



Interreg
CENTRAL EUROPE



EfficienCE



TRANSNATIONALES HANDBUCH FÜR DEN EINSATZ ENERGIEEFFIZIENTER ÖPNV-INFRASTRUKTUR- TECHNOLOGIEN

(4) Pilotprojekte

IMPRESSUM

Projektnummer:

CE1537 EfficienCE, Energieeffizienz für ÖPNV-Infrastruktur in Mitteleuropa.

Finanziert von:

Interreg Central Europe (<http://interreg-central.eu/Content.Node/home.html>)

Titel:

D.T. 2.3.2 Transnationales Handbuch zum EfficienCE-Pilotprojekt

Herausgeber:

EfficienCE-Konsortium

Autoren:

Mitja Klemenčič, Marijan Španer, Matej Moharić, Vlasta Rodošek (Universität Maribor)

Layout und Design:

Levent Saran (Rupprecht Consult GmbH)

Datum:

Juni 2022

Inhalt

Zusammenfassung	5
1. Pilotprojekte	6
1.1. Implementierung eines in einer U-Bahn-Station integrierten PV-Systems zur Versorgung von Nebengebäuden mit erneuerbaren Energien (Wien, Österreich)	6
1.2. Nutzung der zurückgewonnenen Bremsenergie und des erneuerbaren Stroms für den Betrieb des Trolleybus-depots (Gdynia, Polen)	8
1.3. Modernisierung eines bestehenden Seilbahn-Umspannwerks und Integration eines Elektrobus-Schnellladegeräts (Maribor, Slowenien)	10
1.4. Integration eines Pufferspeichers in das Trolleybus-Netz zur Steigerung der Energieeffizienz (Pilsen, Tschechien)	15
2. Schlussfolgerungen	18
3. Referenzen	19

Über das EfficienCE-Projekt

EfficienCE ist ein vom Interreg CENTRAL EUROPE Programm finanziertes Kooperationsprojekt, das darauf abzielt, die CO₂-Bilanz in der Region zu verringern. Die meisten mitteleuropäischen Städte verfügen über umfangreiche öffentliche Verkehrssysteme, die die Grundlage für emissionsarme Mobilitätsdienste bilden können. Mehr als 63 % der Pendler in der Region nutzen öffentliche Verkehrsmittel. Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und des Anteils erneuerbarer Energien in der ÖPNV-Infrastruktur können daher besonders große Auswirkungen auf die Reduzierung von CO₂ haben.

Erreicht wurde dies durch die Unterstützung von lokalen Behörden und öffentlichen Verkehrsunternehmen bei der Entwicklung von Planungsstrategien und Aktionsplänen, der Durchführung von Pilotmaßnahmen, der Entwicklung von Instrumenten und Schulungen zur Planung und zum Betrieb von emissionsarmen Infrastrukturen sowie durch den Transfer von Wissen und bewährten Verfahren zu energieeffizienten Maßnahmen in den mitteleuropäischen Regionen.

Zwölf Partner, darunter sieben Verkehrsbehörden/-unternehmen aus sieben Ländern, arbeiteten drei Jahre lang zusammen, um die ungenutzten Potenziale in diesem Sektor zu nutzen und einen Beitrag zu den Zielen des Weißbuchs der EU zu leisten, die Verkehrsemissionen bis 2050 um 60 Prozent zu senken und den Einsatz von konventionell angetriebenen Fahrzeugen im Stadtverkehr bis 2030 zu halbieren.

Zusammenfassung



Foto: Stadt Leipzig

Das EfficienCE-Projekt konzentrierte sich auf die Energieeffizienz der ÖPNV-Infrastruktur in Mitteleuropa und führte Untersuchungen durch, um Beiträge zu einer effizienten ÖPNV-Infrastruktur zu ermitteln. Der Schwerpunkt lag auf den folgenden Themen:

Pilot-Schwerpunktthemen
Energiespeicherung in der ÖPNV-Infrastruktur
Integration von Photovoltaikanlagen (PV)
Mehrzwecknutzung der ÖPNV-Infrastruktur
Energieaudit-Tools (EAT)
E-Bus-Schnellladegerät
In-Motion-Charging (IMC)

Im Rahmen des Projekts wurden Lösungen zur Verbesserung der Energieeffizienz von ÖPNV-Infrastruktur und zur Integration erneuerbarer Energien in ÖPNV-Systeme umgesetzt und getestet, um die Abhängigkeit des öffentlichen Verkehrs von fossilen Brennstoffen zu verringern und sicherzustellen, dass der öffentliche Verkehr in den Ländern Mitteleuropas bezahlbar und effizient bleibt.

Vier Pilotinvestitionen im Rahmen des EfficienCE-Projekts befassen sich mit den oben genannten Themen.

Die Wiener Linien haben ein in eine U-Bahn-Station integriertes PV-System zur Versorgung von Hilfsmitteln der Gebäude mit erneuerbaren Energien eingeführt.

Die Trolleybus-Verkehrsgesellschaft (PKT) von Gdynia hat in den letzten Jahren alle drei Themen des EfficienCE-Projekts recherchiert. Das EfficienCE-Projekt präsentiert jedoch die Ergebnisse der Investitionen in die Nutzung von zurückgewonnener Bremsenergie und erneuerbaren Energien für die Stromversorgung des Trolleybus-Depots.

Die Stadt Maribor hat ein bestehendes Seilbahn-Umspannwerk modernisiert und ein Elektrobus-Schnellladegerät integriert.

Das städtische Verkehrsunternehmen PMDP aus Pilsen schließlich demonstrierte die Integration eines Pufferspeichersystems in das Trolleybus-Netz. Die Forschungsarbeit konzentrierte sich auf die Steigerung der Energieeffizienz.

1. Pilotprojekte

Pilotprojekt 1 - Implementierung der PV-Integration an der U-Bahn-Station:

- PV-Anlage auf dem Dach einer U-Bahn-Station in Wien.
- Integration und Erprobung der PV-produzierten Energieversorgung in das Energiesystem der Station zur Versorgung der Hilfsaggregate.

Pilotprojekt 2 - Integration von Bremsenergie und erneuerbaren Energien zur Stromversorgung des Trolleybus-Depots:

- Einsatz eines Energie-Wechselrichter-Systems zur Einspeisung von zurückgewonnener Energie aus Oberleitungen in das Energiesystem des Depots in Gdynia.

Pilotprojekt 3 - Einführung eines Elektrobus-Schnellladegeräts:

- Modernisierung des Mehrzweck-Umspannwerks und Installation des Schnellladegeräts mit Energie aus dem Mehrzweck-Umspannwerk in Maribor.
- Die Energie wird für das Aufladen von Elektrobussen, E-Autos und Seilbahnen bereitgestellt.

Pilotprojekt 4 - Umsetzung der Integration von Pufferspeichern in das Trolleybus-Netz:

- Installation einer Pufferspeicherstation zur Speicherung überschüssiger Energie in Pilsen.
- Bereitstellung zusätzlicher Kapazitäten für das Oberleitungsnetz auf Abruf.

1.1 Implementierung eines in einer U-Bahn-Station integrierten PV-Systems zur Versorgung von Nebengebäuden mit erneuerbaren Energien (Wien)

Kurze Beschreibung der Pilotinvestition

Als öffentliches Verkehrsunternehmen betreiben die Wiener Linien viele Liegenschaften in Wien, die für die Erzeugung von Solarstrom genutzt werden könnten. Das Potenzial wird auf 100.000 Quadratmeter geschätzt. Bislang war es jedoch aufgrund der Statik nicht möglich, dort konventionelle Photovoltaikanlagen zu installieren. Das neue Produkt, eine Photovoltaikfolie, ist deutlich leichter als herkömmliche Systeme und erfüllt die besonderen Anforderungen an die elektrische Erdung in einem U-Bahn-Gebäude.

Das Pilotprojekt umfasst die Errichtung einer Pilot-Photovoltaikanlage und die Entwicklung eines Energieüberwachungswerkzeugs für die U-Bahn-Station sowie die Überwachung und Bewertung des Betriebs dieses neuartigen PV-Systems.

Benötigte Ressourcen

Zum ersten Mal wurden PV-Folien auf das Dach einer U-Bahn-Station geklebt. Diese PV-Folien sind fünfmal leichter als herkömmliche PV-Systeme. Eine weitere Besonderheit ist, dass eine Gleichstrombahn und PV-Stromerzeugung gemeinsam betrieben werden.

Die größte Herausforderung ist die Integration dieser neuen Technologie in bestehende Systeme. Da das U-Bahn-System mit Gleichstrom betrieben wird, besteht die Gefahr von Streustrom. Deshalb muss die PV-Anlage mit einer speziellen Isolierschicht versehen werden. Eine weitere Anforderung ist das Gewicht. Hinsichtlich der Auslegung gibt es keine besonderen Anforderungen, die über die normalen Anforderungen an eine PV-Anlage hinausgehen.



Abbildung 1: Luftaufnahme der Photovoltaikanlage (05-2020), © Wien Energie GmbH

Beweise für den Erfolg

Die Photovoltaikanlage hat eine Größe von 360 Quadratmetern und eine Jahresleistung von 60,3 kW in der Spitze. Sie produziert rund 62.000 kWh Solarstrom. Dadurch werden jedes Jahr mehr als 21 Tonnen CO₂ eingespart.

Die Leistung der Anlage wird in hohem Maße durch die elektrische Leistung bestimmt. Als Messgerät kommt der Siemens PAC 3200 zum Einsatz und die gewonnenen Daten werden automatisch an das Energieleitsystem übertragen. Der jährliche Energieertrag ist höher als in der Prognose vor Beginn des Projekts erwartet.

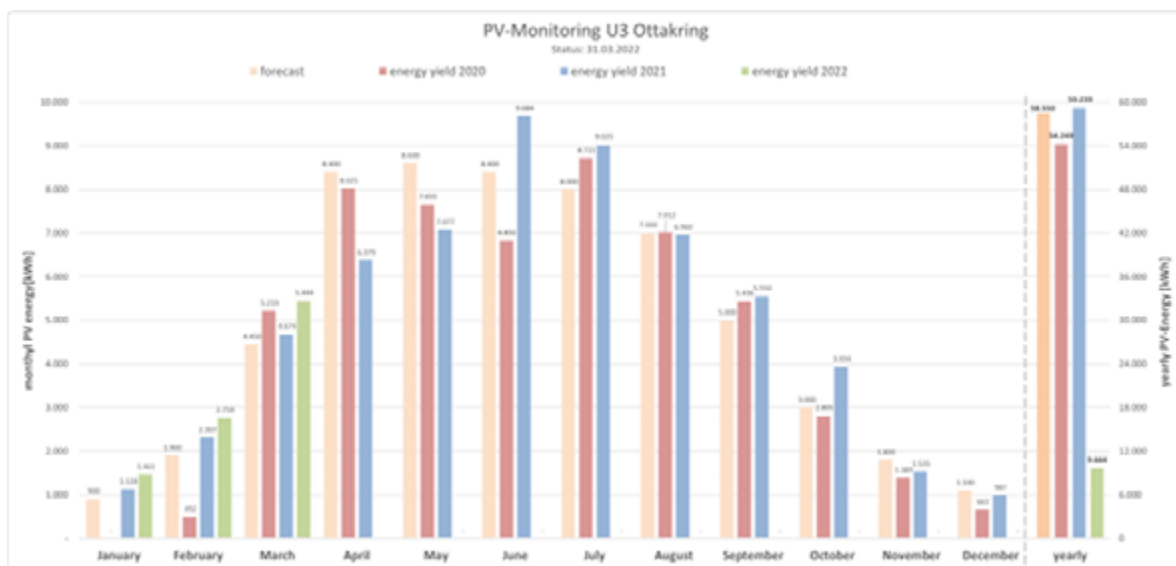


Abbildung 2: Energieertrag der PV-Anlage

Aufgetretene Schwierigkeiten

Eine der größten Herausforderungen war die Platzierung der technischen Ausrüstung, wie z. B. eines Frequenzumrichters. Da es nicht möglich war, den Umrichter auf dem Dach des Bahnhofs zu installieren (wegen der Geräusche), wurde er an einem Ort innerhalb des Bahnhofs aufgestellt. Die Kabelführung erforderte einen genauen Plan, um die Entfernung zwischen dem Technikraum und dem Niederspannungshauptverteilerraum zu verkürzen.

Nach dem Anschluss der Niederspannungshauptverteilung an den Technikraum wurden die Messkomponenten am Leistungsschalter installiert. Da die vorhandenen Kollektoren verwendet wurden, fielen nur geringe zusätzliche Kosten für die Verbrauchsmessungen an. Die Anpassungen bezüglich der Kabelverlegung erfolgten wie erwartet.

Da es sich bei diesem Produkt und seiner Anwendung um eine Neuheit handelt, war es notwendig, seine Leistung zu testen und zu bewerten. Es wurde ein Messsystem integriert. Gemessen wurden sowohl die Umgebungsbedingungen (Sonneneinstrahlung, Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur) als auch die Systemleistung (Strom und Spannung an zwei Stellen: neben den Modulen auf dem Dach und im Elektroinstallationsraum neben dem AC/DC-Wechselrichter).

Potenzial für Erkenntnisgewinn und Übertragbarkeit

Was die Durchführbarkeit betrifft, so deckte das Pilotprojekt alle Hindernisse ab (z. B. Gewicht, elektrische Erdung), mit denen andere potenzielle Standorte von Mobilitätsanbietern konfrontiert sind. Die Erkenntnisse und der Ausblick auf mögliche zukünftige PV-Anlagen zeigen, dass die Realisierung einer PV-Anlage auf einem Bahngelände problemlos möglich ist. Aus elektrotechnischer Sicht kann man sagen, dass es keine negativen Auswirkungen der PV-Anlage auf die Traktion und umgekehrt gibt. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die PV-Folien eine sehr gute Option für ältere Gebäude mit statischen Herausforderungen sind, aber wenn es aus statischen Gründen möglich ist, sollten aus wirtschaftlichen Gründen Standardmodule verwendet werden.

1.2 Nutzung der zurückgewonnenen Bremsenergie und des erneuerbaren Stroms für den Betrieb des Trolleybus-depots (Gdynia)

Kurze Beschreibung der Pilotinvestition

Die ungenutzte zurückgewonnene Bremsenergie der Trolleybusse hat die Trolleybus-Verkehrsgesellschaft (PKT) von Gdynia dazu veranlasst, Lösungen zur Energieoptimierung zu implementieren. Die Investition wird durch Verwendung ungenutzter zurückgewonnener Bremsenergie Energieverluste innerhalb des Trolleybus-Bahnstromnetzes begrenzen. Die zurückgewonnene Bremsenergie verschwindet als Wärme in den im Netz platzierten Bremswiderständen. Durch die Investition in eine Lösung wird die zurückgewonnene, ungenutzte Bremsenergie auf das Netz des Trolleybus-Depots übertragen, um das Gebäude mit Strom zu versorgen (Depotbeleuchtung u. a.).

Benötigte Ressourcen

Dies wird durch einen innovativen Energie-Wechselrichter erreicht, der es ermöglicht, ansonsten verschwendete Energie direkt in das Energiesystem des Gebäudes einzuspeisen. Für die Verbindung des Gleichstrom-Bahnstromnetzes mit dem Wechselstromnetz des Gebäudes muss ein speziell entwickelter DC/AC-Wechselrichter im Depot installiert werden. Die Bedeutung des DC/AC-Wechselrichters ermöglicht die Rückgewinnung und Einspeisung ungenutzter Bremsenergie in das Depotgebäude, die Kontrolle des Energieverbrauchs im Bahnstromnetz, die Erkennung ungenutzter Energie und die umfassende Kontrolle des Energieverbrauchs im Depotgebäude durch die Weiterentwicklung des Energieüberwachungssystems.

Beweise für den Erfolg

Das Energieaufbereitungs- und -speichersystem wurde im PKT-Depot in Gdynia installiert und auch als Stromquelle für die Ladestation für Elektroautos an die Oberleitungen der Trolleybusse angeschlossen. Gemessen wurden die Verfügbarkeit der Ladeleistung und die Ausgangswerte der Wechselspannung. Darüber hinaus wurde die Möglichkeit der Rückgewinnung der Energieabsorption durch Bremsen getestet.

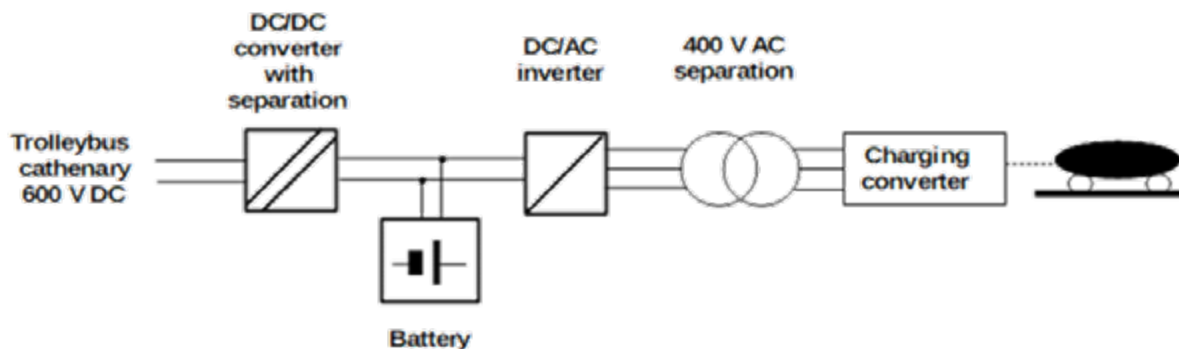


Abbildung 3: Aufbau des innovativen Systems

Aufgetretene Schwierigkeiten

Das Gerät wurde auch als Stromquelle für Ladestationen für Elektroautos getestet. In den ersten Testphasen wurde die Zusammenarbeit der Ladestationen unter verschiedenen Bedingungen, zu verschiedenen Tageszeiten und mit verschiedenen Fahrzeugtypen getestet. Anschließend wurde der Betrieb der Ladestation mit hoher Ladeintensität getestet, was die Überprüfung der Entwurfsannahmen und die Bestimmung der praktischen Anwendungen ermöglichte.

Gemessen wurden die Verfügbarkeit der Ladeleistung und die Ausgangswerte der Wechselspannung. Es wurde geprüft, ob die Energieabsorption durch Bremsen zurückgewonnen werden kann.

Das Problem bestand darin, dass die Station durch einen 400-V-Gleichstromempfänger (Ladestation für Elektroautos) überlastet war. Der Wechselrichter war nicht ausreichend gegen Überlastungen geschützt und das Auftreten einer solchen Situation führte zu seiner Abschaltung. Sie sollte über einen Trennschalter mit Fernsteuerung, der von der Leitstelle des Umspannwerks aus gesteuert werden kann, an die Oberleitung angeschlossen werden. Dies erleichtert die Rekonfiguration des Stromversorgungssystems in Notfällen sowie die Abschaltung der Ladestation bei Wartungsarbeiten an der Oberleitung. Um zu verhindern, dass sich das Gerät bei einem Stromausfall in der Oberleitung (Fehlen der 600-V-Gleichstromversorgung) ausschaltet, wurden die Batterien in der Wechselrichterstation verwendet.

Potenzial für Erkenntnisgewinn und Übertragbarkeit

Der Vorteil des Geräts besteht darin, dass diese Art von Ladegerät nicht fest mit dem Boden verbunden ist und überall dort aufgestellt werden kann, wo es ein Bahnstromnetz gibt. Der Anschluss der Station erfordert keine zusätzlichen Installationskosten und ohne Baugenehmigungen verkürzt sich die Investitionszeit.

Der Vorteil des Bahnstromnetzes ist seine große räumliche Ausdehnung in vielen Städten und damit seine breite Erreichbarkeit. Es kann daher zur Stromversorgung von Fahrzeugladestationen eingesetzt werden, bei denen der Anschluss an das Wechselstromnetz problematisch ist, z. B. aufgrund von Bauarbeiten.

Ein Wechselrichter zur Energiespeicherung, der die überschüssige Brems- und Traktionsenergie auffängt, wurde entwickelt und gebaut, um diese Energie zu speichern und an das Depotgebäude oder die Ladestation für E-Autos zu übertragen. Das Gerät ermöglicht es, diese überschüssige Energie, die durch das Abbremsen der Trolleybusse erzeugt wird, aus dem Netz „einzufangen“ und zu nutzen. Der Wechselrichter verwendet eine gebrauchte Batterie aus einem Trolleybus, die als Energiespeicher dient. Dies eröffnet ein weiteres Potenzial, nämlich das „zweite Leben“ von gebrauchten Antriebsbatterien.

Nach der Umsetzung kann das Modell der Verknüpfung von Individualverkehr und öffentlichem Verkehr in größerem Maßstab getestet werden, wobei Autos auf Pufferparkplätzen abgestellt wurden, die durch ein Trolleybus- oder Straßenbahnnetz mit dem Stadtzentrum verbunden waren, und dann aufgeladen mit „grüner Energie“ nach Hause gefahren wurden.



Abbildung 4: Batteriebasierte elektrische Energiespeicherung; Verwendung einer wiederverwendeten Antriebsbatterie aus einem Trolleybus (Quelle: PKT Gdynia)

1.3 Modernisierung eines bestehenden Seilbahn-Umspannwerks und Integration eines Elektrobus-Schnellladegeräts (Maribor)

Kurze Beschreibung der Pilotinvestition

Die Stadtverwaltung von Maribor (MOM) investierte in die Modernisierung einer bestehenden Seilbahnstation und integrierte eine Schnellladestation für Elektrobusse an der Haltestelle Vzpenjača in Maribor (Endstation der Buslinie 6). Dies ermöglicht eine Mehrzwecknutzung der bestehenden ÖPNV-Infrastruktur, indem der Strom aus der Seilbahnstation sowohl für den Betrieb der Seilbahn als auch für das Aufladen eines Elektrobusse verwendet wird. Weitere vorbereitende Maßnahmen im Rahmen der entsprechenden Pilotaktivität umfassten eine technische Machbarkeitsstudie. Die technischen Unterlagen umfassten die Vorbereitung der Ausschreibung für das Elektrobus-Schnellladegerät. Anschließend wurde das Schnellladegerät installiert und angeschlossen.

Benötigte Ressourcen

Im Mittelpunkt des Pilotprojekts stand die multifunktionale Elektrobus-Schnellladestation, die zum Aufladen von Seilbahnstationen und E-Carsharing genutzt wurde. Außerdem wurde ein Elektrobus benötigt, um das Elektrobus-Ladegerät zu testen.

Die Hauptherausforderung des Pilotprojekts bestand darin, ein Elektrobus-Schnellladegerät für den Mehrzweckeneinsatz zu installieren und die Netzstabilität unter verschiedenen Bedingungen vor (Seilbahnstation, E-Carsharing, andere Gelegenheitsverbraucher bei größeren Veranstaltungen) und nach der Installation zu messen.

Die nachstehende Grafik zeigt den geschätzten Anteil der verschiedenen Arbeiten an der Strominfrastruktur für die Ladestation 150 kW (174 kVA) ohne den Preis für die Lieferung und den Bau der Ladestation.



Foto: Stadt Leipzig

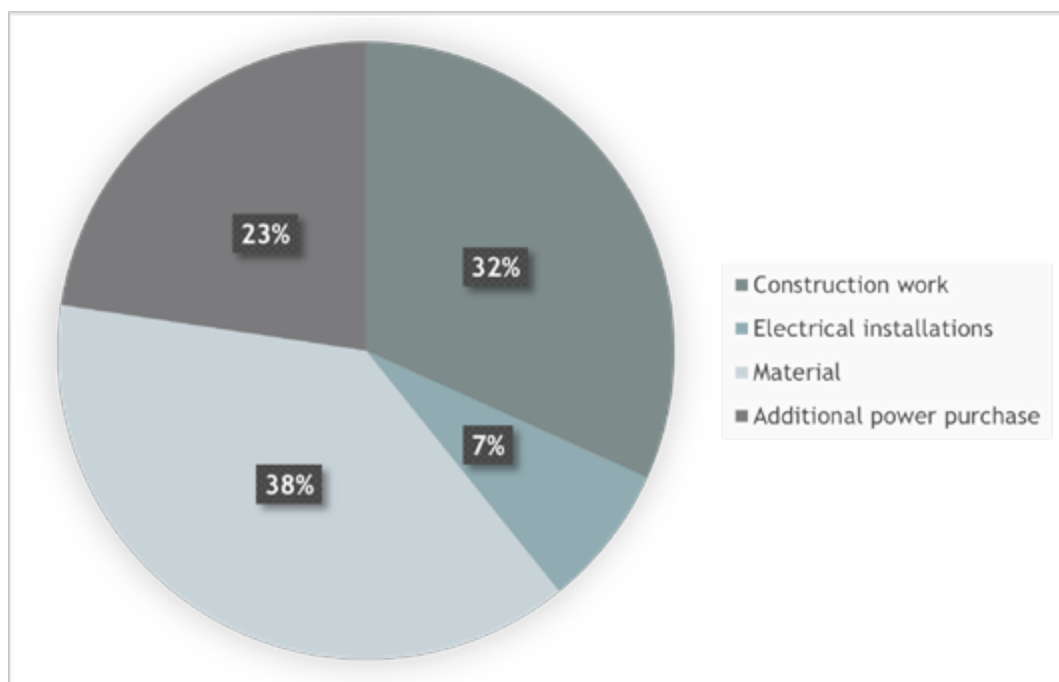


Abbildung 5: Anteil der verschiedenen Arbeiten zur Einrichtung einer Ladestation

38 % aller Kosten waren Materialkosten, gefolgt von den Bauarbeiten (32 %) und dem zusätzlichen Strombezug für 150 kW Leistung.

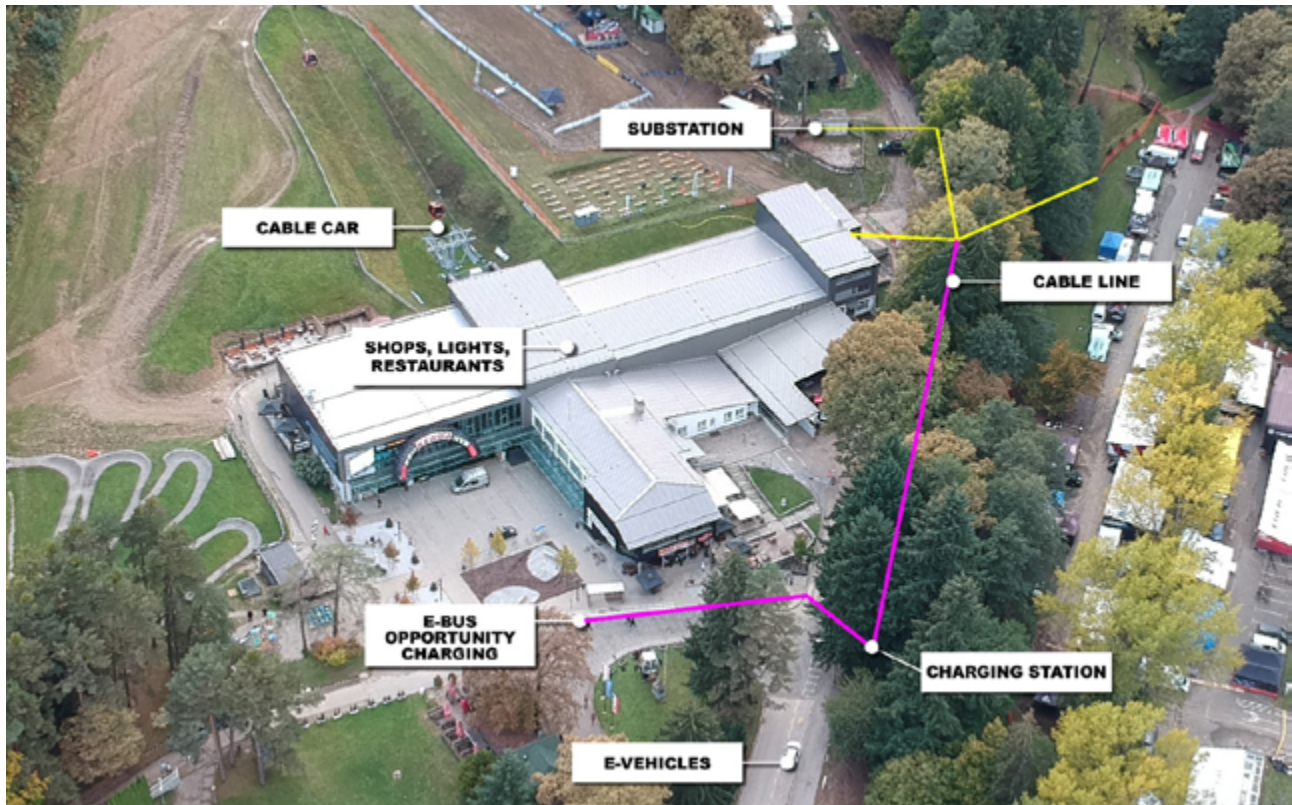


Abbildung 6: Luftaufnahme eines Elektrobusses, der an der Station Vzpenjača schnell (Zwischenladung) aufgeladen wird (Quelle: Stadt Maribor)

Beweise für den Erfolg

Die Schnellladestation wurde am Donnerstag, den 16. Juni 2022 in Betrieb genommen. In dieser Zeit wurden die Busse mit 835,63 kWh Energie geladen. Das Ladegerät wurde 102-mal benutzt und die durchschnittliche Ladezeit betrug 4 Minuten.

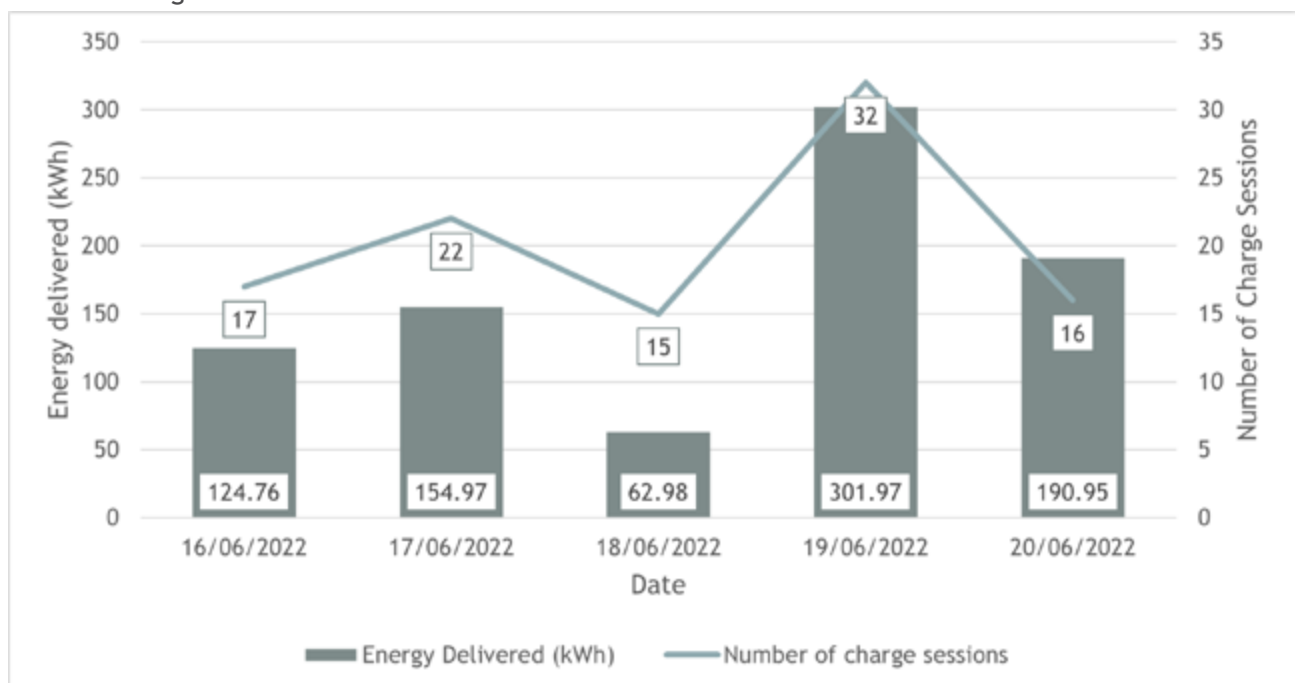


Abbildung 7: Ladevorgänge und gelieferte Energie an der Schnellladestation Sp. Vzpenjača

Die Echtzeit-Ladezeit ohne Stromabnehmermanipulation wurde ebenfalls gemessen. Diese Zeit ist wichtig für die Berechnung der tatsächlichen Ladeleistung der Schnellladestation und für eine bessere Optimierung der Busfahrpläne.

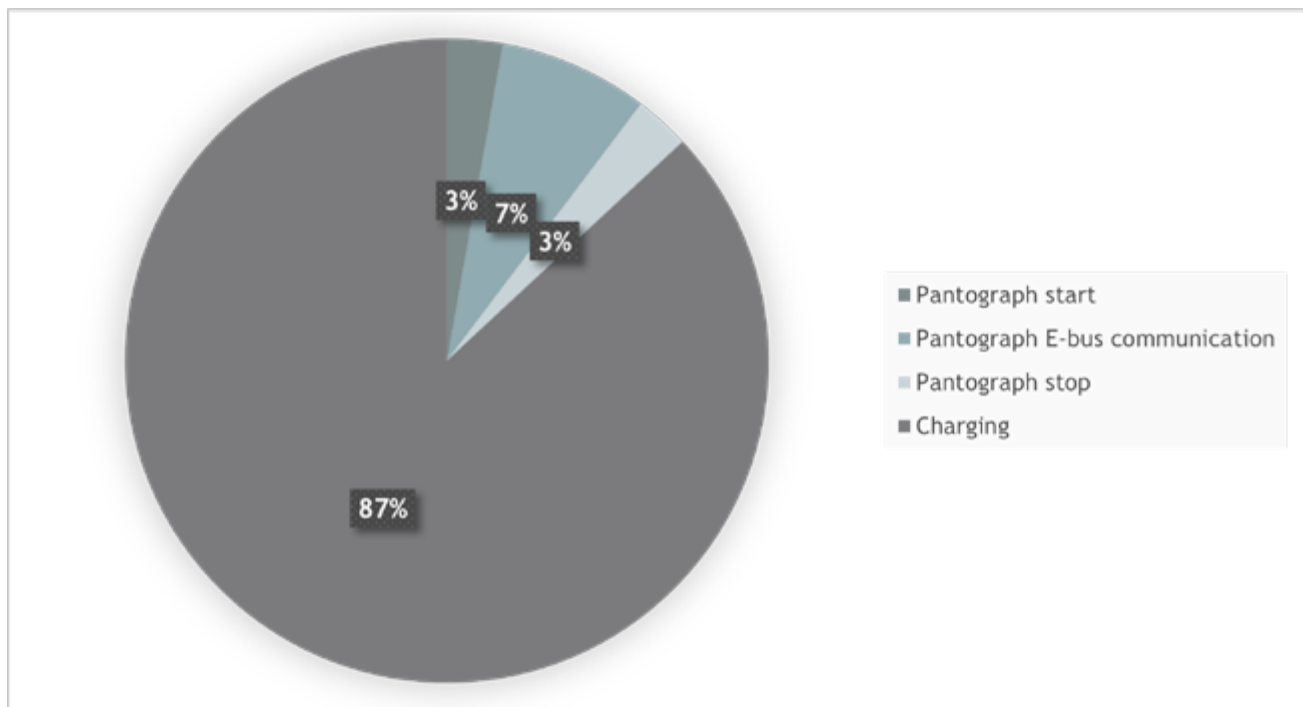


Abbildung 8: Dauer der Ladeperiode



Foto: Stadt Leipzig

Die nachstehende Tabelle zeigt die Ladezeit, wenn der E-Bus eine Minute lang geladen wird. 87 % der Zeit werden für den Ladevorgang benötigt, 7 % für die Kommunikation zwischen dem Schnellladegerät und dem Bus und 6 % für die Auf- und Abwärtsbewegung des Stromabnehmers.

Vorgang	Anteil	Dauer (mm:ss)
Stromabnehmer in Bewegung	6 %	00:04
Kommunikation zwischen Stromabnehmer und E-Bus	8 %	00:05
Aufladen	87 %	00:51

Beim Testen des Schnellladegeräts wurden während des Ladevorgangs viele Fehler festgestellt. Nur 73 % aller abgeschlossenen Einsätze waren erfolgreich, der Rest waren Fehler. Bei 14 % der erfolglos abgeschlossenen Einsätze war die Position des E-Busses falsch. Bei weiteren Tests lässt sich dieser Fehler korrigieren, da der Grund dafür der Wenderadius der Sp. Vzpenjača-Seilbahnen ist.

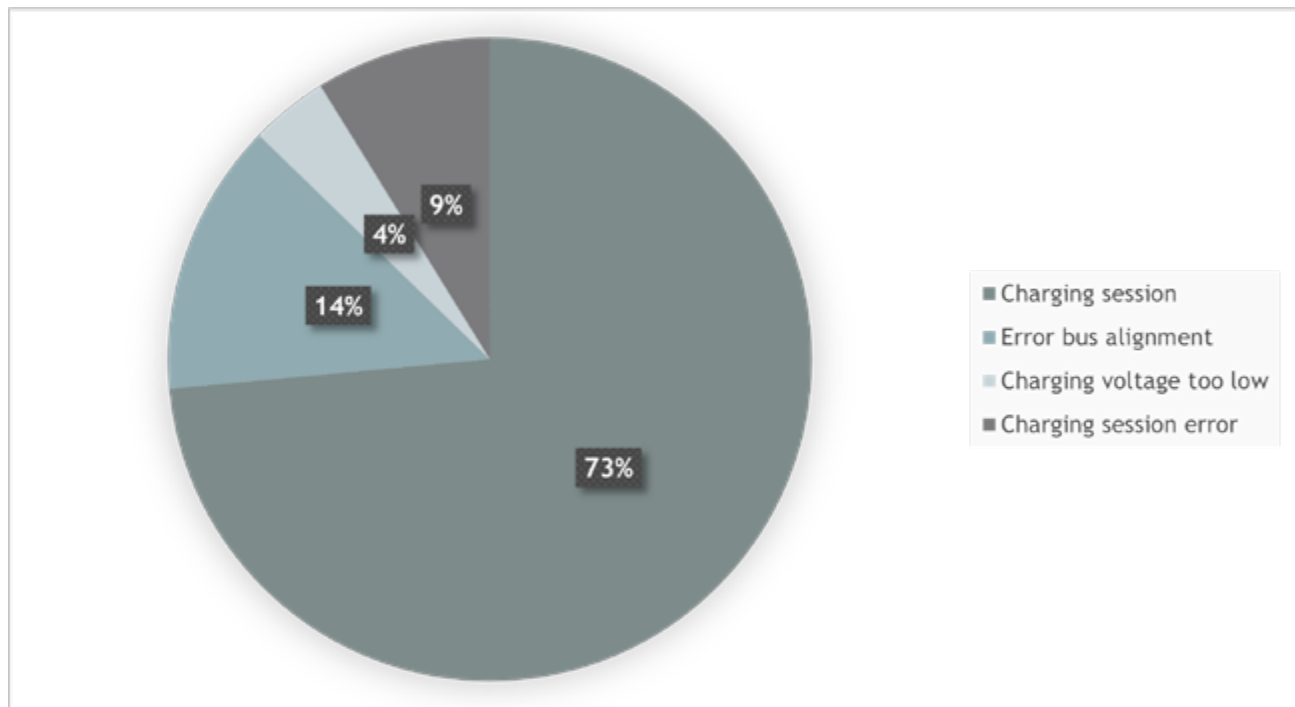


Abbildung 9: Übersicht der Gründe für Ladestopps an der Schnellladestation Sp. Vzpenjača

Aufgetretene Schwierigkeiten

Für die Stromversorgung musste eine neue Rohrleitung vom Transformator zur Ladestation (Netzanschlusskasten) gebaut werden, in das eine neue Niederspannungskabelleitung eingezogen wird. Vom Netzanschlusskasten zum Stromabnehmer wurde ein neuer Rohrkabelkanal gelegt, in den Gleichstrom- und Kommunikationskabel für die Stromversorgung des Stromabnehmers eingezogen wurden.

Geplant ist eine umfassende Energieanalyse des bestehenden Transformators, an den eine elektrische Busladestation angeschlossen werden soll. Die Messungen der Transformatorlast werden in zwei Schritten durchgeführt. Die erste Messreihe wertet die Strombelastung des Umspannwerks aus, bevor die Ladestation angeschlossen wurde. Die zweite wird durchgeführt, nachdem die Ladestation angeschlossen wurde.

Die maximale Spitzenlast während der Messung zwischen 2020 und 2022 betrug 399 kVA. Unter Berücksichtigung der maximalen Spitzenlast und der 150-kW-Ladestation (174 kVA) ergibt sich eine Scheinleistung von 573 kVA, was dem vorhandenen 630-kVA-Transformator entspricht. Wenn die Kapazität der Ladestation um 300 kW erhöht werden soll, d. h. auf die maximale Scheinanschlussleistung der Ladestation von 348 kVA, könnte die Spitzenlast 698 kVA betragen. Der bestehende 630-kVA-Transformator wäre unzureichend und müsste durch einen neuen 1000-kVA-Transformator ersetzt werden.

Potenzial für Erkenntnisgewinn und Übertragbarkeit



Abbildung 10: Demonstration der Funktionsweise des Stromabnehmers (Quelle: Stadt Maribor)

Die Investition wird als Vorzeigeprojekt für eine Mehrzweck-ÖPNV-Infrastruktur zum Aufladen von Elektrobussen, Elektroautos und Seilbahnen nicht nur in Maribor, sondern in ganz Mitteleuropa dienen. Die Erfahrungen und Erkenntnisse aus EfficienCE kann MOM die Mehrzweckinfrastruktur für den ÖPNV in der Stadt ausbauen, da ein hohes Replikationspotenzial für kosteneffiziente Nachrüstungen von Umspannwerken in ihrem Netz besteht.

1.4 Integration eines Pufferspeichers in das Trolleybus-Netz zur Steigerung der Energieeffizienz (Pilsen)

Kurze Beschreibung der Pilotinvestition

Die innovative Lösung ist der Einsatz einer Pufferspeicherstation direkt im problematischen Oberleitungsabschnitt, die auf Hochleistungsbatterien und intelligenter Computersteuerung basiert und weder eine externe Stromversorgung noch umfangreiche Baumaßnahmen erfordert. Die technische Basis der Pufferstation ist ein galvanisch getrennter Fahrtrieb (DC 600 V / DC 600 V), der eine sichere und zuverlässige Stromübertragung zum und vom Fahrtrieb gewährleistet. Die Hauptstation steuert die Zugkraft des Antriebs. In der Pufferstation wurde eine Klimaanlage installiert, um für eine gleichbleibende Temperatur zu sorgen, die für die Funktionsfähigkeit und Langlebigkeit der Batterien entscheidend ist. Die Technik und alle Komponenten der Pufferstation passen in den selbsttragenden Stahlrahmen, was eine einfache und schnelle Installation oder Verlegung ermöglicht. Die größte Einschränkung dieser Lösung ist die kurzfristige Unterstützung des Oberleitungssystems und die Lebensdauer der Batterie.

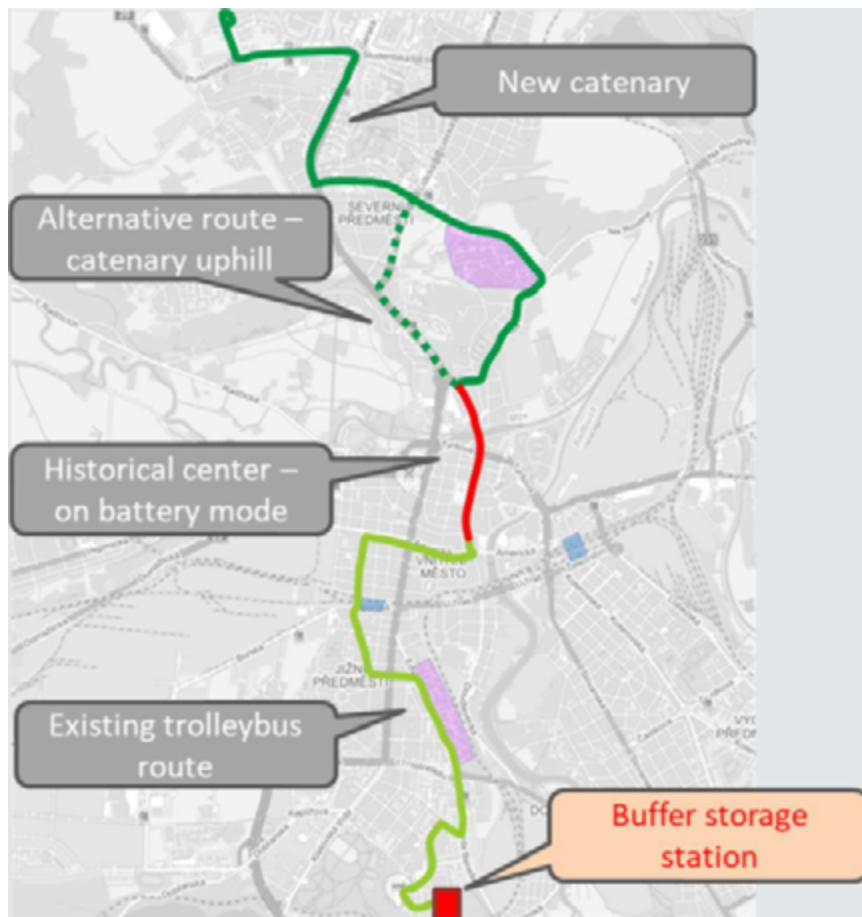


Abbildung 11: Trolleybus-Projekt zum Krankenhaus und zum nördlichen Vorort

Benötigte Ressourcen

Die Zunahme von Trolleybussen und batteriebetriebenen Trolleybussen bedeutet auch einen Anstieg des Stromverbrauchs in den Oberleitungen. Einige Abschnitte der Oberleitung haben bereits die Grenze der Stromversorgung erreicht. In diesen Abschnitten sinkt die Spannung der Oberleitung, wenn die Last höher ist. Dieser Spannungsabfall führt zu kurzfristigen Netzausfällen. Die innovative Lösung mit der Installation von Pufferspeichern direkt am Ort des schwachen Oberleitungsabschnitts ist die Antwort auf die herkömmlichen Lösungen. Die innovative Pufferspeicherstation besteht aus einer Hochleistungsbatterie und einem intelligenten Computersteuerungssystem. Alle Komponenten sowie die Klimaanlage (zur Gewährleistung eines angemessenen Klimas im Batteriedepot) sind perfekt in einen selbsttragenden Stahlrahmen integriert. Diese Lösung gewährleistet Flexibilität in Bezug auf eine einfache und schnelle Installation oder Verlegung, falls erforderlich. Für den Betrieb der Pufferspeicherstation ist keine externe Stromversorgung erforderlich.

Beweise für den Erfolg

Die Lösung eignet sich dort, wo eine Verstärkung des Stromversorgungsnetzes erforderlich ist und Spannungseinbrüche bei höheren Lasten verhindert werden sollen. Sie kann in Kombination mit einer erneuerbaren Energiequelle, wie z. B. PV-Paneelen, verwendet werden. Es ist wichtig, die erforderlichen Parameter (Kapazität, Wirkungsgrad, Spitzenstrombelastung) korrekt zu bestimmen.

Aufgetretene Schwierigkeiten

Der Einsatz einer größeren Anzahl von Trolleybussen, die während der Fahrt aufgeladen werden, bedeutet einen höheren Stromverbrauch in den Abschnitten, in denen diese Fahrzeuge fahren und aufladen. In einigen Abschnitten stößt das bestehende Stromnetz an seine Kapazitätsgrenze, was sich in einem Absinken der Spannung im Oberleitungsbus bei höheren Lasten niederschlägt. Diese Spannungseinbrüche können zu

kurzzeitigen Stromausfällen oder sofortigen Ausfällen der Trolleybus-Antriebseinheiten führen, die bei zu niedriger Spannung vorsorglich ihren Betrieb einstellen.

Die erste Herausforderung bei der Einführung von geleasteten Batteriestationen zur Unterstützung des Trolleybus-Antriebs war die Tatsache, dass nur Prototypen solcher Stationen auf dem Markt verfügbar waren. Daher war es notwendig, die erforderlichen Parameter festzulegen, bevor eine Ausschreibung für den Kauf durchgeführt werden konnte. Auch auf der Kostenseite musste man innovativ sein (wirtschaftliche Herausforderung) und das erwartete und geplante Budget überschreiten. Der Mietpreis erhöhte sich aufgrund der Ausschreibung und enthielt Anforderungen für den Test der Prototyp-Batteriestation. Zusätzlich zu diesen beiden Herausforderungen musste die technische Aufgabe gemeistert werden, die Batteriestation mit dem Trennschalter und der Isolierung im Bereich des Trolleybus-Wendekreises zu platzieren.

Potenzial für Erkenntnisgewinn und Übertragbarkeit

Die Pilotversuche konzentrierten sich auf die Erfassung von Daten bei einem Ausfall/Wiederaufbau der Lade-Stromrichterstation, die Unterstützung des Netzes im letzten Abschnitt und die Unterstützung des Netzes bei erhöhtem Verbrauch. Der erste Eindruck von der installierten Investition ist positiv. Die Lösung ist übertragbar auf alle Betreiber von Trolleybussen oder Straßenbahnen mit der erforderlichen Unterstützung zur Stärkung des Stromversorgungsnetzes durch Vermeidung von Spannungseinbrüchen bei hoher Belastung. Sie ist auch in Kombination mit einer erneuerbaren Energiequelle geeignet (PV-Anlagen)



Abbildung 12: Pufferspeicher (Quelle: PMDP)

2. Schlussfolgerungen

EfficienCE zielt darauf ab, die Energieeffizienz und den Einsatz erneuerbarer Energien in ÖPNV-Infrastrukturen zu erhöhen, um lokale, regionale und auch EU-Energieziele zu erreichen. Zu diesem Zweck arbeiteten 12 Partner, darunter 7 ÖPNV-Behörden/Unternehmen aus 7 verschiedenen mitteleuropäischen Ländern zusammen, um neuartige Energiespartetechnologien in ÖPNV-Infrastrukturen zu testen, die die ersten ihrer Art in Mitteleuropa sind. Von der Integration von erneuerbaren Energien in U-Bahn-Stationen (Wien) und Trolleybus-Depots (Gdynia) bis hin zur Aufrüstung eines Umspannwerks für die Mehrzwecknutzung der bestehenden ÖPNV-Infrastruktur (Maribor) und neuen Pufferspeichertechnologien (Pilsen).

Alle Pilotprojekte wurden im Rahmen des Projekts umgesetzt und erfolgreich getestet, sind aber auch integraler Bestandteil kommunaler Strategien und/oder Pläne für nachhaltige städtische Mobilität zur Steigerung der Energieeffizienz. Die Umsetzung einer in die U-Bahn-Station integrierten PV-Anlage hat gezeigt, dass es möglich ist, die Dachflächen öffentlicher Infrastrukturen für die Stromversorgung von Nutzern und Gebäuden zu verwenden. Die zurückgewonnene Bremsenergie wird in das Netz des Trolleybus-Depots eingespeist, um das Gebäude zu versorgen. Der Anschluss der Station erfordert keine zusätzlichen Installationskosten und keine Baugenehmigung, was den Investitionszeitraum verkürzt. Die Aufrüstung eines bestehenden Seilbahn-Umspannwerks und die Integration eines Elektrobus-Schnellladegeräts ermöglichen den Ausbau der Mehrzweck-Infrastruktur des ÖPNV in der Stadt, da es ein hohes Replikationspotenzial für kosteneffiziente Aufrüstungen von Umspannwerken in ihrem Netz gibt. Die Integration einer Pufferspeicherstation in das Trolleybus-Netz zur Steigerung der Energieeffizienz und eine innovative Lösung ist der direkte Einsatz einer Pufferspeicherstation. Die Technik und alle Komponenten der Pufferstation passen in den selbsttragenden Stahlrahmen, der eine einfache und schnelle Installation oder Verlegung ermöglicht.

Die Projektergebnisse sind in hohem Maße übertragbar und die Projekte werden zu einer Keimzelle für den wirksamen Einsatz von Investitionen und Multiplikatoreffekten für ÖPNV-Infrastrukturen mit erneuerbaren Energien.

3. Referenzen

CE1537 EfficienCE, D.T. 3.1.1, Vorbereitung des EfficienCE-Pilotprojekts
CE1537 EfficienCE, D.T. 3.2.1, Vorbereitung des EfficienCE-Pilotprojekts
CE1537 EfficienCE, D.T. 3.3.1, Vorbereitung des EfficienCE-Pilotprojekts
CE1537 EfficienCE, D.T. 3.4.1, Vorbereitung des EfficienCE-Pilotprojekts
CE1537 EfficienCE, D.T. 3.1.2, Umsetzung des EfficienCE-Pilotprojekts
CE1537 EfficienCE, D.T. 3.2.2, Umsetzung des EfficienCE-Pilotprojekts
CE1537 EfficienCE, D.T. 3.3.2, Umsetzung des EfficienCE-Pilotprojekts
CE1537 EfficienCE, D.T. 3.4.2, Umsetzung des EfficienCE-Pilotprojekts
CE1537 EfficienCE, D.T. 3.1.3, Bewertung des EfficienCE-Pilotprojekts
CE1537 EfficienCE, D.T. 3.2.3, Bewertung des EfficienCE-Pilotprojekts
CE1537 EfficienCE, D.T. 3.3.3, Bewertung des EfficienCE-Pilotprojekts
CE1537 EfficienCE, D.T. 3.4.3, Bewertung des EfficienCE-Pilotprojekts

ENTDECKEN SIE MEHR EfficienCE



Besuchen Sie unsere
Webseite:
<https://www.interreg-central.eu/efficiency>

Kontaktieren Sie uns



+49 341 123 59 10

Federführender Partner: Stadt Leipzig, Deutschland



Projektmanager:

Sebastian Graetz
sebastian.graetz2@leipzig.de

Marlene Damerau
m.damerau@rupprecht-consult.eu



<https://www.linkedin.com/company/interreg-efficiency/>



www.facebook.com/Interreg.EfficienCE/



[@Int_EfficienCE](https://twitter.com/Int_EfficienCE)

TAKING
COOPERATION
FORWARD



BUDAPESTI
KÖZLEKEDÉSI
KÖZPONT



redmint



GDAŃSK UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY



Leipziger
Verkehrsbetriebe



WIENER LINIEN

Plzeňské městské
dopravní podniky

PMDP



City of Leipzig



University of Maribor
Faculty of Civil Engineering,
Transportation Engineering
and Architecture



COMUNE DI BERGAMO

