

# VERRINGERUNG DER ENERGIEVERLUSTE IN STROM- UND STADTBAHNNETZEN

DEZEMBER | 2022

## EINLEITUNG

Die europäischen Strom- und Stadtbahnnetze sehen sich mit den gleichen Problemen konfrontiert: Beide wurden als unabhängige Netze entwickelt und sind auf die Widerstandsfähigkeit und Robustheit der bestehenden Stromversorgung angewiesen. Die fortschreitende Integration erneuerbarer Energiequellen führt jedoch zu einer zunehmenden Ungewissheit hinsichtlich der zukünftigen Beschaffenheit der Stromflüsse.

Die UITP beteiligte sich an dem von der EU finanzierten und von RINA koordinierten Forschungsprojekt „E-LOBSTER“ (Electric LOsses Balancing through integrated STorage and power Electronics towards increased synergy between Railways and electricity distribution networks). Ziel dieses Projekts war die Entwicklung eines innovativen Railway-to-Grid (R+G)-Managementsystems, das in Kombination mit fortschrittlicher Leistungselektronik die Stromverluste sowohl im Stromnetz als auch im Stadtbahnnetz reduzieren kann.

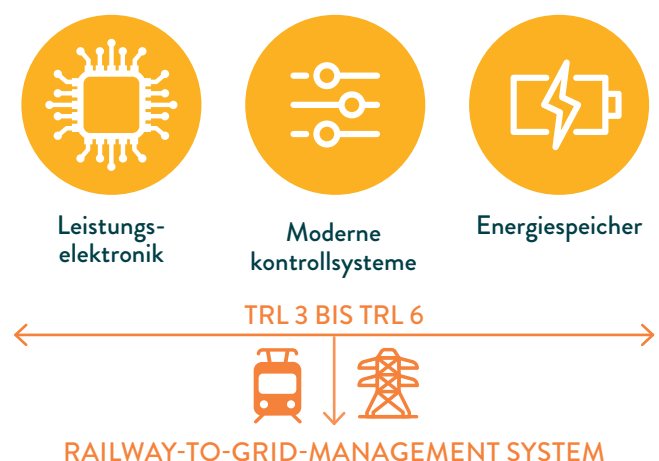
Dieser Bericht stellt die wichtigsten Ergebnisse und innovativen Lösungen vor, die im Rahmen des Projekts entwickelt wurden. Darüber hinaus gibt er einen Überblick über die Methodik, die Ergebnisse und die wichtigsten Erkenntnisse aus dem E-LOBSTER-Projekt.

## PROJEKTZIELE

Mit E-LOBSTER wurden die folgenden Ziele verfolgt:

- Entwicklung und Validierung eines neuen, in Echtzeit optimierten Railway-to-Grid/Grid-to-Railway (R+G)-Energiemanagements, um die Interaktion zwischen elektrifizierten Schienen- und Stromnetzen zu verbessern
- Entwicklung von Speichersystemen und fortschrittlicher Leistungselektronik, die von elektrifizierten Schienen- und Verteilungsnetzen gemeinsam genutzt werden können und ein einheitliches Energiemanagement zwischen beiden Netzen ermöglichen
- Demonstration der innovativen Lösungen und Technologien von E-LOBSTER unter realen Bedingungen in der Madrider Metro auf Technologiereifegrad (TRL) 6 mit anschließender Validierung im Smart Grid Laboratory der Universität Newcastle

Abbildung 1: Das E-LOBSTER-Konzept



Zur Erreichung dieser Ziele wurde ein Konsortium aus neun Partnern gebildet. Dazu gehörten öffentliche Verkehrsbetriebe, Erstausrüster (OEMs), Technologielieferanten und Dienstleistungsanbieter sowie Forschungs- und Hochschulinstitute. Die vollständige Liste der Projektpartner ist auf der E-LOBSTER-Website verfügbar: <https://www.e-lobster.eu/>.

## INNOVATIVE TECHNISCHE LÖSUNGEN VON E-LOBSTER

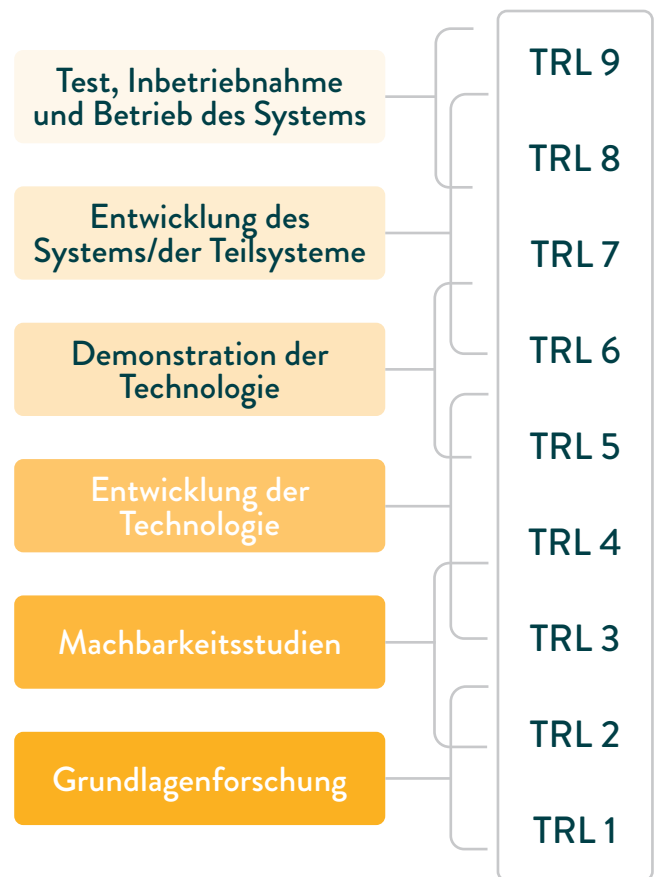
Weltweit besteht die Notwendigkeit, die Verbreitung kohlenstoffarmer Technologien (Low Carbon Technologies, LCTs) zu erhöhen. Gleichzeitig wächst der Bedarf, nachhaltige Verkehrsmittel wie Elektrofahrzeuge und elektrische Züge bereitzustellen, insbesondere in Ballungsräumen.

E-LOBSTER schlägt erstmals eine umfassende Integration von erneuerbaren Energien und elektrifiziertem Straßen- und Schienenverkehr mit fortschrittlichen Technologien aus der Leistungselektronik und der Energiespeicherung vor. Dies wird durch ein einheitliches Kontroll- und Managementsystem (das R+G-Managementsystem) gesteuert, das den gegenseitigen Nutzen für die Verkehrs- und Verteilnetze optimiert, indem es die Übertragungsverluste reduziert und die Rückgewinnung von Bremsenergie aus Zügen ermöglicht.

Das übergreifende Ziel des E-LOBSTER-Projekts bestand darin, **Synergien zwischen den verschiedenen Akteuren des Energiesektors zu schaffen**. Konkret wurde im Rahmen des Projekts ein innovatives, wirtschaftlich tragfähiges und leicht reproduzierbares elektrisches Schienen- und Stromnetzverbundsystem entwickelt und bis auf TRL 6 in einer relevanten Umgebung (einer Madrider U-Bahnlinie, die an das lokale Stromnetz angeschlossen ist) demonstriert. Bei ordnungsgemäßem Einsatz ergaben sich Synergien zwischen dem Stromnetz, den elektrifizierten städtischen Schienennetzen (wie U-Bahnen, Straßenbahnen und S-Bahnen) und Ladestationen für Elektrofahrzeuge.

**“Das übergreifende Ziel des E-LOBSTER-Projekts bestand darin, Synergien zwischen den verschiedenen Akteuren des Energiesektors zu schaffen”**

Abbildung 2: Technologiereifegrad (Technology Readiness Level, TRL)



Im Rahmen des Projekts wurden innovative Lösungen und Technologien entwickelt und unter realen Bedingungen für folgende Bereiche validiert und demonstriert:

- Bewertung der Verlustquellen
- Minimierung von Übertragungsverlusten
- Minimierung von Übertragungsverlusten  
Optimierung des Verbrauchs von erneuerbaren Energien durch elektrische Energiespeicherung
- Bremsenergieerückgewinnung

E-LOBSTER basiert auf den folgenden innovativen technischen Lösungen:

- Smart Soft Open Point (sSOP)<sup>1</sup>
- Batterie-Energiespeichersystem (BESS)
- Railway-to-Grid/Grid-to-Railway (R+G)-Energiemanagement

<sup>1</sup> Bei Soft Open Points (SOPs) handelt es sich um Geräte der Leistungselektronik, die an offenen Punkten in Stromnetzen platziert werden, um deren Leistung flexibel steuern zu können.

## INNOVATIVE TECHNISCHE LÖSUNGEN

### Smart Soft Open Point

Im Rahmen des Projekts wurde auf der Grundlage von Gleichstromkurzkupplungen ein Smart Soft Open Point (sSOP) entwickelt und validiert. Als Schnittstelle zum Stromnetz und zum Bahnstromsystem wurde ein neuer dreifacher sSOP entwickelt (ein zweistufiger Stromrichter mit einer zwischengeschalteten und regulierbaren Gleichstromverbindung). Dies ermöglichte eine einheitliche Steuerung des Energieflusses zwischen dem Unterwerk der U-Bahn und dem Verteilungsnetz.

### Batterie-Energiespeichersystem

Die zweite Innovation des Projekts bestand in der Entwicklung und Validierung geeigneter Speichertechnologien zur Schaffung von Synergien zwischen elektrifizierten Schienennetzen und Stromnetzen durch eine stärkere Integration erneuerbarer Energiequellen. Zusammen mit dem sSOP stellen sie die vom Stromnetz und dem Verkehrsnetz gemeinsam genutzten Anlagen dar.

### Das R+G-Managementsystem von E-LOBSTER

E-LOBSTER hat ein neues und innovatives R+G-Managementsystem zur Optimierung der Wechselwirkungen zwischen den beiden Netzen in Echtzeit entwickelt und validiert. Das E-LOBSTER-Managementsystem bietet eine einzigartige Plattform für die Steuerung der Energieflüsse zwischen U-Bahn, Netz und Energiespeichersystem in Echtzeit.

Das System bezieht auch E-Straßenfahrzeuge mit ein und soll so die Verknüpfung zwischen den drei Energienetzen optimieren. Das System erhöht den Verbrauch der lokal an das Verteilungsnetz angeschlossenen erneuerbaren Energiequellen sowie den Verbrauch der Bremsenergie der Fahrzeuge. So kann das System die optimale Ladestrategie für Elektrofahrzeuge ermitteln und die verfügbare Energie der beiden Netze auf ideale Weise nutzen.

Im Endeffekt war das R+G-Managementsystem in der Lage, die verfügbare Energie beider Netze optimal zu nutzen. Dieses einzigartige, innovative Tool zur Bewertung der Verluste und des Energieverbrauchs von Strom- und Bahnstromnetzen wurde anhand von realen Daten validiert.

Abbildung 3: Das E-LOBSTER-Konzept



Neben den oben erwähnten technischen Anforderungen umfasste das E-LOBSTER-Projekt auch die folgenden Schritte:

- Entwurf einer Skalierung des E-LOBSTER-Konzepts (Machbarkeitsstudien) und Festlegung eines Plans für die Marktfähigkeit und Verwertung der E-LOBSTER-Ergebnisse durch geeignete Geschäftsmodelle.
- Analyse der aktuellen Rechtsvorschriften, Standards und politischen Rahmenbedingungen, um Maßnahmen für eine Replikation zu identifizieren.
- Erstellung eines „Best Practice“-Handbuchs, um das für den Datenschutz erforderliche Maß an Cybersicherheit zu gewährleisten.
- Aufbau eines einheitlichen Netzwerks von Interessengruppen und Projektunterstützern, um die Marktfähigkeit von E-LOBSTER-Lösungen zu fördern.

## WICHTIGSTE ERKENNTNISSE UND ERGEBNISSE

Auf TRL7-Niveau wurde im Rahmen des Projekts ein **Smart Soft Open Point (sSOP)** entwickelt und validiert. Das System besteht hauptsächlich aus den folgenden Komponenten:

- Ein DC/DC-Wandler mit 200 kW Nennleistung für Bahnstrom
- Ein DC/DC-Wandler mit 200 kW Nennleistung für das Energiespeichersystem (ESS)
- Ein Niederspannungs-Wechselrichter mit 80 kVA Nennleistung
- Niederspannungs-Trenntransformator (AC-AC) mit 80 kVA Nennleistung

Als zweites Hardware-Element wurde ein **Batterie-Energiespeichersystem (BESS)** mit einer maximalen Gesamtleistung von 200 kW entwickelt. Das System weist die folgenden Spezifikationen auf:

- Technologie: Lithium-Ionen-NMC-Akku
- Anzahl der Baugruppenträger: drei
- Maximale Gesamtleistung: 200 kW
- Theoretische Maximalenergie: 237 kWh

XOLTA (die Abteilung für Batteriesysteme von Lithium Balance) hat ein einzigartiges, kosten- und energieeffizientes Batteriespeichersystem entwickelt, das uneingeschränkt für den Außeneinsatz geeignet ist, ohne dass dafür sperrige, klimatisierte und teure Container aufgestellt werden müssen.

Das System wurde speziell für extreme Umgebungsbedingungen (hohe bzw. niedrige Temperaturen) entwickelt. Das Batteriesystem wurde in den sSOP integriert und wird durch das R+G-Managementsystem gesteuert.

Darüber hinaus hat XOLTA eine intelligente Methode für das Energiemanagement der Batterien entwickelt, die nicht nur die Anforderungen des E-LOBSTER-Projekts erfüllt, sondern auch die Lebensdauer des Batteriesystems verlängert.

Das **R+G-Managementsystem** besteht aus einer Hardware-Komponente auf Basis eines Industrie-PCs sowie einer Software-Komponente für die Steuerung des E-LOBSTER-Systems und die Überwachung der Parameter über eine spezielle grafische Benutzeroberfläche.

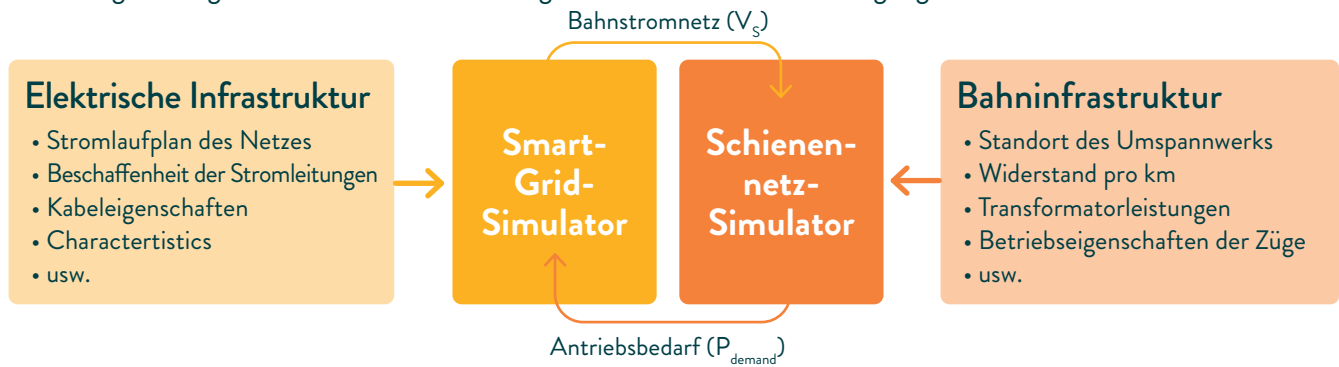
Außerdem wurde ein **innovatives Tool** zur Bewertung der Verluste und des Energieverbrauchs in Strom- und Bahnstromnetzen entwickelt. Das Tool wurde mittels Realdaten der Madrider Metro validiert.

Anhand der von den Nutzern bereitgestellten Daten, die in der Leitung installierten Geräte bzw. Elektronik und anderer Merkmale kann das **Tool** die größte Verlustquelle im Netz identifizieren. Ziel ist es, überschüssige regenerative Energie aus dem Schienenverkehr zu gewinnen, die andernfalls verloren gehen würde.

Abbildung 4: Modulares Batteriesystem von Lithium Balance (XOLTA)



Abbildung 5: Integriertes Tool zur Überwachung und Simulation von Übertragungsverlusten



Das E-LOBSTER-System bietet die folgenden Funktionen:

- Steigerung des Wirkungsgrades der Bremsenergie durch Verbesserung der Rückgewinnung der Bremsenergie um 10 %.
- Je nach Häufigkeit des Einsatzes kann die in der Batterie gespeicherte Energie bis zu 4-5 MWh/Tag betragen.
- Mit dieser Energie lassen sich 40-50 große E-Fahrzeuge (bei Batterien mit einer Leistung von 100 kWh) bzw. 100-125 kleinere E-Fahrzeuge (Kombilimousinen mit einer Batterieleistung von 40 kWh) vollständig aufladen.

## VALIDIERUNG IM LABOR DER UNIVERSITÄT NEWCASTLE UND DEMONSTRATION IN DER MADRIDER METRO

Das Smart Energy Lab im Urban Science-Gebäude des Innovationsquartiers Newcastle Helix wurde für die Validierung und Demonstration der im Rahmen des E-LOBSTER-Projekts entwickelten innovativen Technologien herangezogen. Das Smart Energy Laboratory an der Universität Newcastle verfügt über eine Verbindung zum Niederspannungsnetz. Um die Anwendbarkeit der Lösung in verschiedenen Szenarien zu demonstrieren, wurden das Stromnetz, das Batterie-Energiespeichersystem und die sSOP-Komponenten unter Verwendung von Echtzeitdaten aus dem Umspannwerk Sacedal der Madrider Metro mit Simulationen des Verhaltens von Eisenbahnnetzen kombiniert.

Das Hauptziel des integrierten R+G-Managementsystems besteht darin, die Effizienz der Rückspeisung in das Eisenbahnnetz zu erhöhen und das Niederspannungsnetz bei der Bewältigung von überschüssigem Strom (z. B. aus erneuerbaren Energiequellen) und übermäßigem Verbrauch durch Ladestationen für Elektrofahrzeuge zu unterstützen. In diesem Konzept wurde die Energiemanagementstrategie des E-LOBSTER-Projekts so konzipiert, dass die Energie zwischen drei Systemen – Stromnetz, Bahn und Batteriespeicher – verteilt wird.

Das R+G-Managementsystem stellt fest, ob Bremsleistung aus dem Schienennetz verfügbar ist und ob ein Mehrverbrauch (z. B. durch Elektrofahrzeuge) im Niederspannungsnetz vorliegt oder ein Überschuss an Energie durch erneuerbare Energien erzeugt wird. Anders ausgedrückt, das R+G-Managementsystem wurde so entwickelt, dass es je nach Verfügbarkeit von Bremsenergie auf intelligente Weise zwischen den beiden folgenden Modi umschalten kann:

- 1 **Bahn+Netz-Modus:** Die Bahn liefert regenerative Bremsenergie an das BESS und das Niederspannungsnetz (je nachdem, ob im Niederspannungsnetz Strom benötigt wird).
- 2 **Netz-Modus:** Der Strom wird zwischen dem BESS und dem Niederspannungsnetz ausgetauscht, je nachdem, wie viel Strom auf der Netzseite verbraucht und erzeugt wird. In diesem Zustand ist keine Bremsenergie verfügbar.

In den im Labor der Universität Newcastle durchgeführten Tests wurde die Wirksamkeit der E-LOBSTER-Lösung zur Deckung des Mehrbedarfs an Strom, z. B. durch Ladestationen für Elektrofahrzeuge, und zur Unterstützung des Stromnetzes bei gleichzeitigem Energieüberschuss aus erneuerbaren Quellen nachgewiesen. Diese Tests haben das System erfolgreich validiert und wertvolle Erkenntnisse über die E-LOBSTER-Lösung für die nächste Phase des Projekts geliefert.

## DEMONSTRATION IN DER MADRIDER METRO

Die Demonstration der innovativen E-LOBSTER-Technologie fand auf dem Betriebsgelände der Madrider Metro<sup>2</sup> statt, wo die Optimierung Stromversorgung von entscheidender Bedeutung ist. Konkret wurde das E-LOBSTER-System im Umspannwerk Sacedal installiert, welches zwei Abschnitte der Linie 9 sowie den Betriebshof Sacedal mit Bahnstrom versorgt.

Zu Testzwecken wurde der Ausgang des E-LOBSTER-Systems an das lokale Niederspannungsnetz des Umspannwerks angeschlossen. Hauptziel war es, die beim Bremsvorgang der Züge erzeugte überschüssige Energie in das interne Niederspannungsnetz der Madrider Metro einzuspeisen. Somit wurde in einem Praxistext des E-LOBSTER-Systems ein konventionelles in ein reversibles Umspannwerk umgewandelt.

2 Zahlen zur Metro Madrid: mehr als 300 Stationen, ein fast 300 km langes Schienennetz und durchschnittlich 14 Millionen Fahrgäste pro Jahr



Die Demonstration bestand aus dem Smart Soft Open Point (sSOP) mit einem an das Schienennetz angeschlossenen Umrichter für Bahnstrom, einem an das lokale Niederspannungsnetz angeschlossenen Stromrichter und einem an das Batteriespeichersystem angeschlossenen ESS-Batteriestromrichter. Während der Demonstration wurden vom Projektteam Messungen durchgeführt, um den Betrieb des Systems zu bewerten. Das Team erfasste die Eingangsspannung des Bahnstromumrichters, den Eingangsstrom zum Netzstromrichter (I<sub>g</sub> DC) und den Eingangsstrom zum Batteriewandler (I<sub>b</sub> DC). Für die Testbedingungen wurde eine Referenzleistung des Bahnstroms von bis zu 50 kW, eine Referenzleistung des Netzstroms von bis zu 10 kW sowie ein Sollwert von 652 V für die Spannung der Bahnstromversorgung festgelegt.

Darüber hinaus wurde das System auch mit einer Referenzleistung des Bahnstroms von bis zu 100 kW, einer Referenzleistung des Netzstroms von bis zu 10 kW und einem Spannungssollwert von 655 V getestet.

## REPLIKATION DES SYSTEMS

Im Rahmen des Projekts wurde ein vorläufiger Entwurf für eine groß angelegte Umsetzung von E-LOBSTER erstellt. E-LOBSTER kann an Umspannwerke und Leitungen mit unterschiedlichen Merkmalen angepasst werden, und zwar nicht nur innerhalb der konkreten Testumgebung, sondern auch in vielen anderen Szenarien. Zusätzlich zum Einsatz in U-Bahnlinien in Europa und darüber hinaus kann das gesamte Konzept repliziert werden, indem das System durch entsprechende Modifikationen an die lokalen Gegebenheiten angepasst wird.

Es wurden vorläufige Entwürfe für einen großflächigen Einsatz von E-LOBSTER erstellt, wobei die folgenden Szenarien berücksichtigt wurden:

- andere Standorte in U-Bahnen
- Straßenbahnen
- Regionalzüge
- Hochgeschwindigkeitszüge

## REPLIKATION IN ANDEREN U-BAHNNETZEN

Das E-LOBSTER-System kann ohne größere Modifikationen auf anderen Strecken der Madrider Metro mit einer Spannung von 600 V eingesetzt werden. Die Replikation von E-LOBSTER in U-Bahnnetzen mit einer Nennspannung von 600 bis 750 V erfordert keine größeren Anpassungen. Hierfür ist nur eine Feinabstimmung des auf der Linie 9 der Madrider Metro installierten Systems notwendig.

In den folgenden Situationen müssen jedoch gegebenenfalls Anpassungen vorgenommen werden:

- bei geänderter Anzahl der Waggons pro Zug
- bei Änderungen des Stromflusses zum externen Netz

Um das E-LOBSTER-System auch auf den mit 1500 V betriebenen Linien der Madrider Metro einsetzen zu können, sind Änderungen am ursprünglichen Konzept erforderlich. Während die Spannung der Gleichstromverbindung im sSOP bei 750 V beibehalten werden kann, müssen folgende Aspekte möglicherweise angepasst werden:

- Bahnstromumrichter
- BESS-Nennleistung: Die Leistung und Kapazität des BESS muss in Abhängigkeit von zwei Faktoren angepasst werden:
  - a. Die erwartete regenerative Bremsenergie aus den Zügen
  - b. Die Anforderungen an den Stromfluss zwischen dem sSOP und dem lokalen Netz
- Stromrichter: Anpassung der Leistung an die Deltawerte der Leistung des Bahnstromnetzes und des BESS

## REGIONALZÜGE

In den meisten europäischen Ländern werden Regionalzüge mit 1,5 kV oder 3 kV Gleichstrom betrieben. Um das E-LOBSTER-System auf Regionalzüge zu übertragen, sind daher folgende Anpassungen erforderlich:

- Bahnstromumrichter
- BESS-Nennleistung
- Stromrichter (bei abweichenden Deltawerten der Leistung des Bahnstromnetzes und des BESS)

Ebenfalls zu berücksichtigen sind:

- die Anzahl der Wagen pro Zug
- der Stromfluss zum externen Netz

## STRASSENBAHNEN

Weltweit werden Straßenbahnen entweder mit 600 V oder 750 V Gleichstrom betrieben, wobei 750 V in modernen Systemen weiter verbreitet sind. Soll das E-LOBSTER-System auf eine mit 750 V betriebene Straßenbahnlinie übertragen werden, sind keine konkreten Anpassungen erforderlich.

Abbildung 6: Das E-LOBSTER-System im Echtbetrieb



## SPEZIFIKATIONEN UND NACHWEISBARER NUTZEN DES SYSTEMS:

Die Linie 9 der Madrider Metro ist 39,4 km lang und weist zwischen Paco de Lucia und Arganda del Rey 29 Stationen auf. Die Betriebsspannung dieser Linie beträgt 600 V DC.

Durch den Einsatz des E-LOBSTER-Systems in Madrid konnte folgender Nutzen nachgewiesen werden:

- ▶ Beim Bremsen erzeugte elektrische Energie, die nicht von einem anderen Zug genutzt wird, kann zur Versorgung sonstiger Geräte verwendet werden.
- ▶ Insgesamt hat sich der Energieverbrauch reduziert.
- ▶ Die Treibhausgasemissionen und der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck wurden gesenkt.
- ▶ Der Einsatz von Bremswiderständen konnte dank der Senkung der Tunneltemperatur und des geringeren Lüftungsbedarfs reduziert werden.
- ▶ Die Infrastruktur des Umspannwerks musste nicht modifiziert werden, da der normale Betrieb nicht beeinträchtigt wird und das System bei Bedarf an- und abgeschaltet werden kann.
- ▶ Das System hat die Anlage in keiner Weise beeinträchtigt und kann bei Bedarf automatisch abgeschaltet werden, sodass die Zuverlässigkeit und die Verfügbarkeit des Unterwerks weiterhin gewährleistet sind.

Außerdem kann E-LOBSTER auch mit Ladestationen für Elektrofahrzeuge kombiniert werden, da sich die Batterie durch die Bremsenergie der Züge wieder aufladen lässt.



## FAZIT

Das E-LOBSTER-System wurde erfolgreich validiert und auf TRL6 unter realen Bedingungen demonstriert. Dabei wurden die Potenziale des Gesamtsystems nachgewiesen, das dank der gemeinsamen Nutzung bestimmter Anlagen (sSOP und BESS) durch das Strom- und das Verkehrsnetz in der Lage ist, die Energieverluste sowohl auf der Ebene des Verteilungsnetzes (derzeit ca. 5 %) als auch auf der Ebene des Bahnstromnetzes (derzeit ca. 8 %) zu reduzieren. Möglich wird dies durch den Einsatz des R+G-Managementsystems, welches den Austausch von Strom zwischen den beiden Netzen ermöglicht. Daraus ergibt sich ein gegenseitiger Nutzen in Form von geringeren Verlusten und höherer Netzstabilität.

Nach Abschluss des Projekts sind folgende (nicht-) technische Resultate hervorzuheben:

- ▶ Ein optimales Energiemanagement, das Synergien zwischen den Strom- und Verkehrsnetzen ermöglicht
- ▶ Demonstration eines stabilen und sicheren Betriebs von intelligenten Netzen mit variablen Energiequellen, die ein hohes Potenzial für die Integration größerer Anteile erneuerbarer Energien aufweisen
- ▶ Verringerung von Energieverlusten
- ▶ Ein hohes Potenzial für die Anwendung in anderen Schienenverkehrsbereichen (wie U-Bahnen, Straßenbahnen, Regionalbahnen, Hochgeschwindigkeitszüge)
- ▶ Unterstützung der aktuellen politischen Entwicklungen im Bereich der Gestaltung des Elektrizitätsbinnenmarktes sowie von Energieeffizienzmaßnahmen bei elektrifizierten Verkehrsmitteln, einschließlich der Demonstration neuer Systeme, die einen „lokalen intelligenten“ Beitrag zur Steuerung des Stromnetzes leisten können

Zu den wichtigsten Erkenntnissen aus dem Projekt gehören die Bedeutung des politischen Rahmens sowie die Notwendigkeit, dem Genehmigungsverfahren für die Einführung des Systems je nach den lokalen Gegebenheiten besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

## NUTZENVERSPRECHEN DES SYSTEMS:

- › Verbessert die Widerstandsfähigkeit, Kapazität und Stromqualität des Netzes
- › Reduziert die Energieverluste und damit die Gesamtkosten
- › Ermöglicht den Anschluss an die Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge
- › Senkt die Kosten der zum Aufladen von E-Fahrzeugen benötigte Energie
- › Bietet ein optimales Management der Energieflüsse in Echtzeit über die Steuerungs-Plattform
- › Ermöglicht die Integration von erneuerbaren Energiequellen
- › Bietet Möglichkeiten zur Dekarbonisierung der städtischen und außerstädtischen Mobilität

## VIELEN DANK AN DIE PROJEKTPARTNER

- › RINA
- › TURBO POWER SYSTEMS LTD (TPS)
- › RAIL SAFETY AND STANDARDS BOARD LIMITED (RSSB)
- › THE UNIVERSITY OF BIRMINGHAM
- › LITHIUM BALANCE A/S
- › METRO DE MADRID SA
- › NEWCASTLE UNIVERSITY
- › FUNDACIÓN FERROCARRILES ESPAÑOLES

## VIELEN DANK AN UNSERE REDAKTEURE UND AUTOREN

- › Flavio Grazian, UITP
- › Giannicola Loriga, RINA Consulting
- › Mansoureh Zangiabadi, Newcastle University
- › Maciej Swierczynski, Sensata

Dieser Bericht wurde von der Einheit für Busse und der Einheit für Schienenfahrzeuge der Abteilung Wissen & Innovation geprüft.



This is an official Project Brief of UITP, the International Association of Public Transport. UITP has more than 1,900 member companies in 100 countries throughout the world and represents the interests of key players in this sector. Its membership includes transport authorities, operators, both private and public, in all modes of collective passenger transport, and the industry. UITP addresses the economic, technical, organisation and management aspects of passenger transport, as well as the development of policy for mobility and public transport worldwide.

This Project Brief is part of the research project E-LOBSTER which has received funding by the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme, under grant agreement No 774392.

Find out more at <https://www.e-lobster.eu/>



DIGITAL VERSION AVAILABLE ON  
**MYLIBRARY**



DECEMBER | 2022

Rue Sainte-Marie 6, B-1080 Brussels, Belgium | Tel +32 (0)2 673 61 00 | [info@uitp.org](mailto:info@uitp.org) | [www.uitp.org](http://www.uitp.org)