetrisch positiv und negativ erzeugt. Im DC 1500 V System liegen damit an den Kettenwerken einmal +750 V und einmal -750 V Nennspannung gegen Erde an. Standardmäßig ist der in Fahrtrichtung betrachtete rechte Fahrdrift der positive Pol mit +750 V Nennspannung und der linke Fahrdrift der negative Pol mit -750 V Nennspannung. Direkt mit der Oberleitung verbundene Bauteile sind für die Nennspannung, die Bemessungsspannung und die Bemessungsstoßspannung entsprechend der Überspannungskategorie OV4 nach EN 50124-1 auszulegen.

Die Leistungsauslegung der eHighway-Oberleitungsinfrastruktur ist jeweils projektspezifisch im Hinblick auf die jeweilig erwartete Anzahl an O-Lkw entsprechend den Leistungsanforderungen aus der geplanten Verkehrsaufgabe festzulegen. Als maximale Stromaufnahme je O-Lkw sind derzeit 350 A während der Fahrt ( $> 5 \text{ km/h}$ ) und 100 A im Stillstand ( $\leq 5 \text{ km/h}$ ) zugelassen.

### **2.2. Errichtung und Verkehrssicherung**

Die Errichtung der ELISA-Versuchsanlage war die erste Baumaßnahme für eine Oberleitungsinfrastruktur auf einer deutschen Autobahn. Die Arbeitsbedingungen auf Bundesfernstraßen unterscheiden sich in vielen Punkten grundlegend von denen in einem abgegrenzten Baufeld der Fernbahn und auch von den Errichtungsarbeiten an Straßen- oder U-Bahn-Infrastrukturen im städtischen Bereich. Dies erforderte für das üblicherweise im Schienenbereich eingesetzte Fachpersonal des Oberleitungsbau eine Anpassung der Arbeitsweisen und die Sicherung der Arbeitsräume gegenüber dem fließenden Verkehr.

In diesem Abschnitt werden basierend auf den Erfahrungen aus dem Feldversuch ELISA Hinweise zu den nachfolgenden Aspekten gegeben:

- Verkehrssicherung während der Errichtung
- Passive Schutzeinrichtungen
- Verlängerung bestehender Anlagen

## Verkehrssicherung während der Errichtung

Im Zuge der Errichtungsarbeiten im Rahmen von ELISA sowie von ELISA III sind die geltenden Regelungen für die Planung und Durchführung von Arbeitsstellen zu beachten. Für Hessen sind dies die Regelungen des Hessischen Handbuchs für das Baustellenmanagement auf Autobahnen in Ergänzung mit den allgemein gültigen Regelungen in Deutschland. Dies umfasst insbesondere den aus der Einrichtung von Arbeitsstellen kürzerer Dauer einhergehenden Zeitaufwand vor Beginn der jeweiligen Baumaßnahme. Dieser ist bei der Planung des Bauablaufs, insbesondere bei der Anlieferung von Bauelementen, wie bspw. den Masten oder Auslegern, zu berücksichtigen. Das Einbeziehen verkehrsrechtlicher Anordnungen in die Planungen der Bauausführung erfordert eine Konkretisierung der Arbeitsweisen und der Arbeitszeiten der ausführenden Unternehmen im Hinblick auf die zukünftig bei der Errichtung von Oberleitungsanlagen geltenden Rahmenbedingungen.

In diesem Zusammenhang sind verkehrsrechtliche Anordnungen an die Anforderungen der Errichtung einer Oberleitungsinfrastruktur anzupassen. Ferner sind zukünftige Konzepte im Zuge einer Errichtung des eHighway-Systems zu entwickeln und in die allgemeinen Regelungen einzubeziehen. So sollte grundsätzlich eine Sperrung von zwei Fahrstreifen im Rahmen einer Arbeitsstelle kürzerer Dauer für den gesamten Bauablauf angestrebt werden. Arbeitsstellen längerer Dauer mit Betonschutzwänden im Seitenbereich werden bei Brückenbauwerken grund-sätzlich nicht empfohlen, da diese den Arbeitsbereich der Arbeitsbühnen erheblich einschränken bzw. beeinträchtigen.

Im Feldversuch erfolgte die Sperrung eines oder mehrerer Fahrstreifen mitsamt Seitenstreifen im gesamten Bauverlauf nur im Rahmen von Arbeitsstellen kürzerer Dauer und nur zu Zeiten mit entsprechend geringer zu erwartender Verkehrsstärke bzw. Befahrungsintensität. Die besondere Herausforderung bestand dabei darin, dass die Arbeiten an der Errichtung des Fahrzeugrückhaltesystems parallel zu der Errichtung der Oberleitungsinfrastruktur stattfanden.

In der ersten Bauphase der Errichtung der Oberleitungsinfrastruktur wurde das Baufeld durch eine transportable Schutzeinrichtung zwischen dem Seitenstreifen und dem ersten Fahrstreifen geschützt. In dieser Bauphase konnten Maststellung und Auslegermontage vollständig abgeschlossen werden.



**Abbildung 6: Transportable Schutzeinrichtung zwischen Seitenstreifen und erstem Fahrstreifen (Siemens)**

In der daran anschließenden Bauphase, im Zuge derer der Fahrdräht- und Tragseilzug stattgefunden hat, musste die transportable Schutzeinrichtung entfernt werden, da das Fahrzeug der Fahrdrähtmontage die Möglichkeit haben musste, sich frei zwischen dem Seitenstreifen und dem ersten Fahrstreifen bewegen zu können. Der Bewegungsspielraum der Fahrdrähtmontage sollte im Allgemeinen insbesondere an Autobahnkreuzen Berücksichtigung finden, da das Ziehen des Kettenwerks dort gerade an den Ab- und Auffahrten erschwert wird und von einem erhöhten Gefährdungsrisiko für Personal und Dritte begleitet wird. Deutlich wurde dies bei der Planung und Realisierung der erweiterten Versuchsstrecke im Rahmen von ELISA III. Bei einem Kettenwerkzug unter Brückenbauwerken erwiesen sich Arbeitsstellen kürzerer Dauer als schmal. Es ist daher ratsam, zwei Fahrstreifen zu sperren.

In Rechtskurven sowie bei kleineren Kurvenradien kann sich das Tragseil über dem linken benachbarten Fahrstreifen befinden, so dass unter Umständen bei Kurvenradien von 800 m eine Sperrung weiterer Fahrstreifen erforderlich wird.

In der letzten Bauphase, welche unter anderem die Montage der endgültigen Hänger, die Herstellung elektrischer Verbindungen und die Einregulierung der endgültigen Fahrdrähtlage beinhaltete, wurden parallel dazu die Arbeiten zur Errichtung der passiven Schutzeinrichtung aufgenommen, welche im Zuge von ELISA beispielhaft in Form eines Ortbetonschutzsystems ausgeführt worden ist.

## Passive Schutzeinrichtungen

Die Errichtung einer Oberleitungsanlage entlang von Bundesautobahnen ist völlig neu und bisher noch in keiner im Bereich der Straßenausstattung anzuwendenden Richtlinien in Deutschland abgebildet. Die Positionierung von Oberleitungsmasten im Seitenraum der Fahrbahn birgt neue Gefahrenstellen, die auf Grundlage der

Richtlinien für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeugrückhaltesysteme mit entsprechendem Leistungsvermögen abzusichern sind.

Im Feldversuch ELISA wurden, die Oberleitungsinfrastruktur sowie die passiven Schutzeinrichtungen zeitgleich errichtet. Diese zeitgleiche bauliche Umsetzung von passiven Schutzmaßnahmen und Oberleitungsinfrastruktur wirkte sich nachteilig auf die Nutzbarkeit des Streckenabschnitts für den Bau der Oberleitungsinfrastruktur aus, da verschiedene Arbeiten der Gewerke im gleichen Baufeld umgesetzt werden mussten und diese entsprechend in die verschiedenen Bauabläufe zu integrieren waren. ELISA I hat dennoch gezeigt, dass bei hinreichender Planung und frühzeitigem Einbezug aller Gewerke eine zeitgleiche Umsetzung grundsätzlich machbar ist. Es sind dabei notwendige Entscheidungen für eine effiziente Bauausführung der Gewerke in jedem konkreten Einzelfall einer Bauaufgabe frühzeitig zu treffen und unter Berücksichtigung sämtlicher Aspekte der jeweiligen Handlungsoptionen die Vor- und Nachteile gegeneinander abzuwägen. Unterstützend existieren Lösungsoptionen auf dem Markt, die einen Einsatz der späteren passiven Schutzeinrichtung bereits in der Errichtungsphase der Oberleitungsanlage als temporäre, transportable Schutzeinrichtung zur Absicherung der Arbeitsstelle längerer Dauer ermöglichen.

### **Verlängerung bestehender Oberleitungsanlagen**

Nach dem in den Jahren 2019 bis 2021 sehr positiven Verlauf des Feldversuchs ELISA wurde die bestehende Versuchsstrecke in Fahrtrichtung Süden um ca. 7,5 km verlängert. Die Verlängerung erfolgte dabei einerseits am Anfang des Streckenabschnitts, andererseits am Streckenabschnittsende der bestehenden Versuchsanlage. Ein direkter Anschluss von Verlängerungen an bestehende Anlagen ist nicht immer. Grund hierfür ist die technische Weiterentwicklung der Oberleitungsanlage, z.B. mit einer höheren Tragseilzugspannung, um eine noch höhere Lagestabilität des Kettenwerkes zu erreichen. Im Rahmen von ELISA III konnte hingegen eine direkte Verbindung realisiert werden, da die Verlängerung den gleichen technischen Entwicklungsstand aufweist wie die bestehende ELISA-Versuchsanlage.

Im Zusammenhang mit einer Verlängerung im laufenden Betrieb sind besonders die An- und Abbügelvorgänge der O-Lkw während der Errichtungsphase zu berücksichtigen. Die geolokalisierte Begrenzung ("GeoFence") der O-Lkw zur Detektion elektrischer Abschnitte und damit zur Freigabe einer aktiven Nutzung der Oberleitung

(Anbügeln des Pantographen und Strombezug) ist nicht hinreichend präzise genug, um den Übergang zwischen aktiver bestehender Oberleitung und noch inaktiver, im Bau befindlicher Oberleitung sicher und zuverlässig zu erkennen. Bei einem Übergang in den Bereich der Verlängerung könnten die O-Lkw noch angebügelt sein und dadurch die noch nicht endgültig ausgerichtete Fahrleitung der im Bau befindlichen Oberleitung beschädigen. In ELISA wurden die Fahrzeugführenden der O-Lkw entsprechend informiert. Für zukünftige Projekte im Zuge eines flächendeckenden Systemausbaus mit mehr O-Lkw sollten entsprechende hinweisende Beschilderungen zum Abbügeln am Fahrbahnrand aufgestellt werden.

### **2.3. Inbetriebnahme**

Unter Inbetriebnahme wird im Allgemeinen die Überführung der Oberleitungsanlage aus dem Ruhezustand nach der konstruktiven Fertigstellung in einen definierten Betriebszustand verstanden. Dies hat unter Berücksichtigung der mit dem Kunden vereinbarten Leistungsnachweise der Oberleitungsanlage zu erfolgen. In diesem Abschnitt werden allgemeine Hinweise zu den nachfolgenden Aspekten gegeben:

- Technische Abnahme
- Inbetriebnahme

#### **Technische Abnahme**

Die technische Abnahme der Montage des Oberleitungssystems muss durch eine Elektrofachkraft erfolgen. Daneben sollte eine Fachkraft für Fahrleitungsanlagen eingebunden werden. Die Abnahme stellt den Test der funktionalen Sicherheit und der Übereinstimmung mit den Sicherheitsanforderungen dar. So muss die technische Abnahme u. a. folgende Punkte beinhalten:

- Abnahmen während der Montage, d. h. visuelle Inspektion gemäß Baufortschritt
- Abnahmen nach der Montage durch Befahrungen (z. B. Inspektion mit Montagefahrzeug)
- Inspektionsfahrten zur Kontrolle des statischen und dynamischen Zusammenwirkens zwischen Stromabnehmer und Oberleitung
- Abnahme der Supportfunktionen gemäß Montageanleitung, z. B. Sicat CMS, Sicat AES
- Durchführung von Isolationsprüfungen
- Durchführung von Kurzschlussprüfungen zum Nachweis der korrekten Funktion der schutztechnischen Einrichtungen in den Unterwerken
- Einschalten des Oberleitungssystems und endgültige Abnahme

Im Rahmen der Abnahme sind Testfahrten durchzuführen. Dabei ist besonders auf den Beginn und das Ende der elektrifizierten Abschnitte zu achten sowie u. a. auf Überlappungen. Die Freigabe der Oberleitungsanlage darf erst dann erfolgen, wenn die Testfahrten erfolgreich absolviert wurden und keine Nachbesserungen erforderlich sind, welche die Inbetriebnahme der Oberleitungsanlage behindern.



**Abbildung 7: Testfahrten auf der ELISA-Versuchsanlage (Siemens)**

### Inbetriebnahme

Mit Übergabe der Oberleitungsanlage an den Betreiber übernimmt dieser die Anlagenverantwortung. Vor Inbetriebnahme sind alle Gewerke, die an der Errichtung beteiligt waren, sowie alle Gewerke, die mit dem Betreiber zusammenarbeiten, die Verkehrsteilnehmer und die Anwohner über die elektrische Zuschaltung der Fahrleitungsanlage zu informieren. Mit der offiziellen Inbetriebnahme gilt die Anlage als unter Spannung stehend und es gelten die allgemeinen Sicherheitsregeln für den Betrieb elektrischer Anlagen.

### 2.4. Wartung und Instandhaltung

Je nach Einsatzort und Einsatzbedingungen ergeben sich aus den in 3.1 beschriebenen Anforderungen unterschiedliche Ansprüche an die Zyklen für die Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten (bspw. Erneuerung Korrosionsschutz). Im Rahmen von Inspektionen werden sowohl die Oberleitungsanlage als auch die Gleichrichterunterwerke einer visuellen Begutachtung und Prüfung unterzogen. Der Umfang der Instandhaltung richtet sich nach den Leistungsbeschreibungen gemäß DIN 31051. Die Wartungsintervalle in der anfänglichen Phase des Anlagenbetriebs nach Inbetriebnahme sowie in der darauffolgenden Zeit richten sich nach den entsprechenden Vorgaben der Wartungshandbücher der eHighway- Oberleitungsanlage und sind zu berücksichtigen.

Die zyklische Begutachtung und Prüfung der Oberleitungsanlage differenzieren zwischen einer Begehung und einer Befahrung der Oberleitungsanlage. Im Zuge einer Begehung wird die Oberleitungsanlage aus dem Seitenraum heraus begutachtet, wobei das Hauptaugenmerk der Inspektion den Masten (einschließlich der daran angebrachten Ausleger, Erdseile, Schellen und Kästen), Fundamenten sowie Nachspanneinrichtungen und Trennschaltern zu widmen ist. Ebenso können während der Inspektion u.U. Materialmängel bei den Betongewichten der Nachspanneinrichtungen identifiziert werden. Die Begehung erfordert keine Sperrung eines oder mehrerer Fahrstreifen, sondern lediglich eine Verkehrssicherung des Seitenstreifens. Die Oberleitungsanlage ist dabei nicht zwangsläufig abzuschalten.

Bei einer Befahrung wird die Oberleitungsanlage mit einem Hubsteiger befahren, so dass eine Sperrung des rechten Fahrstreifens sowie des Seitenstreifens erforderlich ist. Bei Tragseilen über dem 2. Fahrstreifen ist auch dieser zu sperren. Die Oberleitungsanlage ist in jedem Fall abzuschalten. Die Befahrung dient der Detailprüfung der Elemente des Kettenwerkes. Anhand einer Prüfliste werden die verschiedenen Anlagenteile gezielt inspiziert. Dabei werden bspw. die Hänger auf Straffheit des Seils und festen Sitz an Fahrdraht und Tragseil geprüft. Etwaige kleinere Beschädigungen, wie zum Beispiel ein gerissenes Hängerseil, können dann aus dem Hubsteiger heraus direkt instandgesetzt werden.



**Abbildung 8: Inspektion der Fahrleitungsanlage aus einem Hubsteiger (Siemens)**

Im Rahmen der Befahrung der Oberleitungsanlage sind u. a. folgende Tätigkeiten auszuführen:

- Aufnahme des Anlagenzustands mit einer Kamera (Fotodokumentation), Befahrung der Anlage zur Inspektion des oberen Teils der Anlage (Ausleger, Maste inkl. aller Befestigungspunkte, Trennschalter)

- Fahrstraßentagmessung an definierten Messpunkten

Neben den zyklischen Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten gemäß den Vorgaben der Wartungshandbücher der eHighway-Oberleitungsanlage erwiesen sich im Feldversuch ELISA zusätzlich regelmäßige Kontrollfahrten in kürzeren Abständen als besonders hilfreich, um mögliche Problemfelder frühzeitig zu detektieren und somit den Wartungs- und Instandhaltungsaufwand zu reduzieren.

Wie auf allen deutschen Autobahnen üblich, führt auch auf dem ELISA-Streckenabschnitt die dafür zuständige Autobahnmeisterei regelmäßige Streckenkontrollen durch. Visuell erkennbare Schäden und Auffälligkeiten der Straßeninfrastruktur können somit frühzeitig detektiert und lokalisiert werden, so dass entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden können. Im Bereich der ELISA-Versuchsanlage wurde die Autobahnmeisterei auch mit der regelmäßigen Kontrolle der Oberleitungsanlage beauftragt. Hierfür wurde gemeinsam mit dem Oberleitungsinfrastrukturbetreiber ein einheitliches Protokoll ausgearbeitet, um Art und Umfang der optischen Prüfung festzulegen und eine strukturierte Dokumentation der Prüfergebnisse für die wesentlichen Elemente der Oberleitungsanlage sicherzustellen und strukturiert dokumentieren zu können. Die optische Prüfung beinhaltet u.a. Kontrollen an der Fahrleitung, den Trageeinrichtungen und den Masten. Ferner wird der witterungsabhängige Zustand der Oberleitung protokolliert.

## 2.5. Systemauslegung

Die Integration neuer Technologien bringt immer Ambivalenzen mit sich, denen es entgegenzuwirken gilt. Die positiven Effekte einer weitreichenden Elektrifizierung des Schwerlasttransports werden nur im Falle ausreichender Netzanschlusskapazitäten entlang von Autobahnen erzielt. Aktuell stellt dies einen zentralen limitierenden Faktor dar und steht einer schnellen Integration, sowohl von stationären Ladesäulen als auch von dynamischen Ladesystemen, entgegen. Die Integration einer Technologie in den

Verkehrssektor erfordert immer eine multidisziplinäre Betrachtung. So sind sozioökonomische Prozesse, wie beispielsweise das ungeplante Blockieren einer Ladesäule durch einen Lkw, aber auch die geplante Zentralisierung von Netzanschlusskapazitäten entlang der Autobahn an strategisch sinnvollen Standorten, zu berücksichtigen. Ein Synergieszenario aus stationärem und dynamischem Laden wird die Effizienz im Bereich der Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge, insbesondere für den Schwerverkehr, erheblich steigern.

Von besonderer Wichtigkeit bei der Netzplanung ist eine hohe Planbarkeit des Gleichzeitigkeitsfaktors anzusehen (ergänzende Informationen im Hinweisblatt für Energieversorgungsunternehmen). Um diesen beim dynamischen Laden valide zu bestimmen, stehen die benötigte Leistungsaufnahme je Lkw und die Verkehrsbelastung je Zeit und Streckenabschnitt zur Verfügung. Beim stationären Laden gestaltet sich dies etwas schwieriger. Zwar kann davon ausgegangen werden, dass nicht immer alle Ladesäulen gleichzeitig genutzt werden, dennoch sind Rückhaltekapazitäten für einen reibungslosen Prozess zu bilden. Eine Leistungsreduzierung von Ladeparks entlang von Fernstraßen ist im Netzplanungsprozess nicht zu berücksichtigen.

Die geringen Flächenpotenziale für Stellplätze für Ladepunkte entlang von Fernstraßen stellen eine weitere Herausforderung dar. In dicht besiedelten Gebieten entlang von Fernstraßen im öffentlichen Raum ist häufig nur begrenzter Platz verfügbar. Die Nutzung dynamischer Ladesysteme stellt eine effiziente Lösung dar, da sie keinen zusätzlichen Raum beansprucht.

Dynamisches Laden bietet die Möglichkeit, den Anschluss an das Mittelspannungsnetz deutlich flexibler zu gestalten. Erreicht wird dies durch eine lageoptimierte Auswahl des Netzanschlusspunktes. Die Einspeisung in einen Versorgungsabschnitt sollte dort erfolgen, wo die Netzinfrastrukturen leichter zugänglich sind und sich einfacher erschließen lassen. Die Ladeinfrastruktur kann dadurch effizienter und kostengünstiger in das bestehende Stromnetz integriert werden.

## 3. Schlussfolgerungen und Ausblick

Oberleitungsanlagen werden für eine Nutzungsdauer von mindestens 20 Jahren ausgelegt. Hieraus ergeben sich zahlreiche zu berücksichtigende Anforderungen sowohl an die Vorplanung und Projektierung als auch an den laufenden Betrieb mitsamt der Instandhaltung. Grundsätzlich sollte bei der Planung einer Oberleitungsanlage bei allen höhen- und längsrelevanten Bestandsbauwerken im Streckenabschnitt ein Einfluss auf die Gestaltung oder die bautechnische Umsetzung angenommen werden, bis das Gegenteil

nachgewiesen werden kann. Es sind die Anforderungen an den Lichtraum zu berücksichtigen sowie sämtliche geologischen und klimatischen Gegebenheiten in die Planung und Projektierung einzubeziehen. Durch Anpassung notwendiger bautechnischer Planungsaufgaben und die Ableitung / Entwicklung entsprechender Maßnahmen können schon im Vorfeld der Errichtung anlagenbedingte Ausfälle der Anlage vermieden werden.

Regelmäßig stattfindende Inspektionen und die Einhaltung vorgegebener Wartungsmaßnahmen der Oberleitungsanlage sorgen im Verbund mit zusätzlichen Streckenkontrollen durch Autobahnmeistereien für eine kontinuierliche Beibehaltung einer hohen Gesamtverfügbarkeit. Die gegenseitige Beeinflussung einer zeitgleichen Errichtung der Oberleitungsinfrastruktur und der in der Regel zu errichtenden passiven Schutzeinrichtung kann durch frühzeitige Integration aller beteiligten Gewerke in die Vorplanungen gewährleistet werden. Hierbei sind insbesondere die aus der Einrichtung von Arbeitsstellen kürzerer Dauer einhergehenden Zeitaufwände vor Beginn der jeweiligen Baumaßnahme bei der Planung des Bauablaufs zu berücksichtigen. Daneben erfordert das Einbeziehen verkehrsrechtlicher Anordnungen in die Planungen der Bauausführung eine Konkretisierung der Arbeitsweisen und der Arbeitszeiten der ausführenden Unternehmen im Hinblick auf die zukünftig bei der Errichtung von Oberleitungsanlagen geltenden Rahmenbedingungen.

#### 4. Schrifttum und weiterführende Literatur

**Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2022):** Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten ZTV-ING

**Deutscher Ausschuss für Stahlbau (2009):** Richtlinie022: Feuerverzinken von tragenden Stahlbauteilen

**Forschungsgesellschaft für Straßen- u. Verkehrswesen e. V. (2008):** Richtlinien für die Anlage von Autobahnen [RAA]

**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.

**Giebel, S.; Hahn, G.; Schmitt, N; Wauri, D. (2021):** B.5 Errichtung der Versuchsanlage. 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).

**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

**Siemens Mobility GmbH (2022):** Siemens eHighway – Infrastruktur Sicut eh 2.0 - Oberleitungssystem für eHighway

**DIN EN 50341-1 (2013):** Freileitungen über AC 1 kV Teil 1: Allgemeine Anforderungen – Gemeinsame Festlegungen

#### 5. Autorinnen und Autoren des Hinweispapiers

Danny Wauri, Siemens Mobility GmbH  
Holger Sommer, Siemens Mobility GmbH  
Bernhard Mayer, Siemens Mobility GmbH

#### 6. Beteiligte Institutionen

<b>Die Autobahn GmbH des Bundes</b> Geschäftsbereich Verkehrsmanagement, Betrieb und Verkehr Abteilung Verkehrsmanagement Bessie-Coleman-Straße 7 60549 Frankfurt am Main	<b>Technische Universität Darmstadt</b> Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik (IVV) Otto-Berndt-Straße 2 64287 Darmstadt
<b>Siemens Mobility GmbH</b> Krauss-Maffei-Straße 2 80997 München	<b>e-netz Südhessen AG</b> Forschung & Entwicklung Dornheimer Weg 24 64293 Darmstadt