

IKEM Working Paper

**Leitbilder für den Aufbau
von elektrischen Straßen-
systemen in Europa**

IKEM Working Paper Nr. 4

Leitbilder für den Aufbau von elektrischen Straßensystemen in Europa

Matthias Hartwig
Anna Bußmann-Welsch
Michael Lehmann

Dieses Working Paper entstand im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Projektes „AMELIE – Abrechnungssysteme und -methoden von elektrisch betriebenen Lkw, sowie deren interoperable Infrastrukturen im europäischen Kontext“.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Zitiervorschlag:

Hartwig, Matthias; Bußmann-Welsch, Anna; Lehmann, Michael: Leitbilder für den Aufbau von elektrischen Straßensystemen in Europa. IKEM Working Paper, 2020.

DOI: 10.5281/zenodo.4327277

Oktober 2020

IKEM – Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e.V.

Magazinstraße 15-16
10179 Berlin

+49 (0) 30 408 18 70-10
info@ikem.de

Weitere Informationen zu Projekten und Publikationen des IKEM unter www.ikem.de

Inhaltsverzeichnis

1. Executive Summary	1
2. Überblick über elektrische Straßensysteme und deren Marktreife	2
2.1. Europa braucht ein Leitbild für den Aufbau elektrischer Straßensysteme	2
2.2. Ziel dieses IKEM Working Papers	3
2.3. Technologien zur dynamischen Stromversorgung des Straßengüterfernverkehrs	3
2.4. Einordnung der Technologie und Marktreife	5
2.5. Prognose eines weiteren Systemaufbaus ohne abgestimmte Regulierung	9
3. ERS als Teil der transeuropäischen Verkehrsnetze: drei Szenarien für die europäische Regulierung	10
3.1. Wirkung der Standardisierung	10
3.2. Szenario 1: Vorausgehen eines Mitgliedstaates	12
3.3. Szenario 2: Ein europaweit interoperables ERS (Vorzugsszenario)	16
3.4. Szenario 3: Wenige kompatible ERS	20
4. Ausblick	21

1. Executive Summary

Im dieses Jahr vorgestellten europäischen Klimagesetz, macht es sich die EU im Einklang mit den Pariser Klimazielen zur Aufgabe, bis 2050 klimaneutral zu wirtschaften. Da rund 25% der gesamten CO₂-Emissionen des Straßenverkehrs innerhalb der EU auf den Güterschwerverkehr entfallen, ist eine schnelle Dekarbonisierung dieses Bereichs entscheidend auf dem Weg zur Klimaneutralität. Da alternative Kraftstoffe wie Wasserstoff oder synthetische Kraftstoffe einen geringen Wirkungsgrad aufweisen und reine Batterielösungen im Schwerverkehr mit einem erheblichen Batterie- und folglich Transportgewicht sowie entsprechend langen Ladezeiten einhergehen, müssen Lösungsansätze, um die bereits bis 2030 erforderlichen Treibhausgasersparungen realisieren können, Electric road systems (ERS) einbeziehen. Immerhin hat sich die EU zum Ziel gesetzt, bis 2050 die Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor um insgesamt 90% zu senken.¹ Diesbezüglich existieren drei primäre Ansätze: Oberleitungssysteme, Stromschienensysteme und Induktionssysteme. Da Projekte mit in der Straße verbauten Induktionsspulen vielerorts mit technischen Problemen konfrontiert wurden, erscheint diese Technologie zumindest mittelfristig nicht einsatzfähig. Pilotprojekte zu Stromschienensystemen und vor allem Oberleitungssystemen sind in der Entwicklung hingegen schon weiter vorangeschritten. Dabei ist besonders die Entwicklung der Oberleitungssysteme hervorzuheben, die als kosteneffiziente und dynamische Lösung schon zahlreiche Pilotprojekte in- und außerhalb Deutschlands durchlaufen hat und mit einer Technology Readiness Level (TRL) von 8 (TRL 9 voraussichtlich in den Jahren 2021 oder 2022) noch vor Stromschienensystemen steht. Wenn die erforderliche Regulierung auf europäischer und nationaler Ebene und die anschließende Planung und Errichtung zügig umgesetzt werden, kann der Güterschwerverkehr bis 2030 sehr weitreichend dekarbonisiert werden, ohne zusätzliche Belastung der Transportunternehmen und

bei überschaubaren Investitionen für die staatlichen Betreiberunternehmen.

Zur Implementierung der ERS auf EU-Ebene sind grundsätzlich drei Szenarien denkbar: Vorausgehen eines Mitgliedstaates mit einem System und Nachfolge weiterer Staaten aufgrund bilateraler Vereinbarungen (1), ein europaweit interoperables ERS (2) und wenige kompatible² ERS (3). Während eine Absprache ausgewählter Mitgliedstaaten oder der Alleingang eines Mitgliedstaates wie in Szenario 1 und 3 schon ein hohes Potenzial zur Dekarbonisierung mit sich bringt, könnte die entstehende Insellösung dieser Staaten gleichwohl zu verschiedenen, womöglich nicht interoperablen technischen Lösungen führen, mit entsprechenden wirtschaftlichen Mehrkosten und weniger Einsparung an Treibhausgasen. Dies ist insbesondere in Szenario 3 der Fall, da die Systeme hier nur zu einem geringen Grad aufeinander abgestimmt und entsprechend nur kompatibel sind. Demgegenüber stellt Szenario 2 das Konzept eines EU-weit standardisierten, interoperablen Systems mit einem einheitlichen Mess- und Abrechnungssystem vor, bei dem europaweit Mobilitätsanbieter auf einem Wettbewerbsmarkt Strom an die Nutzer des ERS vertreiben können. Die beteiligten Transportunternehmen können so am Markt für sich die günstigsten Strompreise, den besten Service und passfähige Tarifmodelle auswählen. Gleichzeitig müssen sie für alle Verträge und Abrechnungen zur Abwicklung sowohl ihres Strombezugs als auch zur Begleichung fälliger Straßengebühren nur mit einem Unternehmen in Kontakt treten, da der Mobilitätsanbieter gleichzeitig europäische elektronische Mautdienste (EETS) anbieten kann (Single Point of Contact). Eine derartige Standardisierung würde technische Abläufe vereinfachen und bietet sich auch aus wirtschaftlicher Sicht als kosteneffizienteste Option besonders an. Szenario 2 wird daher im Rahmen dieses Positionspapiers als Vorzugsszenario betrachtet.

1 The European Green Deal, COM/2019/640.

2 Kompatibilität meint hier, dass ein System die Anforderungen eines anderen in bestimmten Bereichen und Teilsystemen erfüllt. Die Systeme verfügen dann über miteinander vereinbare Eigenschaften, können jedoch nicht nahtlos zusammenarbeiten. Ein einfaches Beispiel für Kompatibilität sind unterschiedliche Netzstecker und Steckdosen im Hausgebrauch in verschiedenen Ländern und Regionen. Stromsystem und Spannungsebene (AC 230 V) sind häufig gleich, die tatsächliche Nutzbarkeit „landesfremder“ Stecker wird über (Reise-)Adapter erreicht.

2. Überblick über elektrische Straßensysteme und deren Marktreife

2.1. Europa braucht ein Leitbild für den Aufbau elektrischer Straßensysteme

Das durch die EU-Kommission am 4. März 2020 vorgestellte Europäische Klimagesetz „gibt das verbindliche Ziel vor, für die Verwirklichung des in Artikel 2 des Übereinkommens von Paris festgelegten langfristigen Temperaturziels bis zum Jahr 2050 in der Union Klimaneutralität zu erreichen.“³ „Um Klimaneutralität zu erreichen, müssen die verkehrsbedingten Emissionen bis 2050 um 90 % gesenkt werden. Alle Verkehrsträger (Straße, Schiene, Luft- und Schifffahrt) werden zu dieser Verringerung beitragen müssen.“⁴ „Bis zum 30. Juni 2021 bewertet die Kommission, wie die Rechtsvorschriften der Union zur Umsetzung der Zielvorgabe der Union bis 2030 geändert werden müssen, damit Emissionsreduktionen um 50 % bis 55 % gegenüber den Werten von 1990 erreicht werden können.“⁵ Konkrete Reduktionsziele für die verkehrsbedingten Emissionen bis 2030 stehen also noch aus, werden jedoch bald feststehen und sehr ambitioniert ausfallen. Das Klimagesetz soll in der zweiten Jahreshälfte 2021 verabschiedet werden.

„Die CO₂-Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen, einschließlich Lastkraftwagen und Bussen, machen in der Union rund 6 % der CO₂-Gesamtemissionen und rund 25 % der CO₂-Emissionen aus dem Straßenverkehr aus.“⁶ Bis zum Erlass der VO 2019/1242/EU (CO₂-Emissionsnormen für neue schwere Nutzfahrzeuge) enthielt „das Unionsrecht keinerlei Vorgaben für die Senkung der CO₂-Emissionen schwerer Nutzfahrzeuge, und daher bedarf es unverzüglich konkreter Maßnahmen für solche Fahrzeuge.“⁷ Im Vergleich der Antriebstechnologien zeigen elektrische Fahrzeugvarianten auch für den Nutzfahrzeugbereich bis zum Jahr 2030

die höchsten Treibhausgas-Minderungspotenziale.⁸ Auch die AFI-RL (2014/94/EU) stellt heraus: „Elektrizität hat das Potenzial, die Energieeffizienz von Straßenfahrzeugen zu erhöhen und zu einer Senkung der CO₂-Emissionen im Verkehr beizutragen. Sie ist eine Energiequelle, die für den Einsatz von Elektrofahrzeugen [...] unverzichtbar ist und zur Verbesserung der Luftqualität sowie zur Lärminderung in städtischen bzw. vorstädtischen Ballungsräumen und anderen dicht besiedelten Gebieten beitragen kann.“⁹ Als Infrastruktur für die Versorgung von Elektrofahrzeugen setzt die AFI-RL (2014/94/EU) auf Ladepunkte, die am Bedarf von Pkw ausgerichtet sind. Für elektrisch betriebene Pkw überzeugt diese Strategie insbesondere deshalb, da mit ihnen angemessene Reichweiten bei hoher Flexibilität dargestellt werden können, sobald ausreichend Ladepunkte vorhanden sind. Für die Elektrifizierung des Güterschwerverkehrs enthält die AFI-RL (2014/94/EU) dagegen kein Leitbild. Wie bei Pkws werden Normalladepunkte für die Versorgung von Lkw dort eine Bedeutung erlangen, wo Lkw auf längere Zeit abgestellt werden, also etwa auf Betriebshöfen oder Autohöfen mit Übernachtungsmöglichkeiten für die Fahrer. Auch Schnellladepunkte, die auf die spezifischen Bedürfnisse der Lkw ausgelegt sind, können an Orten mittlerer Verweildauer (z. B. Raststätten mit Gastronomieangeboten, an denen die Fahrer üblicherweise Pause machen) eine ergänzende Rolle spielen, die jedoch durch Platzmangel an den Raststätten und die zeitlichen Restriktionen der Fahrer begrenzt sein wird. Der Güterschwerverkehr ist in den meisten Transportaufgaben betrieblich darauf optimiert, täglich große Strecken ohne weitere Fahrtunterbrechungen zurückzulegen. So verlangen bereits die vorgeschriebenen Lenk- und Ruhezeiten für Fahrer (VO 561/2006/EG) eine minutiöse Routen- und Pausenplanung, die nicht durch zusätzlich

3 Europäische Kommission (2020): Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung des Rahmens für die Verwirklichung der Klimaneutralität und zur Änderung der Verordnung (EU) 2018/1999 (Europäisches Klimagesetz), S. 16. Online unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020PC0080&from=EN>.

4 Europäische Kommission (2019): Mitteilung der Kommission. Der europäische Grüne Deal. Online unter: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/european-green-deal-communication_de.pdf.

5 Europäische Kommission (2020).

6 Europäisches Parlament und Rat (2019): Verordnung (EU) 2019/1242, S. 2. Online unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R1242&from=EN>.

7 Ebd.

8 Hacker et al. (2020): StratON. Bewertung und Einführungsstrategien für oberleitungsgebundene schwere Nutzfahrzeuge. Endbericht, S. 84.

9 Europäisches Parlament und Rat (2014): Richtlinie 2014/94/EU, S. 4. Online unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0094>.

erforderliche Zwischenstopps für das Laden verkompliziert werden darf. Akkumulatoren, die die üblichen Reichweiten von Fahrzeugen des Güterschwerverkehrs abbilden, beanspruchen dagegen zu viel Laderaum und zu viel Gewicht, mit negativen Auswirkungen auf die Energie- und Kosteneffizienz. Dieses Problem kann durch die Ergänzung stationärer Ladepunkte durch ERS gelöst werden. ERS sind definiert als ein System, das eine dynamische Leistungsübertragung von der externen Energieversorgung entlang der Straße auf das Fahrzeug ermöglicht, während das Fahrzeug in Bewegung ist. Als kontinuierliche Energieversorgungsanlagen kommen die Technologien Oberleitungs- oder Stromschienensystem sowie induktive Energieübertragung in Betracht.¹⁰ Die dynamische Stromzufuhr ermöglicht eine unbegrenzte Reichweite innerhalb des entsprechenden Infrastrukturnetzes, so dass Fahrtunterbrechungen zur stationären Nachladung von Energiespeichern entfallen. Der Akkumulator im Fahrzeug oder ein alternativer Antrieb sind nur für Fahrten außerhalb der Infrastruktur notwendig. Die Größe des Akkumulators kann daher nach verschiedenen Effizienz Gesichtspunkten optimiert werden oder durch ein alternatives Antriebssystem (Hybrid) ergänzt werden, je nach den spezifischen Bedürfnissen des Transportunternehmens. Bei einem rein elektrischen Fahrzeug kann in ERS-Anwendungen der Akkumulator erheblich kleiner konzipiert werden als in Anwendung mit nur stationären Lademöglichkeiten, was im Schwerverkehr erhebliche Einsparungen an Kosten und Gewicht ermöglicht.¹¹ Europa braucht daher ein Leitbild für Elektromobilität für den Güterschwerverkehr, in dem ERS eine zentrale Rolle spielen, ergänzt durch passgenaue stationäre Ladeangebote an allen Orten, an denen längere Aufenthalte für die Fahrzeuge ohnehin vorgesehen sind. Für die Erreichung der europäischen Emissionsziele sind ERS die energieeffizienteste, kostengünstigste, wirtschaftlichste und schnellste Variante¹² (sowohl Nutzerkosten als auch volkswirtschaftliche Kosten). Ergänzt durch den zielgerichteten Aufbau von Ladepunkten gewährleisten sie zudem die höchste Flexibilität für Routen- und Pausenplanung der Transportunternehmen. In diesem Positionspapier soll gezeigt werden, dass sie auch den hohen Anforderungen der transeuropäischen Verkehrsnetze an europäische Inter-

operabilität genügen können (vgl. Art. 170 ff. AEUV) und eine Fragmentierung des Binnenmarktes aufgrund einer unkoordinierten Markteinführung alternativer Kraftstoffe (vgl. RL 2014/94/EU, Erwägungsgrund 10) durch rechtzeitige Aufnahme von ERS in der AFI-RL (2014/94/EU) verhindert werden kann.

2.2. Ziel dieses IKEM Working Papers

Eine häufig geäußerte Befürchtung im Zusammenhang mit dem Aufbau von elektrischen Straßensystemen ist, dass im ungünstigsten Fall in 27 Mitgliedstaaten der EU, Norwegen, Großbritannien, der Schweiz und den Nachbarstaaten, eine Vielfalt an ERS entstehen könne, neben Staaten, in denen kein ERS errichtet würde. In einem solchen unabgestimmten Szenario wäre für den grenzüberschreitenden Betrieb von ERS-Lkw mit deutlichen Einschränkungen zu rechnen, so dass die Dekarbonisierung des internationalen Schwerlastverkehrs eher auf einen flüssigen oder gasförmigen Kraftstoff setzen müsse. Darüber hinaus wäre eine heterogene Implementierung mit der Idee des europäischen Binnenmarkts und der transeuropäischen Netze nur schwer vereinbar. Mit dieser Befürchtung setzt sich dieses IKEM Working Paper in drei Szenarien auseinander. Es soll gezeigt werden, dass es verschiedene Szenarien gibt, die mit unterschiedlichen europäischen Regulierungsansätzen einhergehen, um die Idee der transeuropäischen Verkehrsnetze auch im Bereich der ERS umzusetzen.

Zur Orientierung soll vorab ein kurzer Überblick über die vorhandenen Technologien und deren Marktreife gegeben werden.

2.3. Technologien zur dynamischen Stromversorgung des Straßengüterfernverkehrs

Elektrische Straßensysteme bestehen aus vier Subsystemen: (1a) der Elektrizitätsversorgung über ein vorgelagertes

10 Gustavsson, Hacker und Helms (2019): Overview of ERS concepts and complementary technologies, S. 5.

11 Kühnel, Hacker und Görz (2018): Oberleitungs-Lkw im Kontext weiterer Antriebs- und Energieversorgungsoptionen für den Straßengüterfernverkehr, S. 20.

12 Ainalis, Thorne und Cebon (2020): Decarbonising the UK's Long-Haul Road Freight at Minimum Economic Cost, S. 22.

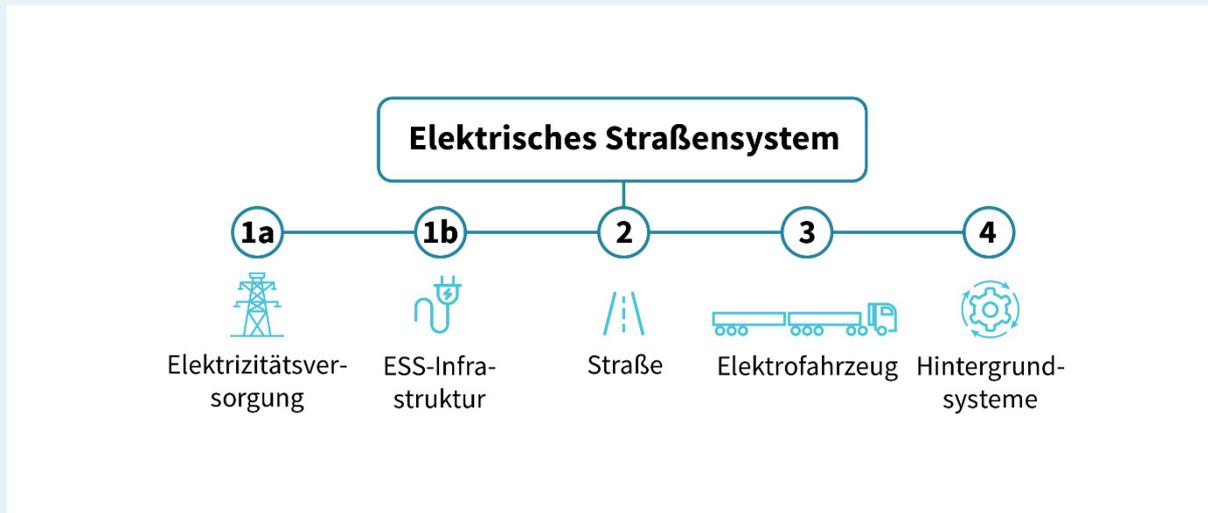


Abbildung 1: Elektrisches Straßensystem (Quelle: Eigene Darstellung)

Elektrizitätsversorgungsnetz und (1b) der ERS-Infrastruktur einschließlich Betrieb und Energiemanagement, (2) der Straße, an die sie angebaut sind und als deren Teil sie nach überwiegender Expertenmeinung aufzufassen sind, (3) den Elektrofahrzeugen mit Stromabnehmern, über die diese unmittelbar aus der Infrastruktur mit Elektrizität versorgt werden und (4) Verkehrsleit- und ESS- Hintergrundsystemen, die insbesondere ein Nutzerberechtigungssystem (von der Fahrzeugidentifikation, über Zugangsmanagement bis zur Rechtsdurchsetzung gegenüber Fehlnutzung) und ein Datenmanagement bezüglich aller für Betriebsführung,

Die technische Integration von ERS in die bereits bestehenden Subsysteme Elektrizitätsversorgung und Straße bringt Herausforderungen mit sich, die die europäische Interoperabilität nur am Rande berühren und hier daher nicht vertieft werden sollen. Für Lkw mit Elektroantrieb (eLkw) und die Stromabnehmersysteme entstehen gerade europäische Standards in Form technischer Spezifikationen.¹³ Treiber sind hier die ERS-Infrastruktur- sowie die Automobil-/ Zulieferindustrie, die für den internationalen Markt einheitliche Serienfahrzeuge auch für das Segment eLkw für ERS herstellen möchten, unabhängig von der Art der Stromversorgung. Dies stellt ERS und stationäre Ladepunkte einer-

seits vor die Herausforderung, dass sie auf die Versorgung standardisierter eLkw gleichermaßen ausgelegt werden müssen. Andererseits bringt dies den Vorteil mit sich, dass für ein wichtiges Teilsystem europäische und sogar internationale Interoperabilität ohne zusätzlichen Koordinationsaufwand seitens der europäischen Politik zeitnah vorliegen werden. Internationales Zulassungsrecht (insbesondere die Homologation nach ECE-Standards) muss in Bezug auf die neuen elektrischen Fahrzeugsysteme so fortgeschrieben werden, dass international interoperable eLkw auch für ERS bald in Serie gehen können.

Ein europäisches Leitbild wird daher in diesem Positionspapier für die ERS-Infrastruktur und Teile des Hintergrundsystems gefordert und drei Szenarien für unterschiedlich tiefgreifende Regelungsoptionen skizziert.

Nach dem derzeitigen Stand der Technik gibt es drei technologische Grundansätze für ERS-Infrastruktur mit ernsthaften Bemühungen um Marktreife. Dies sind die Stromversorgung über eine Oberleitung, die Stromversorgung über Stromschienen in der Fahrbahn und die Energieversorgung der Fahrzeuge über Induktionsspulen ebenfalls in der Fahrbahn, wie in Abbildung 2 ersichtlich.¹⁴

¹³ Beispielsweise erarbeitet die Cenelec TC9X Working Group 27 Technical Specification (TS) 50712 " Railway Applications – Current collection Systems – Technical Criteria for the interaction between pantograph and overhead contact lines on electrified roads"

¹⁴ vgl. auch Gustavsson, Hacker und Helms (2019): S. 8; Suul und Guidi (2018): Technology for dynamic on-road power transfer to electric vehicles, Overview and electro-technical evaluation of the state-of-the-art for conductive and inductive power transfer technologies, S. 12 und Wietschel et al. (2017): Machbarkeitsstudie zur Ermittlung der Potentiale des Hybrid-Oberleitungs-Lkw, S. 82.

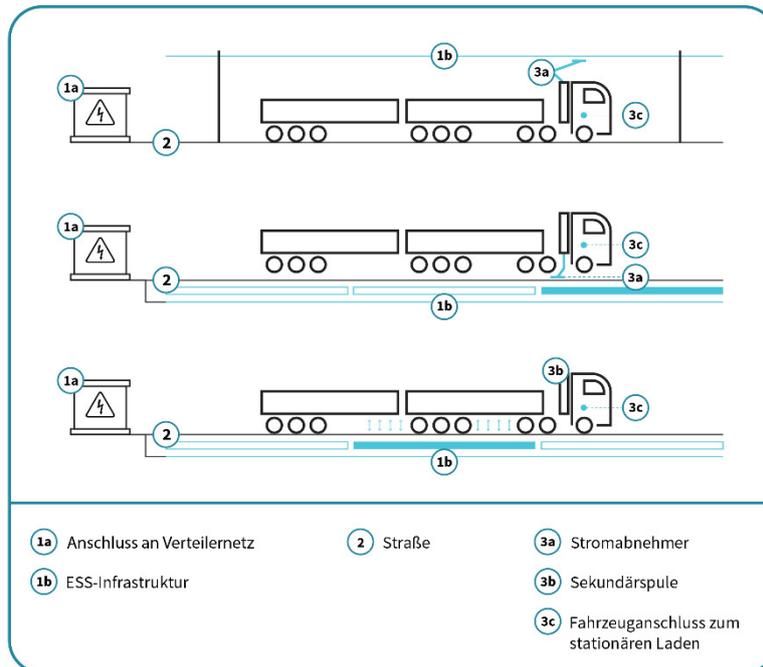


Abbildung 2: Technologische Ansätze für ESS-Infrastruktur (Quelle: Eigene Darstellung)

2.4. Einordnung der Technologie und Marktreife

2.4.1. Oberleitungssystem

Ein Oberleitungssystem wird seit 2010 von der Siemens Mobility GmbH unter dem Namen eHighway entwickelt. Die Technologie wurde auf der Grundlage vergleichbarer Oberleitungssysteme und der entsprechenden technischen Standards aus dem Eisenbahnbereich entwickelt und kann bei Geschwindigkeiten bis 100 km/h zuverlässig eingesetzt werden. Anpassungen erfolgten hauptsächlich in Bezug auf den Pantographen, der wie bei Trolleybussen die elektro-mechanische Schnittstelle zum Fahrzeug darstellt und damit die Rückleitung des Stroms leisten muss. Zusätzlich erfolgte eine technische und optische Integration der ESS-Infra-

struktur in den Autobahnraum.¹⁵ Die Integration der Strom-abnahmetechnik in das elektrische Fahrzeugsystem erfolgte in den verschiedenen Projekten v. a. durch die Scania AB, aber in einem Fall auch durch die Volvo-Tochter Mack sowie die mittelständischen Nutzfahrzeugspezialisten Transpower (USA) und Paul Nutzfahrzeuge GmbH. Nach erfolgreich abgeschlossenen Systemtests im Straßenraum in Kalifornien und Schweden wurde dem System in 2018 ein TRL 7 beigemessen.¹⁶ Im Mai 2019 wurde auf einem Abschnitt der Autobahn A5 in der Nähe von Frankfurt in Hessen ein Oberleitungssystem mit jeweils 5 km Länge in beide Fahrtrichtungen in Betrieb genommen, an dem bis 2022 durchgehend ein Testbetrieb mit den Fahrzeugen verschiedener Speditionen erfolgt.¹⁷ Im Dezember 2019 ging eine vergleichbare Testanlage von 2 x 5 km Länge auf der A1 zwischen Reinfeld und Lübeck in Betrieb.¹⁸ Ein weiterer Testbetrieb startet an

15 Suul und Guidi (2018): S. 12.

16 Ebd.: S. 14.

17 Hessen Mobil (o.A.): ELISA – Elektrifizierter, innovativer Schwerverkehr auf Autobahnen. Online unter: <https://ehighway.hessen.de/ELISA>.

18 eHighway.SH (o.A.): Feldversuch eHighway Schleswig-Holstein. Online unter: <https://www.ehighway-sh.de/de/projektbeschreibung.html>.

der B462 in Baden-Württemberg auf einer Strecke von 2 x 3,4 km zwischen den Städten Kuppenheim und Gernsbach-Obertsrot voraussichtlich Anfang 2021. Aufgrund des weitgehend störungsfreien Regelbetriebs der Pilotprojekte kann nunmehr von einem TRL 8 (durch Test und Demonstration abgeschlossene und qualifizierte Ist-Systeme) ausgegangen werden, mit Abschluss der Projekte kann voraussichtlich in den Jahren 2021 oder 2022 ein TRL 9 (durch erfolgreichen Missionsbetrieb erprobtes Ist-System) erreicht werden, ohne dass technische Hindernisse erwartet werden.¹⁹ Abgesehen von subjektiven ästhetischen Einwänden gegen Oberleitungen auf hochbefahrenen Autobahnen und lösbarer Herausforderungen bei deren Wartung und elektrischer Sicherung²⁰ ist der wesentliche Kritikpunkt am Oberleitungssystem, dass es nur eine Stromversorgung von Fahrzeugen einer bestimmten Mindestgröße erlaubt.²¹ Pantographen, die in die erforderliche Höhe reichen, sind für Fahrzeuge mit einem zugelassenen Gesamtgewicht von 7,5 Tonnen in bestimmten Fällen voraussichtlich noch möglich, für kleinere Fahrzeuge aber ausgeschlossen. Da die Elektrifizierung von Pkw und des Güternahverkehrs jedoch über stationäre Ladelösungen für nahezu alle Einsatzspektren erfolgen kann, ist das für den hier vorgeschlagenen Einsatz von ERS im Schwerkehr keine nachteilige Einschränkung.

In der Begleitung der genannten Projekte werden internationale Standards aus dem Eisenbahn- und Automotivbereich fortgeschrieben und finden direkt oder sinngemäß Anwendung. Begleitende Projekte zur Ermittlung des ökonomischen und Klimaschutzpotenzials, der technischen und rechtlichen Anpassung an den Autobahnbereich, der Fortschreibung der Standards und Entwicklung von Lösungen für erforderliche Messungen sowie der Abrechnung und Rechnungsstellung laufen seit 2011 und haben für alle wesentlichen Bereiche tragfähige Lösungen vorgelegt.²²

2.4.2. Stromschienensysteme

Eine weitere Möglichkeit zur Stromversorgung von Straßenfahrzeugen während der Fahrt bieten Stromschienensysteme, wobei in diesem Bereich verschiedene Ansätze von unterschiedlichen Unternehmen verfolgt werden. Zwar kann zur Entwicklung dieser Systeme begrenzt auf die vorhandene Technik des Eisenbahnbereichs aufgebaut werden, allerdings werden hierfür erhebliche Anpassungen zum Einbau in die Straße erforderlich. So müssen aufgrund fehlender Spurhaltung durch Fahrstreifen wie im Eisenbahnbereich beispielsweise Vorkerungen zum Ausgleich der Fahrzeugbewegungen in der Spur getroffen werden, wohingegen bei Oberleitungen die Stromabnehmer selbst eine breitere Kontaktfläche aufweisen und die Fahrzeuge daher mehr Querspiel in der Fahrspur haben.

Der französische Konzern Alstom APS baut auf seiner für Straßenbahnen entwickelten Technologie auf. So wurde beispielsweise die Technologie im schwedischen Projekt „Slide-in Electric Road Systems“ auf einem geschlossenen Testgelände verwendet und nach abgeschlossenen Tests konnte dem entwickelten System bei der Anwendung auf der Straße zur Speisung von Pkw mindestens ein TRL 4 beigemessen werden.²³

Die Systeme der Firmen Elways und Elonroad sind Neuentwicklungen ohne Anknüpfung an vorhandene Traktionsstromversorgungssysteme in ÖPNV-Anwendungen. Im Jahr 2016 konnte das System von Elways mindestens TRL 4 erreichen.²⁴ Bis 2018 wurde zudem eine Weiterentwicklung bis TRL 7 erwartet.²⁵ Im Projekt eRoad Arlanda, in dessen Rahmen Elways die Technologie weiterentwickelt, verkehrt ein eLKW auf einem 10-Kilometer-Abschnitt zwischen Arlanda und Rosersberg. Für das Projekt wurden ab Oktober

19 Suul und Guidi (2018): S. 15ff.

20 Nicolaidis, Cebon und Miles (2017): Prospects for Electrification of Road Freight, S. 8.

21 Ebd.

22 Hacker et al. (2020); Hartwig, Schneider und Bußmann-Welsch (im Erscheinen): AMELIE – RED. Abrechnungssysteme und -methoden für elektrisch betriebene Lkw sowie deren interoperable Infrastrukturen im europäischen Kontext und Jöhrens et al. (2020): Roadmap OH-Lkw: Einführungsszenarien 2020–2030.

23 Suul und Guidi (2018): S. 18.

24 Ebd.: S. 24.

25 Ebd.

2017 zwei Kilometer der Gesamtstrecke mit Stromschienen ausgerüstet.²⁶

Das mit dem von Elways vergleichbare System von Elonroad, dessen Schienen ca. 5 cm aus dem Boden ragen, erreichte in einer Laborumgebung TRL 3 auf einer Teststrecke im schwedischen Lund. Zudem ließ sich die Technologie auf einer Teststrecke 2017 mindestens mit TRL 4 einstufen.²⁷

Die Standardisierung für die Fahrzeug-Infrastruktur-Schnittstelle hat ebenfalls begonnen, steht jedoch vor der Herausforderung, dass verschiedene mechatronisch teilweise inkompatible Systemansätze in einer technischen Spezifikation mit verschiedenen Ausprägungen beschrieben werden müssen.

2.4.3. Induktive Systeme

Der Einsatz von induktiven Systemen ermöglicht eine kontaktfreie Stromübertragung zwischen Fahrzeug und Infrastruktur mittels magnetischer Felder. Da der Strom durch unter der Fahrbahndecke verlegte Primärspulen und ihre Zuleitungen über magnetische Wechselfelder zur Sekundärspule im Fahrzeug übertragen wird, ist die verbaute Technik überirdisch nicht sichtbar. Die Energieübertragung kann stationär (im Stand) als auch dynamisch (während der Fahrt) erfolgen. Erste signifikante Entwicklungsschritte gab es in Südkorea. Das Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST) arbeitete ab 2013 an dem Projekt „Online Electric Vehicle“ (OLEV), welches das Aufladen von Bussen und Trams während der Fahrt ermöglichte. Die

Induktionsladetechnik kam 2013 bei zwei Bussen auf einer 24 Kilometer langen Strecke zwischen der Gumi Bahnstation und dem In-Dong Distrikt zum Einsatz. Dabei waren 5-15% der Gesamtroute mit Ladeplatten ausgestattet.²⁸ Heute gilt die Technologie in Südkorea als gescheitert, da die Kommerzialisierung fehlschlug.²⁹ Auch die Tests des PRIMOVE-Systems (Bombardier Inc.) mit stationärer induktiver Energieübertragung im Linienbetrieb in Berlin wurden 2019 eingestellt.³⁰ Stattdessen setzt man in Berlin auf stationäre, konduktive Energieübertragungen mittels infrastrukturseitigen Pantographen.³¹ TRL 5 bzw. 6 konnten somit für induktive Energieübertragungen auf Busse nicht überschritten werden.

Der kanadische Hersteller Bombardier entwickelt seit 2010 eine Technologie zur induktiven Stromübertragung, allerdings hauptsächlich zum stationären Laden von Straßenbahnen und Bussen. An Standorten in beispielsweise Deutschland (Berlin, Braunschweig und Mannheim) und Schweden (Södertälje) werden PRIMOVE E-Busse von Bombardier eingesetzt und entlang der Route mittels Ladestationen an regulären Haltestellen aufgeladen.³² Die Technologie kann auch für eine dynamische Aufladung eingesetzt werden, welche von Bombardier auf einem Straßenbahnstreckenabschnitt der Linie 3 in Augsburg erprobt wurde.³³ Bei dem in Mannheim von 2013 bis 2018 stattfindenden Projekt, welches die Bombardier-Technik PRIMOVE einsetzte, wurden zwei Elektrobusse bei der Fahrt induktiv geladen. Das Projekt lief allerdings 2018 ohne Verlängerung aus, da sich Werkstattaufenthalte häuften, zu kurze Akku-Lademöglichkeiten bestanden und zu aufwendige technische Anlagen an

26 eRoadArlanda (o.A.): About the project. Online unter: <https://eroadarlanda.com/about-the-project/>.

27 Suul und Guidi (2018): S. 27.

28 PHYS (2013): Wireless Online Electric Vehicle, OLEV, runs inner city roads. Online unter: <https://phys.org/news/2013-08-wireless-online-electric-vehicle-olev.html>.

29 The Korea Times (2019): ICT minister nominee accused of wasting research money. Online unter: https://www.koreatimes.co.kr/www/tech/2019/04/325_265924.html.

30 Urban Transport Magazine (2019): Berlin: E-Bus Test mit Induktionsladung eingestellt. Online unter: <https://www.urban-transport-magazine.com/berlin-e-bus-test-mit-induktionsladung-eingestellt/>.

31 Tagesspiegel (2020): BVG elektrifiziert die Linie 200. Online unter: <https://www.tagesspiegel.de/berlin/geladen-wird-der-bus-per-pantograf-bvg-elektrifiziert-die-linie-200/26133720.html>.

32 Bombardier (2017): Bombardier's PRIMOVE E-Bus Fleet in Braunschweig Proves the Power of E-Mobility. Online unter: <https://rail.bombardier.com/en/newsroom/press-releases.html/bombardier/news/2017/bt-20171215-bombardiers-primove-e-bus-fleet-in-braunschweig-prov/en>.

33 B4B Wirtschaftsleben Schwaben (2012): Straßenbahnen ohne Oberleitung werden Realität. Online unter: https://www.b4bschwaben.de/b4b-nachrichten/augsburg_artikel,-strassenbahnen-ohne-oberleitung-werden-realitaet-bombardier-_arid,116490.html.

der Strecke nötig waren.³⁴ Auch hier ergaben sich für die Umsetzung somit Probleme ähnlich denen in Südkorea.

Aktuell läuft im schwedischen Gotland das Projekt Smartroad Gotland, für das ElectReon AB die Technik bereitstellt. Auf einem insgesamt vier Kilometer langen Streckenabschnitt werden dabei 1,6 Kilometer (800 Meter in jede Richtung) elektrifiziert. Erste Tests mit LKWs und einem Bus sind für 2020 geplant.³⁵ In der weiteren Projektlaufzeit bis 2022 wird sich zeigen, ob die im Projekt verwendete Technologie TRL 5 und 6 erreichen bzw. übertreffen kann.

Auch in verschiedenen anderen Ländern gibt es Pilotprojekte zum Laden von Elektrofahrzeugen während der Fahrt³⁶ und insbesondere China bemüht sich offenbar um Standards für das induktive Laden von Elektrofahrzeugen.³⁷

Konkrete Pilotprojekte für den Einsatz zum Laden von E-Lkw auf der Autobahn während der Fahrt (d. h. vornehmlich Sattelzugmaschinen bei Geschwindigkeiten bis 90 km/h) oder dahingehende Pläne von den genannten Unternehmen konnten allerdings nicht identifiziert werden. So attestierte die Fachpresse 2018 dem stationären induktiven Laden von Elektrofahrzeugen „noch in den Kinderschuhen“ zu stecken.³⁸ Induktive Ladelösungen für öffentliche Straßenanwendungen mit einer Leistungsübertragungsrate von über 50 kW sind auf dem Markt nicht vorhanden. Dies ist deutlich niedriger als die erforderliche Leistungsübertragungsrate für den Güterschwerverkehr. Selbst bei einer hundertprozentigen Abdeckung der Fahrbahnoberfläche wird eine Leistung von 140kW benötigt, wenngleich dieses Problem mit der Installation mehrerer Sekundärspulen auf einem

Lkw zumindest lösbar erscheint.³⁹ Die Installation würde in diesem Fall aber einen Neuaufbau der äußeren Fahrspur mit entsprechenden Kosten und ungeklärten Folgekosten für den Erhalt mit sich bringen.⁴⁰ Für viele Straßentypen wären sie voraussichtlich ungeeignet, soweit diese anfällig für Risse im Bereich eingelassener Geräte sind.⁴¹ Folgerichtig ist auch in keiner Publikation zum Thema ERS ein TRL für diese Technologie in diesem Anwendungsbereich angegeben. Es kann vermutet werden, dass bei hohen Geschwindigkeiten auf der Autobahn und den dabei entstehenden zusätzlichen Herausforderungen (Vibration, keine exakte Spurtreue der Fahrzeuge etc.) eine Umsetzung nach dem jetzigen Stand der Technik ausgeschlossen ist. Ein zusätzliches Problem im Betrieb besteht darin, dass induktive Systeme in die Fahrbahn des Verkehrssystems Straße eingebaut werden müssen, was hohe Zusatzaufwände bei Einbau und Instandhaltung nach sich ziehen würde. Weiterhin bestehen technische Zweifel an der Dauerfestigkeit der Technologie, da die für die Einhaltung der Sicherheitsanforderungen erforderlichen zahlreichen leistungselektronischen Schalter einer sehr hohen Schaltbelastung ausgesetzt sind.

Pläne zur Standardisierung einer induktiven Technologie zur Stromversorgung von Lkw während der Fahrt auf Autobahnen sind nicht bekannt. Die Möglichkeit zur Versorgung verschiedener Fahrzeugklassen (Pkw und Lkw) wird gelegentlich als Vorteil aufgeführt,⁴² gilt aber nur eingeschränkt, da für hohe Wirkungsgrade und Zuverlässigkeit die Spulensysteme auf die unterschiedlichen Überfahrgeschwindigkeiten, Abmessungen und Leistungsanforderungen der Fahrzeuge angepasst werden müssen.⁴³

34 heise online (2018): Induktives Laden: Mannheim will keine weiteren Primove-Elektrobusse. Online unter: <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Induktives-Laden-Mannheim-will-keine-weiteren-Primove-Elektrobusse-4060084.html>.

35 Smartroad Gotland (o.A.): FAQ Smartroad Gotland. Online unter: <https://www.smartroadgotland.com/faq>.

36 aio (2018a): Elektroauto laden: Künftig lädt das E-Auto während der Fahrt. Online unter:

<https://aiomag.de/unendliche-reich-weiten-elektroautos-waehrend-der-fahrt-laden-8840>.

37 Elektroauto-News (2020): China veröffentlicht Standard für induktives Laden von E-Fahrzeugen. Online unter:

<https://www.elektroauto-news.net/2020/china-standard-induktives-laden-elektrofahrzeuge>.

38 aio (2018b): Kabellos aufladen: Ist das die Zukunft für Elektroautos? Online unter:

<https://aiomag.de/kabellos-aufladen-ist-das-die-zukunft-fuer-elektroautos-7121>.

39 Nicolaidis, Cebon und Miles (2017): S. 8, dagegen wird jedoch eingewandt, dass dann auch der Auflieger des Sattelzugs einbezogen werden müsste, was kaum umsetzbar erscheint.

40 Ebd.: S. 9.

41 Ebd.

42 Nicolaidis, Cebon und Miles (2017): S. 9 und Ainalis, Thorne und Cebon (2020): S. 7.

43 vgl. PIARC (2018): Electric Road Systems: A Solution for the Future? Appendices, S. 155.

2.5. Prognose eines weiteren Systemaufbaus ohne abgestimmte Regulierung

2.5.1. Aufbau und Betrieb von ERS auf europäischen Autobahnen

ERS sind straßennahe Systeme, die untrennbar mit dem Straßenkörper verbunden sind und sich bei Aufbau und Betrieb an Autobahnen in die Sicherheitsarchitektur dieser Straßen einpassen müssen. Europäische Standards für die Ausstattung und Sicherheitsarchitektur transeuropäischer Verkehrswege gibt es im Straßenverkehr kaum. Die Pilotprojekte zu ERS in Deutschland und Schweden haben jedoch gezeigt, dass die Integration der ERS-Infrastruktur in den Straßenraum jeweils nach nationalem Planungsrecht möglich ist und dabei einerseits an spezifische Standards für die ERS-Infrastruktur aus dem Bahnbereich und andererseits an Planungsprozesse für Straßeninfrastrukturen anknüpfen kann.

Die Nutzung der ERS-Infrastruktur bedarf aufgrund des hohen Automatisierungsgrads der Stromabnahmesysteme aller in Entwicklung befindlicher Lösungen voraussichtlich in allen Mitgliedstaaten nur geringer Anpassungen der Straßenverkehrsregeln für den Ausschluss technisch ungeeigneter Fahrzeuge von der Nutzung, was eine Voraussetzung für die reibungslose Integration in den Straßenraum ist. Die Nutzerberechtigungssysteme von der Fahrzeugidentifikation, über Zugangsmanagement bis zur Rechtsdurchsetzung gegenüber Fehlnutzung werden entweder systemseitig so entwickelt, dass sie keine weitere Anpassung des rechtlichen Rahmens erfordern, oder müssen sich (im Fall der Rechtsdurchsetzung) den nationalen Gegebenheiten anpassen. Nationale Unterschiede in diesem Bereich und Regulierungsbedarf im Einzelfall stellen die europäische Interoperabilität nicht in Frage. Standards für die Zulassung von Fahrzeugen mit geeigneten Stromabnahmesystemen und dem zugehörigen elektrischen Fahrzeugsystem sollten dagegen begleitend zum Markthochlauf europäisch entstehen oder harmonisiert sein und sicherstellen, dass die elektrischen Fahrzeugsysteme einheitlich ausgelegt sind, damit eine Stromversorgung derselben Fahrzeuge sowohl über stationäre Ladestationen als auch über ERS erfolgen kann, also ggf. nur die Stromabnehmer angepasst werden müsste.

Drei Grundentscheidungen, die Planung, Aufbau und Betrieb von ERS betreffen, sollten darüber hinaus einheitlich

europäisch getroffen werden, damit ihre Interoperabilität untereinander und im Verhältnis zu stationären Ladepunkten gewährleistet werden kann:

- ERS sollten europäisch als „Infrastruktur für alternative Kraftstoffe“ (AFI-RL 2014/94/EU) in Anlehnung an Ladepunkte definiert werden, diesen jedoch nicht gleichgestellt, sondern eigenständig reguliert werden.
- ERS sollte europäisch so definiert werden, dass sie nicht Teil des Verteilnetzes sind und wie Ladepunkte getrennt von diesen betrieben werden.
- ERS sollten europaweit als Teil der Straße definiert werden und als solche in die Wegekostenrichtlinie (RL 1999/62/EG) aufgenommen werden.

Detaillierte Regulierungsvorschläge zur Umsetzung des Vorzugsszenarios (Szenario 2) werden im Zusammenhang mit diesem Szenario dargestellt.

2.5.2. Finanzierung und Abrechnung für elektrische Straßensysteme

Darüber hinaus muss ein europäisch interoperables Finanzierungs- und Abrechnungssystem für ERS geschaffen werden. Ein Leitbild, wie ein solches System am Beispiel des deutschen Rechtsrahmes aussehen könnte, wird im IKEM Working Paper: Vorzugsmodell für die Finanzierung und Abrechnung elektrischer Straßensysteme dargestellt (im Erscheinen).

Der folgende graphische Überblick zeigt, dass unter weitgehender Anknüpfung an bestehende europäische Regulierung im Bereich Wegekosten, Energiebinnenmarkt und den europäischen elektronischen Mautdienst (EETS) ein Marktmodell möglich wäre, bei dem transeuropäischer, interoperabler Verkehr an eine ERS möglich wäre und gleichzeitig ein Wettbewerbsmarkt für Mobilitätsanbieter entstehen kann, auf dem sie den besten Preis, den besten Service und das beste Tarifmodell für Strom kombiniert mit einem EETS anbieten können.

Aufgrund der europäischen Rahmenregulierung sind viele dieser Überlegungen überwiegend auf die anderen Mitgliedstaaten übertragbar und davon geleitet, einen Ansatz für Errichtung und Betrieb von ERS in Deutschland zu finden, der einen interoperablen Betrieb im europäischen Rahmen ermöglicht.

3. ERS als Teil der transeuropäischen Verkehrsnetze: drei Szenarien für die europäische Regulierung

Wie beschrieben, stehen nach dem derzeitigen Stand der Technik drei technologische Grundansätze als mögliche Lösungen für die Stromversorgung von ERS-Lkw während der Fahrt zur Verfügung, wenngleich mit unterschiedlicher Marktreife. Grundsätzlich wäre es vor diesem Hintergrund denkbar, dass sich die europäischen Staaten für unterschiedliche Systeme in ggf. unterschiedlichen Ausprägungen entscheiden könnten, die untereinander nicht interoperabel⁴⁴ oder sogar nicht kompatibel sind, zumal derzeit keine rechtliche Bindung der Staaten an bereits bestehende oder zukünftig entwickelte Standards besteht. Diese Grundannahme soll in einem den Szenarien vorangestellten Kapitel zur Standardisierung und ihrer Wirkung in Europa untersucht werden.

Wie beschrieben, besteht für die Dekarbonisierung des Güterschwerverkehrs bereits bis 2030 dringender Handlungsbedarf. Der Überblick zeigt, dass bis dahin voraussichtlich lediglich das Oberleitungssystem und (soweit die noch bestehenden technischen Hürden überwunden werden) maximal ein oder zwei Stromschienensysteme eine Technologie- und Marktreife erreichen werden, die einen operativen Aufbau und Betrieb in dem vorgegebenen knappen zeitlichen Rahmen erlauben. Im Folgenden wird dargestellt, dass die Standardisierung den Trend zu lediglich einer oder wenigen Technologievarianten verstärkt. Aufgrund der relativ niedrigen Komplexität der Technologien und der fortgeschrittenen Standardisierung sollte es dann vielen verschiedenen Unternehmen – insbesondere solchen mit Vorerfahrungen aus dem Eisenbahnbereich – möglich sein, diese ERS oder Teilsysteme derselben zur Verfügung zu stellen. So kann auch die Ausschreibung für den Aufbau und Betrieb der Systeme im Wettbewerb erfolgen. Somit stehen drei Szenarien für die Regulierung zur Verfügung:

- Szenario 1: Vorausgehen eines Mitgliedstaates mit einem System und Nachfolge weiterer Staaten aufgrund bilateraler Vereinbarungen
- Szenario 2: Ein europaweit interoperables ERS
- Szenario 3: Wenige kompatible ERS in Europa

Es soll gezeigt werden, dass Szenario 2 aus dem Blickwinkel des europäischen Binnenmarktes und der transeuropäischen Verkehrsnetze vorzugswürdig ist, jedoch auch in den Szenarien 1 und 3 ein Aufbau und Betrieb von ERS effizient möglich und mit den europäischen Zielen vereinbar ist.

3.1. Wirkung der Standardisierung

Instrumente wie technische Normen und Standardisierung sind wesentlich auf dem Weg zur Gewährleistung von Interoperabilität und Kompatibilität. Zwar sind Normen und Standards nicht unmittelbar rechtlich verpflichtend, jedoch beschreiben sie den „anerkannten Stand der Technik“ und stellen vielfach Sicherheitsstandards dar. Sie sind im Zulassungsprozess von Bedeutung und können der Konkretisierung von Rechtsvorschriften dienen. Zusätzlich dienen sie wettbewerblichen und industriepolitischen Zielen. In den hier beschriebenen Szenarien können Normen und Standards zur Gewährleistung von Interoperabilität und Kompatibilität beitragen und ermöglichen einen Technologietransfer und eine Öffnung von Märkten für ERS. In der Regel werden Standards dabei eigenverantwortlich durch wirtschaftliche und gesellschaftliche Akteure entwickelt, sind jedoch in den gesetzgeberischen Rahmen eingebettet, vgl. hierzu auch die Rolle des DIN, das in Deutschland auf vertraglicher Grundlage die zentrale Normungsorganisation auf nationaler Ebene darstellt.⁴⁵

44 Fähigkeit von verschiedenen Systemen oder Systembestandteilen zusammenzuarbeiten. Dies setzt gemeinsame Standards voraus. Sind die Systeme oder Bestandteile nahtlos vereinbar, nennt man sie interoperabel.

45 Bundesregierung (2009): Normungspolitisches Konzept der Bundesregierung, S. 2. Online unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/M-O/normungspolitisches-konzept-der-bundesregierung.pdf?__blob=publicationFile&v=3.

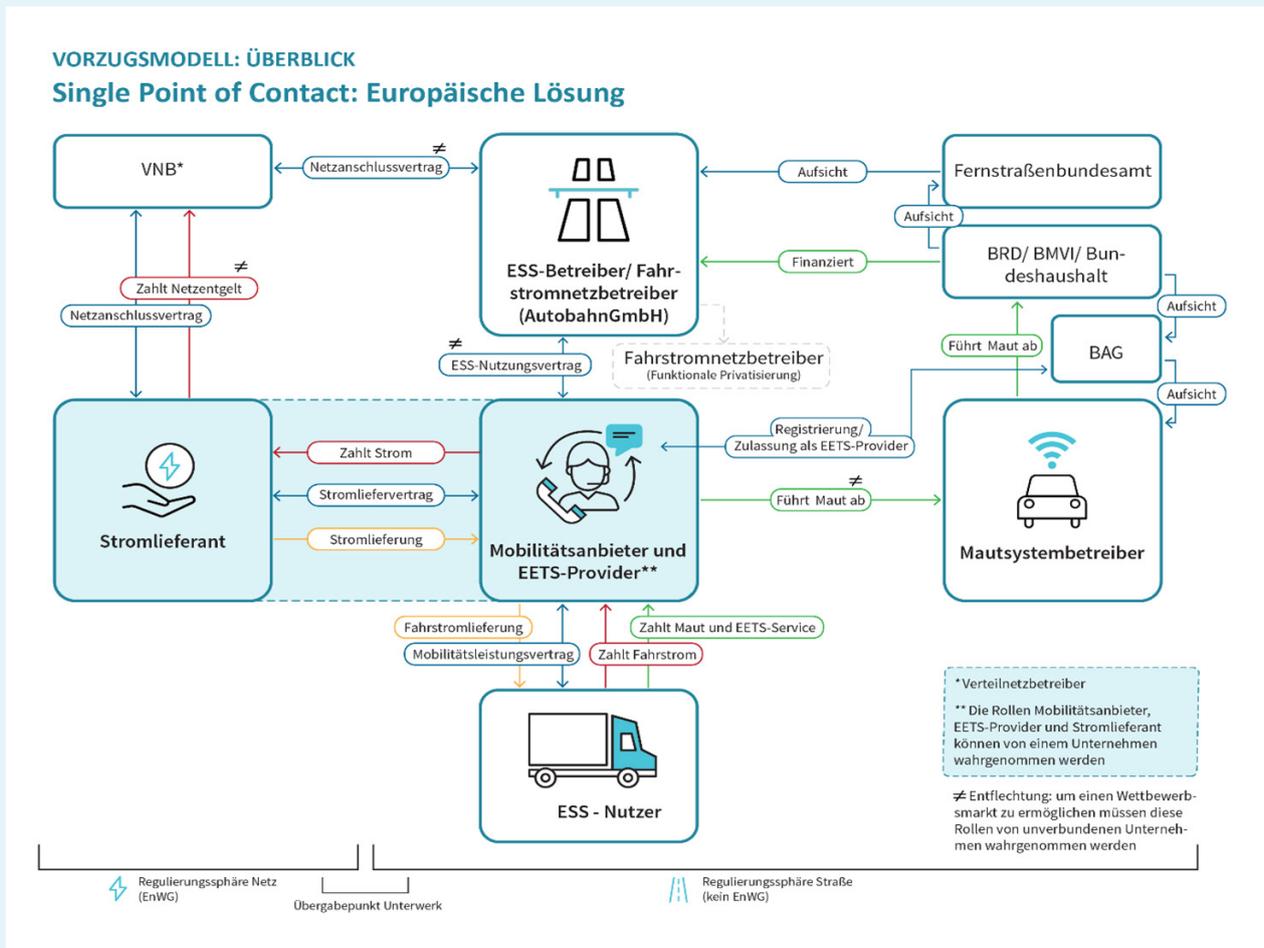


Abbildung 3: Single Point of Contact: Europäische Lösung (Quelle: Eigene Darstellung)

(Für die genannten Akteure nimmt die Grafik auf die Situation in Deutschland Bezug. Für die anderen Mitgliedstaaten ist sie auf die Situation im jeweiligen Land anzupassen)

Thesen:

- Derzeit ist ein Standardisierungsprozess für zwei ERS (Oberleitung und Stromschiene) eingeleitet. Ein Standardisierungsprozess wird auch zukünftig nur für eine geringe einstellige Zahl von Systemen eingeleitet werden.
- Falls sich ein EU-Staat für Errichtung und Betrieb eines ERS entscheidet, wird er sich mit hoher Wahrscheinlichkeit für ein System entscheiden, das Gegenstand eines Standardisierungsprozesses ist und sich aktiv mit verschiedenen Akteuren an dessen Standardisierung beteiligen.
- Entscheiden sich zwei EU-Staaten für die Errichtung und den Betrieb eines ERS nach demselben Standard (Szenario 1), sind diese Systeme technisch hinsichtlich der Stromübertragung von der Infrastruktur zum

Fahrzeug interoperabel nutzbar. Es wäre in diesem Fall nur die Interoperabilität eines Finanzierungs- und Abrechnungssystems rechtlich zu regeln.

- Das hätte zur Folge, dass in Europa maximal eine begrenzte Anzahl von ERS parallel entstehen kann und im schlechtesten Fall zunächst nur ein Staat oder mehrere nicht benachbarte Staaten ERS jeweils im Alleingang errichten und betreiben (Szenario 3) oder „Inseln“ von verschiedenen ERS entstehen, in denen sich eine Gruppe von Staaten für ein System und eine andere Gruppe von Staaten für ein anderes System entscheiden. Auf diesen Inseln wäre Interoperabilität gewährleistet, allerdings untereinander ggf. nicht (Szenario 1).
- Standardisierung sollte auch zu nicht uneingeschränkt interoperablen ERS erfolgen, um zumindest Kompatibilität zu gewährleisten (Szenario 3).

3.2. Szenario 1: Vorausgehen eines Mitgliedstaates

Ein denkbares Szenario stellt der Alleingang eines Mitgliedstaates dar, d.h. ein Land errichtet ein ERS, die Nachbarländer ziehen jedoch nicht mit. Darüber hinaus könnten sich zwei Mitgliedstaaten bilateral oder eine Gruppe von Mitgliedstaaten bilateral oder multilateral auf den Aufbau von ERS verständigen bzw. sich dem Mitgliedstaat anschließen, der allein vorangegangen ist.

Als Beispiel für den „Alleingang“ wird in diesem Szenario angenommen, dass in Deutschland eine Oberleitungsinfrastruktur für eLkw mit Pantographen aufgebaut wird. Eine Technologieentscheidung ist in Deutschland bisher nicht erfolgt. Das Beispiel gründet darauf, dass sowohl in konkreten Pilot- und Forschungsprojekten zum Thema ERS auf Autobahnen für den Güterschwerverkehr als auch in der politischen Diskussion Oberleitungen bisher als einzige Technologie eine Rolle gespielt haben, wohingegen andere Mitgliedstaaten wie Schweden einen breiteren Ansatz gewählt und den Versuch unternommen haben, möglichst vielen unterschiedlichen technologischen Ansätzen die Möglichkeit zu geben, in Demonstrationsprojekten getestet zu werden.

Die im Folgenden betrachteten Studien kommen zu dem Ergebnis, dass der Aufbau eines ERS (hier: Oberleitungssystem in Deutschland) hinsichtlich der Erreichung klimapolitischer Ziele und in ökonomischer Hinsicht auch bei einer rein nationalen Implementierung sinnvoll und rechtlich umsetzbar ist.

3.2.1. Ein nationales ERS stellt bereits eine sinnvolle Alternative zu den herkömmlichen Antriebsarten dar

Die Studie Roadmap OH-Lkw⁴⁶ und die SWOT-Analyse aus demselben Projekt⁴⁷ zeigen am Beispiel des Oberleitungssystems, dass zumindest in Deutschland ein rein national aufgebautes ERS bereits eine sinnvolle Alternative zu herkömmlichen Antriebsarten darstellt. Zu berücksichtigen ist, dass der Beitrag von ERS-Lkw zu den CO₂-Minderungen davon abhängt, in welchem Maße die Technologie am Markt angenommen und die Infrastruktur ausgebaut wird und welchen Anteil am Verkehr ERS-Lkw ausmachen.

In der Potentialanalyse des Ifeu wurde das CO₂-Minderungspotential auf einem voll ausgebauten und ausgelasteten Oberleitungsnetz auf etwa 10,5 Mt/Jahr im Jahr 2030 geschätzt.⁴⁸

Die Studie Roadmap OH-Lkw geht dabei von einem geeigneten Kernnetz aus, an welchem das Oberleitungssystem errichtet wird. Dadurch wird eine geschätzte Minderung von 9,2 Mt im Jahr 2030 erreicht, unter Berücksichtigung von ausschließlich für den Pendelverkehr (Elektrifizierung in beide Richtungen) geeigneten ERS-Lkw eine Minderung von 3,6 Mt im Jahr 2030.⁴⁹ Grenzüberschreitend fahrende ERS-Lkw könnten danach auch bei ausschließlichem Oberleitungsausbau in Deutschland einen elektrischen Fahranteil erreichen, der den Betrieb als ERS-Lkw wirtschaftlich machen könnte.⁵⁰ In der Studie wurde eine räumliche Beschränkung auf innerdeutsche Verkehre vorgenommen. Dies ist der Überlegung geschuldet, dass ein großer Anteil am Güterschwerverkehr in Deutschland auf den grenzüberschreitenden Verkehr entfällt, jedoch mit noch ungeklärten Fragen im Bereich von Standardisierung und Interoperabilität ebenso Hemmnisse für einen grenzüberschreitenden Ausbau bestehen. Infolgedessen legt die Studie ein innerdeutsches Basisnetz von rund 3.200 km zugrunde. Der Verkehr findet dabei auch außerhalb des Basisnetzes statt, in

46 Jöhrens et al. (2020).

47 Jöhrens et al. (2017): Roadmap OH-Lkw: SWOT-Analyse.

48 Jöhrens et al. (2018): Roadmap OH-Lkw: Potentialanalyse 2020–2030, S. 32.

49 Jöhrens et al. (2020): S. 13.

50 Ebd.: S. 14.

diesem Fall jedoch nicht oberleitungsgebunden.⁵¹ Dabei sind die Entwicklung des Strommixes in Deutschland und der Anteil von erneuerbaren Energien an diesem von entscheidender Bedeutung für die geschätzten CO₂-Emissionen. Das Fraunhofer ISI rechnet im Bereich der Energieerzeugung mit einem Rückgang der Treibhausgasemissionen um 45 % gegenüber dem Referenzjahr 1990.⁵² Dies wäre erforderlich, um die Ziele der EU-Richtlinie für erneuerbare Energien⁵³ und die EU-Energieeffizienzrichtlinie⁵⁴ umzusetzen.⁵⁵

Die Studie „StratON – Bewertung und Einführungsstrategien für oberleitungsgebundene schwere Nutzfahrzeuge“⁵⁶ kommt ebenfalls zu dem Ergebnis, dass selbst ein nur in Deutschland errichtetes ERS (hier: Oberleitungen) hohe Potentiale für die Minderung der Treibhausgasemissionen des Güterschwerverkehrs aufweist.⁵⁷ Dabei wird die Elektrifizierung eines Basisnetzes von 4.300 km zugrunde gelegt, welches bis zum Jahr 2030 je nach Szenario bereits eine Emissionsminderung von 3-6 Mt. oder 2-4 Mt. (inkl. dadurch geschätzter Mehremissionen im Stromsektor) ermöglicht. Damit kann ein signifikanter Klimavorteil gegenüber Diesel-Lkw erreicht werden, selbst wenn sich der deutsche Strommix noch nicht zu 100 % aus erneuerbaren Energien zusammensetzt.⁵⁸

3.2.2. Aufbau, Betrieb und Finanzierung der ERS-Infrastruktur und ein Abrechnungssystem können europarechtskonform ausgestaltet werden

Das Projekt AMELIE untersucht in seinem Abschlussgutachten⁵⁹ die rechtliche Umsetzbarkeit von Aufbau, Betrieb, Finanzierung und Abrechnung von ERS. Dabei wird unter anderem der Alleingang eines Mitgliedstaates am Beispiel des europäischen und deutschen Rechts untersucht:

- Finanzierung und Abrechnung der ERS-Infrastruktur können im Rahmen eines rein nationalen Aufbaus in einem Mitgliedstaat durch Einbeziehung in die Maut (in anderen Mitgliedstaaten ggf. anderen Arten der Straßenbenutzungsgebühr) europarechtlich zulässig ausgestaltet werden, wengleich ein Mindestmaß an europäischer Regulierung für eine spätere Anschlussfähigkeit anderer Mitgliedstaaten sinnvoll erscheint.
- Eine staatliche Finanzierung der ERS-Infrastruktur und die Förderungen der Lkw-Betreiber können in der Markthochlaufphase europarechtskonform ausgestaltet werden.
- Für den Verkauf des Stroms kann ein Wettbewerbsmarkt für Mobilitätsanbieter unter Nutzung der staatlichen ERS-Infrastruktur geschaffen werden. Der Strom wird also durch die Privatwirtschaft im Wettbewerb angeboten.
- Der nationale Alleingang kann bezüglich aller Aspekte von Aufbau und Betrieb so gestaltet werden, dass er gegen keine europäischen Regelungen verstößt. Voraussetzung dafür ist, dass Unternehmen das ERS unabhängig von ihrem Sitz oder Tätigkeitsschwerpunkt diskriminierungsfrei nutzen können. Auch der Zugang zur Nutzung der Straßen, die Teil der europäischen Verkehrsnetze sind, darf nicht mit zusätzlichen Hürden versehen werden, die für Inländer nicht bestehen.

Mauterhebung anteilig für ERS, die nicht alle Gebührenschuldner nutzen können:

Die ERS-Infrastruktur kann bereits unter dem geltenden Recht als Teil der Straße interpretiert werden. Das Europarecht spricht nicht gegen diese Einordnung: Art. 17 TEN-V-

51 Ebd.: S. 21f.

52 Fraunhofer ISI und Öko-Institut (2015): Klimaschutzszenario 2050. 2. Endbericht.

53 Europäisches Parlament und Rat (2009): Richtlinie 2009/28/EG. Online unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028>.

54 Europäisches Parlament und Rat (2018): Richtlinie (EU) 2018/2002. Online unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2002>.

55 Jöhrens et al. (2020): S. 27.

56 Hacker et al. (2020).

57 Ebd.: S. 19.

58 Ebd.: S. 16f.

59 Hartwig, Schneider und Bußmann-Welsch (im Erscheinen).

VO (1315/2013/EU) definiert ERS nicht ausdrücklich als Straßenverkehrsinfrastruktur im Rahmen der transeuropäischen Netze, schließt dies jedoch nicht aus. Behörden zur Genehmigung des Infrastrukturaufbaus in den drei Pilotprojekten in Deutschland ordneten die ERS-Infrastruktur daher als Teil der Straße ein. Für eine bessere Rechtssicherheit sollte dies durch den nationalen Gesetzgeber des jeweiligen Mitgliedstaats klargestellt werden und auch auf europäischer Ebene würde eine ausdrückliche Aufnahme in Art. 17 TEN-V-VO (1315/2013/EU) für Klarheit sorgen.

Ist die ERS-Infrastruktur ein Teil der Straße, so können ihre Kosten in die Wegekosten einbezogen werden und über die Maut (bzw. andere Straßengebühren in anderen Mitgliedstaaten) auf alle Nutzer der Fernstraßen nach dem Veranlasser- und Verursacherprinzip umgelegt werden. Nach dem nationalen Gebührenrecht ist es in Deutschland unproblematisch, wenn einige Nutzer über eine Gebühr für die Inanspruchnahme einer staatlichen Einrichtung (hier: Straßennutzung) herangezogen werden. Das gilt auch, wenn sie Teile der Einrichtung nicht nutzen können (hier: Lkw ohne Pantographen können das ERS als Teil der Straße nicht nutzen, jedoch den Rest der Straße). Für den vorliegenden Fall kann die Gebühr zusätzlich damit gerechtfertigt werden, dass sie einen Lenkungszweck verfolgt (hier: Emissionsminderung) und über die Gebühr zusätzliche externe Kosten angelastet werden (hier: ERS-Infrastruktur als Gegenmaßnahme für die Emissionen der Lkw und Auferlegung nach dem Verursacherprinzip). Zusätzlich kann jeder Nutzer sich durch entsprechende Investition, die Vorteile der Einrichtung erschließen (hier: jede Person kann sich einen ERS-Lkw anschaffen und das ERS nutzen). Die Auferlegung der Kosten entfaltet somit eine Lenkungswirkung, indem für jedes Transportunternehmen ein starker Anreiz entsteht, seine Flotte auf ERS-Lkw umzustellen und Nutzen aus dem ERS zu ziehen, die das Unternehmen über die Maut ohnehin mitfinanziert.

Überproportionale Betroffenheit von EU-Ausländern/Beihilferecht:

Ein besonderes Augenmerk eines Mitgliedstaates, der ein ERS im Alleingang einführen möchte, muss auf der Prüfung liegen, ob die überproportionale Betroffenheit von EU-Ausländern durch Heranziehung zur Finanzierung einer Infrastruktur, die sie teilweise nicht kosteneffizient nutzen können, europarechtlich zu rechtfertigen ist. Europarechtswidrig wäre es beispielsweise, wenn die Nutzer

von ERS-Lkw weitergehende Förderung durch Nachlässe auf die Kfz-Steuer (nur für die im Mitgliedstaat zugelassene Fahrzeuge) erhalten. Problematisch könnte auf dieser Grundlage (je nach Ausgestaltung) ein Umweltbonus für die Anschaffung von ERS-Lkw (nur für die im Mitgliedstaat zugelassene Fahrzeuge) oder Nachlässe auf die Energiekosten (Verschenken von Strom) sein. Solche Fördermaßnahmen wären (je nach Ausgestaltung) nur mit Europarecht vereinbar, wenn sie allen ERS-Nutzern unabhängig von ihrem Unternehmenssitz zugutekämen. Unabhängig davon könnte im Einzelfall auch eine erlaubte Beihilfe i.S.d. Art. 107 Abs. 2 oder 3 AEUV vorliegen (Umweltschutzbeihilfe). Dazu soll insbesondere ein Abgleich mit den Urteilen und der Diskussion um die Pkw-Maut in Deutschland erfolgen. Für die Finanzierung und den Betrieb des ERS sowie der Förderung der Nutzer muss somit in jeder Hinsicht darauf geachtet werden, dass diese diskriminierungsfrei ausgestaltet wird und unter keinen Umständen mit dem Unternehmenssitz des Transportunternehmens verknüpft wird. Alle Arten der Kostenbeteiligung oder Förderung können jedoch an das Maß der Nutzung des ERS (etwa nach Zeit, gefahrenen Kilometern oder genutztem Strom in kWh) anknüpfen, da diese unabhängig vom Unternehmenssitz ist. Das Unternehmen mit Sitz im Mitgliedstaat aufgrund ihres Tätigkeitsschwerpunkts im Inland häufig eine höhere Nutzung realisieren können, ist jedoch nicht als Diskriminierung zu beanstanden.

Transeuropäische Netze, europäischer Binnenmarkt und Grundfreiheiten:

Die EU soll einen Binnenmarkt verwirklichen, der einen Raum ohne Binnengrenzen umfasst und in dem der freie Verkehr von Waren, Personen, Dienstleistungen und Kapital gemäß den Bestimmungen der Verträge gewährleistet ist. Dazu möchte sie zum Auf- und Ausbau transeuropäischer Verkehrsinfrastruktur beitragen und zielt im Rahmen eines Systems offener und wettbewerbsorientierter Märkte auf die Förderung des Verbunds und der Interoperabilität der einzelstaatlichen Netze sowie des Zugangs zu diesen Netzen ab.

Die Einführung einer Nutzungsgebühr für ERS, die der Finanzierung derselben dient und die alle Lkw (auch Diesel) bei der Nutzung der Fernstraße entrichten müssen, verstößt nicht gegen die Diskriminierungsverbote der Art. 34 AEUV (Warenverkehrsfreiheit) und Art. 56 AEUV (Dienstleistungsfreiheit). Nach Art. 34 AEUV sind „mengenmäßige

Einfuhrbeschränkungen sowie alle Maßnahmen gleicher Wirkung zwischen den Mitgliedstaaten verboten“.

Eine Maßnahme gleicher Wirkung liegt im Falle der Erhebung einer Maut dann vor, wenn die Nutzungsgebühr geeignet ist, den Zugang von Erzeugnissen aus anderen Mitgliedstaaten zum deutschen Markt zu behindern.⁶⁰ Dies ist auch der Fall, da eine Maut potenziell und mittelbar die Handelsströme beeinträchtigen kann. Die Nutzungsgebühr zielt zwar nicht auf das Inverkehrbringen von Gütern an sich. Durch die Nutzungsgebühr steigen jedoch die Transportkosten im Güterverkehr an. Die Infrastrukturabgabe kann so die Wettbewerbsfähigkeit beeinflussen, da sich die steigenden Transportkosten auch auf die Preise der transportierten Güter auswirken. Durch die höheren Transportkosten kann außerdem die Ausübung der Dienstleistungsfreiheit weniger attraktiv werden.⁶¹

Allerdings sind vertriebsbezogene Regelungen, die bestimmte Verkaufsmodalitäten beschränken oder verbieten, nicht geeignet, den Handel zwischen den Mitgliedstaaten zu behindern und stellen damit keine „Maßnahme gleicher Wirkung“ dar, sofern sie keine Diskriminierung begründen (sog. „Keck-Formel“).⁶² Die Nutzungsgebühr ist als vertriebsbezogen einzuordnen, da der Transportweg, und nicht das Erzeugnis selbst, betroffen ist. Eine Nutzungsgebühr für Lkw müssten alle Lkw auf der Fernstraße im jeweiligen Mitgliedstaat entrichten, unabhängig von der Staatsangehörigkeit des Halters. Eine offene oder verdeckte Diskriminierung (Art. 36 S. 2 AEUV) liegt daher nicht vor. Eine steuerliche Erleichterung nur für die Halter des Mitgliedstaats, in welchem das ERS errichtet wird, darf damit aber nicht einhergehen. Dies würde dann eine verdeckte Diskriminierung darstellen.

Eine Insellösung infolge eines nationalen Alleingangs widerspricht jedoch dem Gedanken der transeuropäischen Verkehrsnetze nach Art. 170ff. AEUV und der TEN-V-VO (1315/2013/EU), da nicht nur Diskriminierung in der Nut-

zung nationaler Infrastrukturen vermieden, sondern aktiv zum Aufbau transeuropäischer, interoperabler Netze in den Bereichen der Verkehr und Energie beigetragen werden soll. Das ist nicht justiziabel, jedoch politisch relevant. Die Insellösung behindert nicht per se einen grenzüberschreitenden Verkehr und die rein nationale Implementierung, z.B. auf einem Kernnetz bringt zunächst nur einen Vorteil für den nationalen Verkehr. Zu prüfen bleibt jedoch, welche Maßnahmen die EU treffen kann, um den Aufbau interoperabler oder zumindest kompatibler Netze aktiv zu fördern und nicht lediglich nationale Lösungen zu ermöglichen (mehr dazu in den anderen beiden Szenarien).

3.2.3. Rechtlicher Anpassungsbedarf in Europa zur Ermöglichung nationaler Alleingänge

Eine Anpassung des Europarechts ist für die nationale Umsetzung nicht zwingend. Eine fehlende europarechtliche Flankierung wäre jedoch mit Rechtsunsicherheiten behaftet und würde die Anschlussfähigkeit für Mitgliedstaaten erschweren, die sich später für den Aufbau von ERS entscheiden. Insoweit soll auf die ausführlichen Regulierungsvorschläge in Szenario 2 verwiesen werden.

3.2.4. Bilateraler Ansatz

Denkbar ist, dass sich zwei Mitgliedstaaten bilateral oder eine Gruppe von Mitgliedstaaten bilateral oder multilateral auf den Aufbau von ERS verständigen. Das Szenario ist mit dem gerade beschriebenen Alleingang weitgehend vergleichbar, mit dem Vorteil, dass die „Insel“ für ein ERS größer wird und so die Effizienz- und Klimaschutzvorteile wachsen, da durch die längeren Strecken vermutlich mehr Lkw das ERS nutzen können. Die Länge hängt vorwiegend vom Engagement der Mitgliedstaaten ab, sodass das Inselsystem einer Gruppe von Mitgliedstaaten nicht zwingend größer sein muss als das Netz eines besonders ausbaufreudigen einzel-

60 Vgl. auch Becker (2012), in: Schwarze, Becker, Hatje und Schoo: EU-Kommentar, Art. 34 AEUV, Rn. 37ff. Zudem liegt eine Maßnahme gleicher Wirkung vor, wenn sie im Falle der Dienstleistungsfreiheit geeignet ist, den Zugang von Dienstleistungen von aus einem anderen Mitgliedstaat stammenden Dienstleistungserbringern (bzw. -empfängern) zu behindern: Müller-Graff (2018), in: Streinz: EUV/AEUV, Art. 56 AEU, Rn. 70ff.

61 EuGH (1995): Rechtssache C-55/94: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:61994CJ0055&from=DE>.

62 EuGH (1993): Verbundene Rechtssachen C-267/91 und 268/91: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:61991CJ0267&from=DE>.

nen Mitgliedstaats. Effizienz und Klimawirkung des Systems hängen sowohl national wie transeuropäisch eng mit der Länge des Kernnetzes zusammen, sodass insofern auf die für Deutschland in verschiedenen Studien vorgenommenen Berechnungen verwiesen werden kann.⁶³ Auch dieser Aufbau kann in Übereinstimmung mit dem Europarecht gestaltet werden und für den Anpassungsbedarf kann auf die Ausführungen zum Alleingang verwiesen werden. Es bleibt jedoch der Nachteil, dass der Ausbau nicht durch die EU koordiniert ist. Je größer diese „Insel“ wird, desto stärker werden hier bereits Fakten für eine spätere europäische Regelung oder Vereinheitlichung geschaffen. Dies muss nicht zwangsläufig nachteilig sein, solange die „Inseln“ technisch interoperabel oder kompatibel sind. Dem europarechtlichen Grundsatz der Subsidiarität kommt dieser Ansatz sogar entgegen. Die EU hat mit der AFI-RL 2014/94/EU beschlossen, die Infrastruktur für andere alternative Kraftstoffe auf dem Weg zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum (Erwägungsgrund 1) und zur Umsetzung ihrer Klimaschutzziele zu regulieren, um eine Fragmentierung des Binnenmarktes aufgrund einer unkoordinierten Markteinführung alternativer Kraftstoffe zu verhindern (Erwägungsgrund 10) und den langfristigen Energiebedarf aller Verkehrsträger mit alternativen Energien zu decken (Erwägungsgrund 11), mithin wäre es naheliegend, auf dieser Grundlage auch ERS europäisch aufzubauen und zu regulieren.

3.3. Szenario 2: Ein europaweit interoperables ERS (Vorzugsszenario)

3.3.1. Ein europäischer Ansatz ist effizienter und entspricht der Idee der transeuropäischen Verkehrsnetze

Studien zur europäischen Umsetzung von ERS gibt es nicht. Die Ergebnisse der auf Deutschland bezogenen Studien legen jedoch nahe, dass sowohl Kosteneffizienz als auch das

Potenzial für Klimaschutz, Reduktion von Luftschadstoffen und Lärmschutz mit einem transeuropäischen Aufbau des Systems deutlich ansteigen würden, da ein erheblicher Teil des Straßengüterfernverkehrs in Europa grenzüberschreitend stattfindet.⁶⁴ Angesichts des European Green Deal⁶⁵ wird der transeuropäische, interoperable Aufbau von ESS als Vorzugsszenario empfohlen. Alle ERS-Nutzer sollten von Lissabon bis Tallin oder von Rom bis Stockholm mit einem einheitlichen Abrechnungssystem und nur einem Vertrag mit einem Mobilitätsanbieter (Single Point of Contact) in allen Mitgliedstaaten elektrisch fahren können und ihre Stromversorgung während der Fahrt und ergänzend über Ladepunkte für eLkw sicherstellen können.

Elektrizität ist ein alternativer Kraftstoff nach Art. 2 Nr. 1. AFI-RL (2014/94/EU). Art. 1 RL 2014/94/EU formuliert den Anspruch einen gemeinsamen Rahmen „für Maßnahmen zum Aufbau einer Infrastruktur für alternative Kraftstoffe in der Union“ zu schaffen und „Mindestanforderungen für die Errichtung der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe“ festzulegen, „die von den Mitgliedstaaten durch ihre nationalen Strategierahmen umzusetzen sind, sowie gemeinsame technische Spezifikationen“ für die Infrastruktur „sowie Vorgaben für die Nutzerinformation“ im Geiste der transeuropäischen Verkehrsnetze vorzugeben. „Das transeuropäische Verkehrsnetz stärkt den sozialen, wirtschaftlichen und territorialen Zusammenhalt der Union und trägt zur Schaffung eines einheitlichen, europäischen Verkehrsraums bei, der effizient und nachhaltig ist, die Vorteile für die Nutzer erhöht und ein integratives Wachstum fördert.“ (Art. 4 TEN-V-VO). Dieser Idee würde es am meisten entsprechen, wenn in ganz Europa ein einheitliches interoperables ERS für den Güterschwerverkehr aufgebaut würde. Dieses sollte in Abstimmung mit den anderen Infrastrukturen für alternative Kraftstoffe entwickelt werden und zusätzlich mit dem Aufbau von Ladepunkten für den Güterschwerverkehr verbunden werden, um sicher zu stellen, dass die Systeme sich optimal ergänzen.

63 Jöhrens et al. (2020): S. 13.

64 Eurostat (2017): National and international road transport of goods, 2015. Online unter: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:National_and_international_road_transport_of_goods,_2015_\(%25_based_on_million_tkm_of_laden_transport\)_YB17-de.png&oldid=353218](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:National_and_international_road_transport_of_goods,_2015_(%25_based_on_million_tkm_of_laden_transport)_YB17-de.png&oldid=353218).

65 Europäische Kommission (o.A.): Ein europäischer Grüner Deal. Erster klimaneutraler Kontinent werden. Online unter: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de.

3.3.2. Rechtlicher Anpassungsbedarf in Europa

Aus Sicht der europäischen Regulierung ist die Umsetzung des Vorzugsszenarios mit nur wenigen Anpassungen bereits vorhandener Richtlinien und Verordnungen möglich. Im Zentrum steht die Anpassung der AFI-RL (2014/94/EU) über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe, die in Ihrem Anhang II technische Spezifikationen mit direktem Verweis auf ein konkretes ERS (Oberleitungssysteme, ein bestimmtes Stromschienen- oder Induktionssystem) und die dafür geltenden technischen Normen festlegen müssten. Jeder Mitgliedstaat würde verpflichtet, ERS in den nationalen Strategierahmen für die Marktentwicklung bei alternativen Kraftstoffen im Verkehrsbereich und für den Aufbau der entsprechenden Infrastrukturen nach Art. 3 RL 2014/94/EU aufzunehmen. Der Strategierahmen müsste danach auch nationale Einzel- und Gesamtziele für den Aufbau eines Kernnetzes und die Länge der elektrifizierten Autobahnkilometer, (ggf. alternativ) die installierte Leistung und andere Rahmenparameter enthalten und allen weiten Vorgaben des Art. 3 RL 2014/94/EU entsprechen, wobei die EU im dort skizzierten Maße unterstützt. Alternativ können die Maßnahmen auch lediglich als Empfehlung aufgenommen werden. Regulative Anleihen für den schweren Wirtschaftsverkehr können dabei zusätzlich aus dem Eisenbahngüterverkehr genommen werden, wo gemäß Verordnung (EU) Nr. 913/2010 „Vorschriften für die Einrichtung und Organisation grenzübergreifender Güterverkehrskorridore für einen wettbewerbsfähigen Schienengüterverkehr festgelegt [werden] mit dem Ziel, ein europäisches Schienennetz für einen wettbewerbsfähigen Güterverkehr zu schaffen“ (Art. 1 Abs. 1).

Die Festsetzung einer Technologie für Europa müsste als Teil des Richtlinienverfahrens als Technologieauswahl unter Beteiligung der Mitgliedstaaten erfolgen, angelehnt an die Technologieauswahl, die zu den Festsetzungen in Anhang II AFI-RL (2014/94/EU) geführt hat. Dabei müssen die Anforderungen an Technologieneutralität⁶⁶ mit den Erfordernissen der Interoperabilität der transeuropäischen Netze auf Basis einer energieeffizienten, kostengünstigen und wirtschaftlichen Lösung abgewogen werden. Stellt sich dabei lediglich eine Technologie als geeignet und hinrei-

chend marktreif heraus, wird diese europaweit festgesetzt. Die Festsetzung mehrerer Technologien ist jedoch nicht ausgeschlossen (Szenario 3), insbesondere wenn der Aufbau von ERS als Option und nicht als Pflicht reguliert werden sollte. Weitergehende Konkretisierung und die Einpassung in die nationalen Gegebenheiten insbesondere in Bezug auf die Einpassung in den Straßenraum kann die nationalen Strategierahmen und dem Planungsrecht der Mitgliedstaaten überlassen werden.

Alle Maßnahmen können auf die Rechtsgrundlagen gestellt werden, die bereits die AFI-RL und die im Folgenden genannten weiteren Rechtsakte tragen.

ERS sind eine eigenständige „Infrastruktur für alternative Kraftstoffe“ (RL 2014/94/EU):

Sie sind kein Ladepunkt und brauchen eine eigene Regelung in der AFI-RL (2014/94/EU) und der Elektrizitätsbinnenmarktrichtlinie (RL 2019/944). RL 2014/94/EU definiert Ladepunkte einheitlich für das gesamte Europarecht als „eine Schnittstelle, an der zur selben Zeit nur ein Elektrofahrzeug aufgeladen [...] werden kann.“ Ladepunkte werden dort als etwas zählbares, stationäres aufgefasst (vgl. Art. 4 RL 2014/94/EU) und in den „nationalen Strategierahmen für die Marktentwicklung bei alternativen Kraftstoffen im Verkehrsbereich“ (vgl. Art. 3 RL 2014/94/EU) kommen ERS folgerichtig nicht vor. Eine unmittelbare oder analoge Anwendung der Regelung über Ladepunkte auf ERS würde deren Besonderheiten nicht gerecht werden und war beim Erlass der Richtlinien nicht vorgesehen. Gleichwohl ist Elektrizität ein alternativer Kraftstoff im Sinne des Art. 2 Abs. 1 RL 2014/94/EU für den „ein gemeinsamer Rahmen für Maßnahmen zum Aufbau einer Infrastruktur für alternative Kraftstoffe in der Union“ mit „Mindestanforderungen für die Errichtung der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe“ (Art. 1 RL 2014/94/EU) geschaffen werden muss. Da es der Anspruch der AFI-Richtlinie ist (insoweit ergänzt durch die Elektrizitätsbinnenmarktrichtlinie), für derartige Infrastruktur einen gemeinsamen Rechtsrahmen für die Union bereitzustellen, besteht eine planwidrige Regelungslücke, die nicht durch die Rechtsanwendung ausgefüllt werden kann. Orientiert an der Regelung für Ladepunkte würden daher folgende Aufgaben zur Regulierung bei der EU liegen:

66 Erwägungsgründe 8, 22 und 64 RL 2014/94/EU.

- ERS sind als eigene Infrastrukturkategorie zu definieren (vgl. Art. 2 RL 2014/94/EU)
- Mengenvorgaben für die nationalen Strategierahmen zum Aufbau von ERS zur „Stromversorgung für den Verkehr“ in einem spezifischen Zeitrahmen sind zu erwägen, die den Bedürfnissen des Verkehrsträgers entsprechen, flankiert von entsprechenden Informations- und Berichtspflichten der Mitgliedstaaten. Davon sollen auch Maßnahmen erfasst sein, die erforderlich sind, um die Erreichung der im jeweiligen Strategierahmen aufgeführten Einzel- und Gesamtziele fristgerecht sicherzustellen (vgl. Art. 3 und 4 RL 2014/94/EU und Anhang I RL 2014/94/EU). Darüber hinaus könnten die Mitgliedstaaten konkreter verpflichtet werden, den Ausbau eines Kernnetzes vorzusehen. Für Deutschland⁶⁷ und das Vereinigte Königreich⁶⁸ liegen bereits Studien vor, die ein Kernnetz für den Ausbau eines konkreten ERS (nämlich ein Oberleitungssystem) bezogen auf konkrete Autobahnabschnitte empfehlen. Diese stimmen in erheblichen Teilen mit den in Anhang I TEN-V-VO (1315/2013/EU) definierten Kernnetzen Straße der transeuropäischen Verkehrsnetze überein, sodass sich hier ein Abgleich anbieten würde.
- Wie für Ladepunkte sind technische Spezifikationen für ERS festzulegen (vgl. Anhang II RL 2014/94/EU), die an bestehende Standards für ERS anknüpfen, diese aber nicht festschreiben müssen. Die Festsetzung eines einzelnen Systems (wie bereits in Anhang II RL 2014/94/EU) bietet sich nur dann an, wenn sich im Anschluss an die oben angeregte Technologieauswahl nur ein System als so energieeffizient, kostengünstig und wirtschaftlich erweist, dass seine europaweite Einführung alternativlos erscheint. Auch dann wäre eine Öffnungsklausel zur Berücksichtigung zukünftiger technischer Entwicklungen denkbar.
- In die Erwägungen zu Mengenvorgaben und technischen Spezifikationen ist einzubeziehen, dass ERS und stationäre Ladepunkte sich für den Straßengüterfernverkehr als Infrastruktur für alternative Kraftstoffe zur Versorgung des Güterschwerverkehrs mit Elektrizität ergänzen. Die technischen Spezifikationen müssen die Kompatibilität der Infrastruktursysteme für stationäres und dynamisches Laden von eLkw gewährleisten. Darüber hinaus können die Mengenvorgaben aufeinander abgestimmt sein. Im Bereich eines ERS-Kernnetzes sind voraussichtlich weniger stationäre Ladepunkte erforderlich, die gleichzeitig an den Orten konzentriert sein sollten, an denen Lkw-Fahrer bereits aufgrund ihrer derzeitigen Routenplanung längere Zwischenhalte vorsehen (Logistikzentren, Autohöfe mit Übernachtungsmöglichkeit etc.). In der Peripherie des Kernnetzes sollten dagegen mehr stationäre Ladepunkte zur Verfügung stehen, um die Reichweite der Fahrzeuge zu verlängern.
- Schon auf europäischer Ebene wäre dafür zu sorgen, dass in ERS ein Wettbewerbsmarkt für Strom entstehen kann und sich deren Nutzer keinem jeweils nationalen Monopolbetreiber der ERS-Infrastruktur als Stromlieferant gegenübersehen. Hier wäre eine deutlich abweichende Regelung von denen für Ladepunkte erforderlich, da die ERS-Nutzer nicht zwischen unterschiedlichen Infrastrukturen auswählen können. Die Entflechtung von Verteilnetz, ERS und Stromlieferung und weitere erforderlichen Regelung zu Errichtung eines Wettbewerbsmarkts für Mobilitätsanbieter innerhalb der ERS-Infrastruktur sollte in Art. 33 RL 2019/944 und Art. 4 RL 2014/94/EU geregelt werden.
- Zusätzlich bietet es sich an, die kWh einheitlich als Abrechnungseinheit für den Strom in Art. 4 RL 2014/94/EU festzulegen und einheitliche Vorgaben für die Energiemessung und Energiedatenerfassungssysteme auf den Fahrzeugen in Anlage II RL 2014/94/EU festzulegen, um europäische Interoperabilität zu gewährleisten (vergleichbar der Regelung für den Eisenbahnbereich unter Anlehnung an Durchführungsverordnung 2018/868/EU vom 13. Juni 2018 zur Änderung der Verordnung 1301/2014/EU und der Verordnung 1302/2014/EU)

67 Hacker et al. (2020): S. 112ff.

68 Ainalis, Thorne und Cebon (2020): S. 12f.

ERS sind nicht Teil des Verteilnetzes und sollten wie Ladepunkte getrennt von diesen betrieben werden:

Art. 33 RL 2019/944 regelt europaweit für Ladepunkte, dass diese nicht Teil des Verteilnetzes sein dürfen, sondern für sie ein erleichterter Anschluss an diese gewährleistet werden soll (Art. 1). Verteilnetze und Ladepunkte sollen zwei getrennte Infrastrukturen sein, die nicht gemeinsam betrieben werden können (Art. 2). Eine vergleichbare Trennung muss auch für ERS gelten, jedoch mit einer eigenen Regelung, die den systemischen Eigenschaften von ERS entspricht. In der Fachöffentlichkeit herrscht die Auffassung vor, dass ERS eine Regelung brauchen, die sie (wie Ladepunkte, vgl. § 3 Nr. 25 EnWG) weitgehend von der Netzregulierung der RL 2019/944 ausschließen und dabei ihre Eigenheiten hinreichend berücksichtigt. Da es sich jedoch bei ERS um eine Monopolinfrastruktur zur Lieferung von Elektrizität vergleichbar einem Verteilnetz handelt, muss eine Regelung sich auch hier am Ziel „wettbewerbsgeprägter, verbraucherorientierter, fairer und transparenter Elektrizitätsmärkte in der Union“ orientieren, die dazu „dient [...] unter Nutzung der Vorteile eines integrierten Marktes für die Verbraucher erschwingliche und transparente Energiepreise und -kosten, ein hohes Maß an Versorgungssicherheit und einen reibungslosen Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem mit geringen CO₂-Emissionen sicherzustellen“ (vgl. Art. 1 RL 2019/944). „Den Versorgern [sollte es auch für Strom freistehen ...], den Preis, zu dem sie ihre Kunden mit Elektrizität beliefern, zu bestimmen. Die Mitgliedstaaten [sollten auch hier ...] geeignete Maßnahmen [ergreifen müssen], um für wirksamen Wettbewerb zwischen den Versorgern zu sorgen.“ (vgl. Art. 5 RL 2019/944). Dafür bedarf es einer eigenen Marktordnung, die sich an den Regelungen für Verteilnetze orientiert, diese jedoch so vereinfacht, dass ein reibungsloses Funktionieren der ERS ermöglicht wird.

ERS sind Teil der Straße:

In der Fachöffentlichkeit und fachbehördlichen Praxis herrscht die Auffassung vor, dass zumindest der physische Teil eines ERS (in Abgrenzung vom Stromnetz⁶⁹) Teil der Straße ist, an dem es errichtet wird. Das gewährleistet in Planung und Betrieb ihre sichere Integration in den Straßenraum. Gleichzeitig werden sie so in die Straßenfinanzierung

einbezogen, die durch die Richtlinie 1999/62/EG (Wegekostenrichtlinie) schon einer europäischen Regelung zugeführt wurde. Die Einbeziehung der ERS in die Wegekostenrichtlinie hätte den Vorteil, dass hier bereits ein europarechtlicher Rahmen vorhanden ist, in den sich die unterschiedlichen Straßenfinanzierungssysteme der Mitgliedstaaten einpassen, ohne dass zwischenstaatliche Barrieren im Widerspruch zur Idee der transeuropäischen Verkehrsnetze entstehen. Gleichzeitig werden die Wegekosten auf alle Straßennutzer in Güterschwerverkehr gleichermaßen umgelegt, so dass die Verursacher der schädlichen Treibhausgasemissionen die Infrastruktur zu ihrer Reduktion ohne weiteres mitfinanzieren würden (Verursacherprinzip).

- Ausdrückliche Einbeziehung in die TEN-V-VO (1315/2013/EU) als Teil der Straßeninfrastruktur (insbesondere Art. 17) und Berücksichtigung in den gesetzten Zielen.
- Abgleich der wissenschaftlichen Vorschläge für ein Kernnetz für eine ERS-Infrastruktur⁷⁰ mit dem TEN-V-Kernnetz nach Anhang I VO 1315/2013/EU, da am TEN-V-Kernnetz die „Verfügbarkeit von alternativen umweltfreundlichen Kraftstoffen“ nach Art. 39 Abs. 2 lit. c VO 1315/2013/EU vorgeschrieben ist (hier besteht bereits große Übereinstimmung)
- Ergänzung von Art. 39 Abs. 2 lit. c VO 1315/2013/EU um die Verfügbarkeit von ERS
- Ausdrückliche Aufnahme von ERS in Anlage III Nr. 2 Wegekostenrichtlinie (1999/62/EG) (Infrastrukturkosten) und Einordnung einzelner Kostenpositionen als Baukosten, Kosten für Betrieb, Instandhaltung und Ausbau des betreffenden Verkehrswegenetzes, damit insbesondere für den Straßenbau und -betrieb ungewöhnliche Kosten eindeutig abgedeckt sind und in allen Mitgliedstaaten gleich eingeordnet werden (Beispiel: Verluststrom als Teil der Wegekosten). Damit erfolgt auch die Klarstellung, dass es sich nicht um eine weitere Anlastung externer Kosten handelt, sondern um Infrastrukturkosten.

69 Eine Oberleitungsinfrastruktur besteht aus Übergabepunkt zum Netz, Zuleitung, Unterwerk, Oberleitungsmasten, Fahrdraht und verschiedenen baulichen Anlagen. Vermittels dieser Oberleitungsinfrastruktur wird ein Fahrstromnetz als elektrische Anlage betrieben.

70 Hacker et al. (2020): S. 112ff. und Ainalis, Thorne und Cebon (2020): S. 12f.

3.4. Szenario 3: Wenige kompatible ERS

Im dritten Szenario entscheiden sich einige Nachbarländer ebenfalls für den Aufbau von ERS. Jedoch sind die Systeme nicht interoperabel, sondern als kompatibel einzustufen. In einer Variante des Szenarios 2 wäre es denkbar, dass die EU sich entscheidet, in Anhang II AFI-RL (2014/94/EU) nicht eine einzelne Technologie festzulegen, sondern entweder zwei bis drei geeignete marktreife Technologien auswählt oder die Auswahl ganz den Mitgliedstaaten überlässt. Auch hier kann es dazu kommen, dass verschiedene ERS aufgebaut werden. Im ersten Fall müssten die Mitgliedstaaten, im zweiten Fall die EU dafür sorgen, dass die Systeme zumindest kompatibel sind.

In diesem Szenario sollen Ansätze dargestellt werden, um einen grenzüberschreitenden Verkehr mit Einschränkungen gegenüber Szenario 2 gleichwohl zu ermöglichen.

1. These:

Kompatibilität kann auch durch Teilstandardisierung bestimmter Parameter hergestellt werden, sodass ein Lkw, der (je nach Erfordernis) mit einer Kombination aus Pantographen, Bodenstromabnehmer oder Sekundärspule ausgestattet ist, und so verschiedene ERS nutzen kann. Da alle zum dynamischen Laden fähigen Lkw auch zum stationären Laden in der Lage sein sollen und in Massenfertigung jedoch unter Anpassung an verschiedene Stromversorgungssysteme hergestellt werden, kann das Fahrzeug hier der Treiber für Kompatibilität sein. Das elektrische Fahrzeugsystem ist einheitlichen Standards unterworfen z. B. hinsichtlich der Leitungstechnik oder der unterstützten Spannungsebenen,

die bereits etabliert oder in Entwicklung sind. Fraglos wäre die Ausstattung eines Lkw mit mehreren Stromabnahmesystemen mit erheblichen Mehrkosten verbunden, wodurch Anwendungsfälle, die einen wirtschaftlichen grenzüberschreitenden Betrieb erlauben, reduziert würden, oder sogar ausgeschlossen sein könnten. Für welche Anwendungsfälle die Wirtschaftlichkeitsschwelle überschritten bleibt, kann letztlich dem Markt überlassen werden, wenn feststeht, dass sich der Infrastrukturaufbau bereits in Szenario 1 wirtschaftlich darstellen lässt und jeder Mehrverkehr über eine Kompatibilitätslösung die Wirtschaftlichkeit durch höhere Nutzerzahlen lediglich erhöhen und den THG-Ausstoß weiter senken würde.⁷¹

2. These:

Falls Szenario 1 sich bereits wirtschaftlich darstellen lässt, erhöht jeder Mehrverkehr die Wirtschaftlichkeit durch höhere Nutzerzahlen und senkt gleichzeitig den CO₂-Ausstoß weiter. Vor diesem Hintergrund wären auch Wechselsysteme, Randverkehre mit größerer Fahrzeugbatterie, die Verlängerung der grenzüberschreitenden Reichweite durch stationäre Ladesysteme oder durch den Hybridantrieb förderlich für das Gesamtsystem.

3. These:

Falls es wirtschaftliche Anwendungsfälle für kompatible Fahrzeuge oder Wechselsysteme gibt, würde eine grenzüberschreitende Harmonisierung der Abrechnungssysteme gleichermaßen Vorteile mit sich bringen.

71 Ein anderer Treiber oder Akteur für Kompatibilität könnten auch die Lieferanten der Unterwerke sein, da für unterschiedliche ESS-Technologien teilweise gleiche Unterwerkskomponenten eingesetzt werden können.

4. Ausblick

Es konnte dargestellt werden, dass mit wenig Regulierungsaufwand, ausschließlich mit der Anpassung bereits vorhandener Richtlinien und Verordnungen und gestützt auf dafür bereits genutzte europäische Kompetenzen, ein europäisches interoperables ERS umsetzbar ist. Wenn die erforderliche Regulierung auf europäischer und nationaler Ebene und die anschließende Planung und Errichtung zügig umgesetzt werden, kann der Güterschwerverkehr bis 2030 sehr weitreichend dekarbonisiert werden, ohne zusätzliche Belastung der Transportunternehmen und bei überschaubaren Investitionen für die staatlichen Betreiberunternehmen. Wird die ERS-Infrastruktur durch einen straßennahen Monopolbetreiber errichtet, sollte diese als Basis für einen Wettbewerbsmarkt für Mobilitätsanbieter dienen, damit diese den ERS-Nutzern die für sie günstigsten Preise, besten Services und besten Tarifmodelle anbieten. Für die Regulierung bestehen verschiedene Optionen, so dass die EU entscheiden kann, ob sie im Wege der Subsidiarität den Mitgliedstaaten letztlich nur die Basis für einen nationalen

Aufbau von ERS schafft, oder (wie für stationäre Ladeinfrastruktur) mit klaren System und Mengenvorgaben für bessere Interoperabilität der transeuropäischen Verkehrsnetze sorgt. Für die in diesem IKEM Working Paper offen gebliebenen Fragen kann auf das Abschlussgutachten aus dem Projekt AMELIE⁷² verwiesen werden, das Anfang 2021 veröffentlicht werden soll. Die Forschung zur besten rechtlichen Ausgestaltung des ERS-Aufbaus, des Marktmodells für Infrastrukturaufbau und Strombetrieb und der Finanzierung und Abrechnung des Systems soll im Forschungsprojekt AMELIE 2 fortgesetzt werden. In diesem Rahmen ist unter anderem eine Fortsetzung des Austauschformats „European Networking Group on Electric Road Systems (ERS)“ geplant die zukünftig in zwei Untergruppen weitergeführt werden soll: „Sub Group: Financing and Billing for ERS“ und „Sub Group Road Standards and Planning for ERS“. Dort werden die in diesem IKEM Working Paper aufgeworfenen Fragen weiter mit europäische Forschungspartnern diskutiert.

72 Hartwig, Schneider und Bußmann-Welsch (im Erscheinen).

Aktuelle IKEM Working Paper



Beckers, Thorsten; Gizzi, Florian; Jöhrens, Julius; Liedtke, Gernot:
Zentrale Ausgestaltungsfragen hinsichtlich eines Förderregimes für Oberleitungs-Hybrid- LKW (OH-Lkw) – Eine (institutionen-) ökonomische Analyse.
IKEM Working Paper Nr. 3, 2019.



Beckers, Thorsten; Gizzi, Florian:
Die Bereitstellung von (Basis-)Ladeinfrastruktur für die Elektromobilität im öffentlichen Straßenraum – Eine ökonomische Analyse.
IKEM Working Paper Nr. 2, 2019.



Beckers, Thorsten; Gizzi, Florian; Hermes, Georg; Weiß, Holger:
Die Bereitstellung der Schnellladeinfrastruktur für die Elektromobilität in Deutschland – Eine ökonomisch-juristische Analyse zentraler Fragestellungen und alternativer Organisationsmodelle.
IKEM Working Paper Nr. 1., 2019.

Weiterführende Informationen

Informationen zu weiteren Projekten und Veröffentlichungen des IKEM sind auf der Homepage des Instituts abrufbar.

www.ikem.de