



Interreg
CENTRAL EUROPE



European Union
European Regional
Development Fund

EfficienCE



TRANSNATIONALES HANDBUCH FÜR DEN EINSATZ ENERGIEEFFIZIENTER ÖPNV- INFRASTRUKTURTECHNOLOGIEN

(5) Transnationaler Leitfaden zu Empfehlungen
für politische, rechtliche und institutionelle
Rahmenwerke

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.T1.3.1 Transnationaler Leitfaden zu Empfehlungen für politische, rechtliche und institutionelle Rahmenwerke

Herausgeber:

EfficienCE-Konsortium

Hauptautoren:

Wolfgang Backhaus, Marlene Damerau, Shreesha Vaidhya, Lisa Blondrath (Rupprecht Consult)

Co-Autoren:

Anja Seyfert, Gabriele Grea (Redmint Europe), Mitja Klemenčič, Marijan Španer, Matej Moharić, Vlasta Rodošek (Universität Maribor), Sebastian Graetz (Stadt Leipzig)

Layout und Design:

Levent Saran (Rupprecht Consult GmbH)

Datum:

Juni 2022

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.



Foto: Rupprecht Consult

Inhalt

Zusammenfassung	5
1. Planung für eine energieeffiziente ÖPNV-Infrastruktur.....	6
2. Erhöhung des Anteils von erneuerbaren Energien an der ÖPNV-Infrastruktur	8
2.1 Was die EfficienCE-Partner getan haben	8
2.2 EfficienCE -Empfehlungen	11
3. Mehrzwecknutzung der ÖPNV-Infrastruktur ermöglichen	15
3.1 Was die EfficienCE-Partner getan haben	15
3.2 EfficienCE -Empfehlungen	17
4. Gemeinsame Nutzung von Daten zur Planung einer energieeffizienten ÖPNV-Infrastruktur	18
4.1 Was die EfficienCE-Partner getan haben	18
4.2 EfficienCE -Empfehlungen	19
5. Allgemeine Empfehlungen	21
6. Ausblick: Auf dem Weg zu klimaneutralen öffentlichen Verkehrssystemen	22
Referenzen	23

Zusammenfassung



Foto: Stadt Leipzig

Das EfficienCE-Projekt hat Aktionspläne und Pilotdemonstrationen entwickelt, die darauf abzielen, die Energieeffizienz im öffentlichen Verkehr zu steigern, um erstens den Anteil der Integration von erneuerbaren Energien zu erhöhen, zweitens eine Mehrzwecknutzung der ÖPNV-Infrastruktur zu ermöglichen und drittens Daten auszutauschen und zu nutzen, um eine energieeffiziente ÖPNV-Infrastruktur zu planen. Das vorliegende Dokument beschreibt die Aktivitäten und Ergebnisse des Projekts bei der Entwicklung dieser Aktionspläne und der Durchführung von Pilotprojekten und stellt die Empfehlungen der Partner auf Grundlage ihrer Ansätze zur Planung, Erprobung und Bewertung von ÖPNV-Infrastrukturen zu den einzelnen Themen und im Allgemeinen zusammen. Weitere Empfehlungen für politische, rechtliche und institutionelle Rahmenbedingungen, die auf den Erkenntnissen der Projektpartner über Hindernisse und Triebkräfte für die Umsetzung der Managementansätze und Investitionen beruhen, ergänzen das Dokument. Es wird ein Ausblick auf die weiteren Umsetzungsaktivitäten der Partner gegeben und Vorschläge für die zukünftige transnationale Zusammenarbeit gegeben.

1. Planung für eine energieeffiziente ÖPNV-Infrastruktur

Die Planung der Infrastruktur für Elektromobilität wird in den kommenden Jahren zunehmend in die Konzeption und Entwicklung dezentraler erneuerbarer Energieerzeugung, Netzdienstleistungen, intelligentem Aufladen, digitaler Transformation und Raumplanung integriert werden. In diesem Zusammenhang stellt die Elektrifizierung des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) eine Gelegenheit dar, die städtischen Infrastrukturen zu überdenken, da sie es ermöglicht, erstens den Anteil erneuerbarer Energiequellen (EE) in der lokalen ÖPNV-Infrastruktur zu erhöhen, zweitens die Mehrzwecknutzung bestehender oder neuer Ladeinfrastrukturen für verschiedene Verkehrsträger zu unterstützen und drittens die Leistung der Infrastrukturen auf der Grundlage von Erkenntnissen durch den Datenaustausch zwischen den Stakeholdern zu verbessern.

Die Partner des EfficienCE-Projekts entwickelten Aktionspläne und führten Pilotprojekte zu den drei Themen durch, die in ihre lokalen Strategien integriert sind¹. Sie nutzten den Rahmen für nachhaltige urbane Mobilitätsplanung (SUMP),² um ihren Planungsprozess zu strukturieren und ihre Pilotprojekte vorzubereiten und zu bewerten. Der SUMP-Prozess ist in Abbildung 1 als idealisierter Zyklus dargestellt.



Abbildung 1: Der SUMP-Planungszyklus. © Rupprecht Consult 2019

Die Einhaltung des SUMP-Zyklus half den Partnern, an der Schnittstelle zwischen Mobilitäts- und Energieökosystemen auf integrierte Weise zu arbeiten (siehe Abbildung 2).

¹ Leipzig mobility strategy 2030, Vienna climate strategy, SUMPs: Gdynia, Maribor, Pilsen, Bergamo, BKK.

² Rupprecht Consult (editor), Guidelines for Developing and Implementing a Sustainable Urban Mobility Plan, Second Edition, 2019.

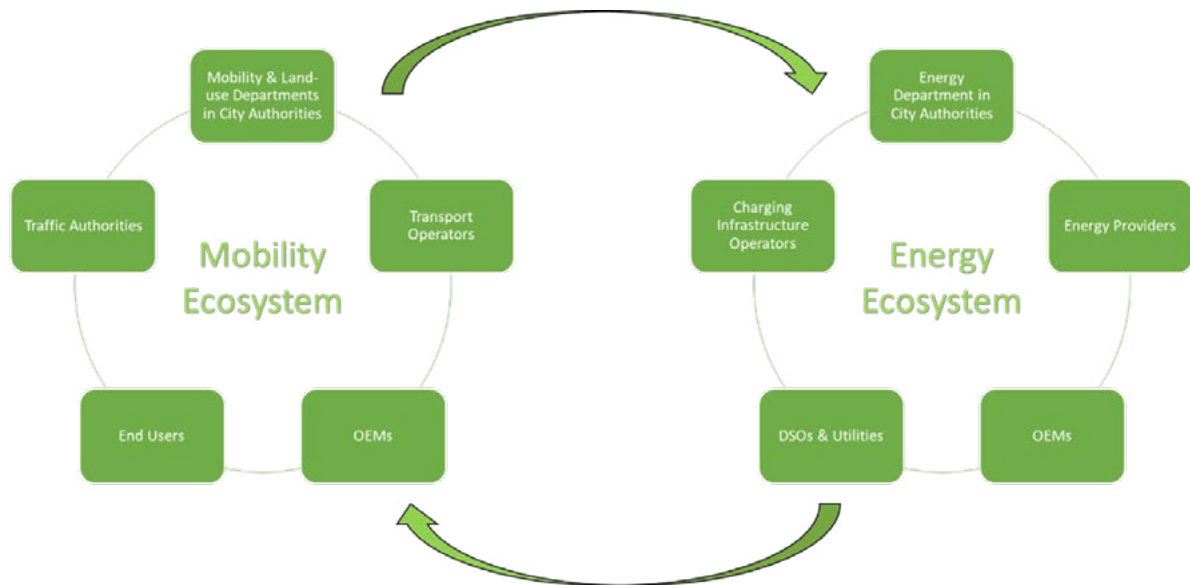


Abbildung 2: Integration des Ökosystems Mobilität und Energie, Quelle: SUMP-Themenleitfaden Elektrifizierung (angepasst)

Auf der Grundlage der Erfahrungen der Projektpartner bei der Planung, Durchführung und Bewertung ihrer Projektaktivitäten³ fasst das vorliegende Dokument ihre Empfehlungen zusammen, wie die ÖPNV-Infrastruktur energieeffizienter gestaltet werden kann. Im nächsten Kapitel werden die drei Hauptthemen von EfficienCE erläutert, gefolgt von einer Beschreibung der Projektaktivitäten und -ergebnisse zu jedem Thema und von EfficienCE-Empfehlungen.

³ Ausführlich beschrieben in: D.T1.1.1 Managerial approach data-based planning and financing for energy-efficient PT infrastructure, D.T1.1.2 Managerial approach on the integration of RES into PT infrastructure, D.T1.1.3 Managerial approach on multipurpose PT infrastructure use.

2. Erhöhung des Anteils von erneuerbaren Energien an der ÖPNV-Infrastruktur

Erneuerbare Energiequellen (EE) stellen eine saubere, unerschöpfliche und äußerst wettbewerbsfähige Energiequelle dar. Bei ihrer Umwandlung werden keine Emissionen von Treibhausgasen (THG) oder andere umweltschädliche Emissionen erzeugt und ihre Quellen⁴ können nicht verbraucht oder erschöpft werden. Um das Klimaschutzziel der Europäischen Kommission zu erreichen, bis 2050 klimaneutral zu werden, stellen erneuerbare Energien eine praktikable Option zur Deckung des Energiebedarfs dar. Mit derzeit weniger als 5 % ist der Verkehr jedoch der Sektor mit dem geringsten Anteil an erneuerbaren Energien, während er gleichzeitig fast 1/3 der europäischen Treibhausgasemissionen verursacht⁵. Der Trend zur Elektrifizierung des ÖPNV bietet eine große Chance, den Anteil der erneuerbaren Energien an der ÖPNV-Infrastruktur zu erhöhen, da die Ökologisierung des für den ÖPNV benötigten Stroms durch die Integration dezentraler grüner Energie möglich ist.

2.1 Was die EfficienCE-Partner getan haben

Die Partner entwickelten einen Aktionsplan und führten zwei Pilotprojekte zu diesem Thema durch.

Die **Stadt Bergamo** hat ihren Aktionsplan als strategisches Instrument für die Elektrifizierung und Integration von erneuerbaren Energien in die lokale ÖPNV-Infrastruktur entwickelt⁶. Ausgehend von einer Analyse des Referenzkontextes untersucht der Plan den europäischen, nationalen und lokalen Regelungsrahmen für Energie und Mobilität, bestehende lokale Pläne und Studien für Mobilität und Energie, einschließlich des SUMP, sowie deren Wechselbeziehungen. Auf der Grundlage eines partizipativen Designs wurden strategische Szenarien sowie Anwendungsfälle und Maßnahmen entwickelt, die in den kommenden Jahren umgesetzt werden können.

Die entwickelten Maßnahmen zielen darauf ab, den Anteil der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz durch die Installation von Photovoltaikanlagen und stationären Energiespeichern im ATB-Depot und im Mobilitätsknoten Porta Sud im Rahmen eines großen städtischen Renovierungsprojekts zu erhöhen. Die Ladeinfrastruktur ist mit neuen BRT- und Straßenbahnlinien sowie mit der Sanierung einer Eisenbahnlinie verbunden, die fünf Städte verbindet. Weitere Maßnahmen betreffen die Erneuerung der ATB-Flotte mit E-Bussen und intelligenter Ladeinfrastruktur sowie mögliche Investitionen in Energiespeichertechnologien (z. B. Wiederverwendung)⁷.



Abbildung 3: Der Masterplan der Stadt Bergamo für den Mobilitätsknoten „Porta Sud“ – entscheidend für die nachhaltige Elektrifizierung des ÖPNV. Quelle: Stadt Bergamo.

4 Renewable energy sources to generate green energy are sun, wind, biomass, or the recollected braking energy from, e.g., buses or trains.

5 [Greenhouse gas emissions from transport in Europe \(europa.eu\)](https://europea.eu)

6 Mobilisierung von mehr als 10 Millionen Euro für künftige Investitionen in innovative energieeffiziente Infrastrukturen bis 2027 und von mehr als 40 Millionen Euro bis 2033.

7 D.T1.2.3 Action Plan Bergamo & O.T1.2 Output Factsheet Bergamo, D.T1.1.2 Managerial approach on the integration of RES into PT infrastructure.

Tabelle 1. Von der Stadt Bergamo mit dem ÖPNV-Betreiber ATB entwickelte Maßnahmen

Kategorie	Spezifische Maßnahmen	Zeit	Finanzierung	Geschätzte Kosten (€)
Erneuerung der ÖPNV-Flotte	Kauf von 60 Elektrofahrzeugen	2033	Nationaler Aufbau- und Resilienzplan (NARP)	21 Millionen
	Einrichtung einer Ladeinfrastruktur im Depot		Ministerielle Finanzierung, Eigenmittel	4 Millionen
Effizientes Depot	Studie für Speicher- und PV-Anschlüsse	2026-2030		5 Millionen
	Implementierung intelligenter Ladelösungen			
	Implementierung von Speicherlösungen			
	Implementierung von PV-Paneelen auf dem Dach des Depots			
	Implementierung der Bus2Grid-Technologie			
Intelligenter Knotenpunkt (Stadterneuerungsprojekt Porta Sud)	Detaillierte Studie zu EE-Integration, Speicherung, Mehrzweck-Infrastrukturnutzung	2026-2030		5 Millionen
	Installation von PV-Paneelen auf Dächern von Bushaltestellen und Wartehäuschen			
	Implementierung von Energiespeicherlösungen (Schwungrad)			
	Multifunktionale Nutzung des Mobilitätsknotens			
Lineare Infrastruktur (Straßenbahn, E-BRT)	Prüfung von Superkondensatorsystemen	2030		N. z.
	Energiespeicherlösungen - Schwungrad und wiederverwendete Batterien			

Das ÖPNV-Unternehmen Wiener Linien (WL, AT) testete eine PV-Anlage auf dem Dach einer U-Bahn-Station (Ottakring) in Wien. Erstmals wurden PV-Folien auf das Dach einer U-Bahn-Station geklebt, das sonst - aus statischen Gründen - keine normale und schwerere PV-Anlage tragen könnte. Die PV-produzierte Energieversorgung wurde zur Versorgung der Hilfsantriebe in das Energiesystem der Station integriert. Das Hauptergebnis ist, dass der jährliche Energieertrag der PV-Anlage mit 62.000 kWh Solarstrom höher ist als erwartet und 50 % des Energiebedarfs des Bahnhofs an einem sonnigen Sommertag deckt, wodurch die CO₂-Emissionen um 50 % reduziert werden. In den nächsten Jahren plant Wien die Installation von 20 PV-Anlagen auf U-Bahn-Stationen, davon 2 mit PV-Folien. 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. Der Partner entwickelte und testete auch ein Instrument zur Überwachung des Energieverbrauchs in seinen U-Bahn-Stationen mit dem Ergebnis, dass 20 % der Energie in den Stationen durch Maßnahmen zur Verbesserung der Belüftung eingespart werden können. Das Instrument und die Ergebnisse werden auch für das Energiemanagement anderer U-Bahn-Stationen eingesetzt⁸.

⁸ Transnational Handbook on EfficientCE pilots & best practices for energy-efficient PT infrastructure, O.T3.1 Pilot factsheet PV system, O.I1 investment factsheet PV system, O.T3.5 Pilot factsheet energy audit tool, D.T3.4.3 pilot evaluation report



Abbildung 4: Luftaufnahme der Photovoltaikanlage [05-2020], © Wien Energie GmbH

Das Trolleybusunternehmen Przedsiębiorstwo Komunikacji Trolejbusów PKT Gdynia (PL) testete einen Energie-Wechselrichter, der die ansonsten verschwendete Energie in das Energiesystem des Gebäudes oder in das Ladegerät einspeist. Ein speziell entwickelter DC/AC-Wechselrichter wurde im Depot installiert, um das Gleichstrom-Bahnstromnetz mit dem Wechselstromnetz der Ladestation oder des Gebäudes zu verbinden. Um die Zuverlässigkeit der Stromversorgung (z. B. bei übermäßigem Einbruch der Umrichter-Eingangsspannung) und die Flexibilität bei der Akkumulation von regenerativer Bremsenergie zu erhöhen, wurde die Station mit einer wiederverwendeten Antriebsbatterie aus einem Trolleybus ausgestattet. Der Vorteil des Geräts: Diese Art von Ladegerät ist nicht fest mit dem Boden verbunden und lässt sich bewegen. Der Anschluss der Station erfordert keine zusätzlichen Installationskosten und ohne Baugenehmigungen verkürzt sich die Investitionszeit.

Nach der Umsetzung wurde das Modell der Verknüpfung von Individualverkehr und öffentlichem Verkehr durch das Aufladen von Elektroautos getestet. Der Energieumwandlungsprozess ist in zwei Stufen unterteilt. Zunächst verwendet das System den DC/DC-Wandler, der für eine galvanische Trennung von der Spannung des Bahnstromnetzes sorgt und den Batterieladestrom reguliert. Anschließend liefert der DC/AC-Wandler den Strom über einen zusätzlichen Transformator, der zur Isolierung dient, an die Ladestation. Die Ausgangsleistung beträgt 50 kW. Die Ladestation wird mit 3×400 V Wechselstrom versorgt, was einem kommerziellen Standard entspricht. Daher wurde ein typisches Schnellladegerät für Elektroautos verwendet⁹.

In Zukunft will PKT eine PV-Anlage mit dem Wechselrichter und dem Speicher verbinden, um die erzeugte Energie entweder zu speichern oder direkt in das Trolleybusnetz einzuspeisen.



Abbildung 5: Batteriebasierte elektrische Energiespeicherung; Verwendung einer wiederverwendeten Antriebsbatterie aus einem Trolleybus. Quelle: PKT.

⁹ Transnational Handbook on EfficientCE pilots & best practices for energy-efficient PT infrastructure, O.T3.2 Pilot factsheet inverter, O.I2 investment factsheet inverter, D.T3.2.3 Pilot evaluation report



Foto: Stadt Leipzig

2.2 EfficienCE-Empfehlungen

Politisches und institutionelles Engagement schaffen

- Die Erhöhung des Anteils von erneuerbaren Energien im ÖPNV-System zu einem strategischen Ziel innerhalb der kommunalen und regionalen Dekarbonisierungsstrategien machen und die horizontale und vertikale Integration und Zusammenarbeit zwischen Abteilungen und externen Stakeholdern erleichtern, um diese Ziele zu erreichen.
- Nationale Strategien mit klaren Zielen für den Energiemix, die den Zugang zu Finanzmitteln erleichtern, fehlen noch in einigen mitteleuropäischen Ländern, z. B. in Ungarn oder Polen.

Suche nach den richtigen Partnern vor Ort

- In Wien haben WL und der Energieversorger Wien Energie bei der Beschaffung, Umsetzung und Erprobung ihres Pilotprojekts erfolgreich zusammengearbeitet. Einige Städte haben ihre eigenen Energieversorger, die einen Beitrag leisten können, andere müssen externe Partner finden.



Abbildung 6: PV-Folienanlage in Wien. Quelle: WL.

Plan für Speicherung und Aufladung

- Erneuerbare Energie wird auf unbeständige Weise erzeugt: Es gibt Spitzen mit niedriger und hoher Energieerzeugung, die nicht mit dem Energiebedarf übereinstimmen. Wenn mehr Energie erzeugt als verbraucht wird, muss die überschüssige Energie, die während der Spitzenlastzeiten erzeugt wird, gespeichert werden, um die Energie während der Schwachlastzeiten bereitzustellen.
- Durch die Kombination von Bremsenergierückgewinnung mit Wechselrichter- und Speichersystemen kann eine höhere Energieeffizienz und eine Senkung der Energiekosten erreicht werden, da z. B. Hilfsaggregate von U-Bahn-/Straßenbahnstationen mit der rückgewonnenen Energie betrieben werden können.

Konzepte zur Wiederverwendung von Batterien in Speichersysteme integrieren

- Die Batterien von E-Fahrzeugen verschleßen aufgrund der zunehmenden Lade- und Entladezyklen, und der Wirkungsgrad sinkt unter die Nutzungsgrenze, die üblicherweise bei 80 % liegt, bevor das Fahrzeug die für seinen Lebenszyklus garantierte Kilometerleistung erreicht hat. Wiederverwendete Batterien aus Bussen können dann z. B. zur Speicherung zurückgewonnener Bremsenergie von Trolleybussen (siehe Pilotprojekt von PKT) oder möglicherweise auch in Pufferspeicherstationen (siehe Pilotprojekt von PMDP) verwendet werden.
- Um die Risiken bei der Versorgung mit Rohstoffen zu mindern, sind klare und harmonisierte überörtliche Normen und Batterievorschriften erforderlich, die eine Wiederverwendung von Materialien ermöglichen.

In Infrastruktur und Fahrzeugsystemen denken

- Elektrofahrzeuge können dank ihrer Batterien über die Ladeinfrastruktur Flexibilitätsdienste für das Stromnetz erbringen. Die Technologie Bus2Grid (B2G) oder Vehicle2Grid (V2G)¹⁰ ermöglicht es E-Bussen, nachts aufgeladen zu werden, wenn die Energienachfrage gering und die Tarife am günstigsten sind und Energie in das Netz zurückzuspeisen, wenn die Nachfrage hoch ist. Dies führt zu einem Gesamtausgleich des Netzes und einer höheren Systemeffizienz. Laufende Tests für B2G werden wichtige Ergebnisse liefern, um die Nutzungsbedingungen besser zu verstehen.
- Auch Fahrzeuge, die nicht Teil der ÖPNV-Flotte sind, können in das Systemkonzept integriert werden, wie PKT Gdynia durch das Aufladen von E-Autos mit zurückgewonnener Bremsenergie von Trolleybussen demonstriert.



Abbildung 7: Aufladen von E-Autos mit zurückgewonnener Bremsenergie. Quelle: PKT

Nutzung von Werkzeugen für Optimierungsstrategien für intelligente Ladevorgänge

- Das gleichzeitige Aufladen von Fahrzeugen in den Depots führt zu potenziellen Leistungsaufnahme-Spitzen. Um eine überdimensionierte Ladeinfrastruktur zu vermeiden, muss das Aufladen durch intelligente Ladesysteme gesteuert werden, die das Aufladen entsprechend der im Depot verfügbaren Leistung sowie der für jedes Fahrzeug verfügbaren Ladezeit auf der Grundlage des Dienstplans modulieren. Daher sind intelligente dynamische Ad-hoc-Modulationsstrategien - auch für das funktionale Stadtgebiet (FUA, functional urban area) - erforderlich, die auf den spezifischen Merkmalen der Flottenfahrzeuge beruhen und den üblichen „blinden“ Ladeansatz überwinden. Um Transparenz über die verfügbaren Werkzeuge zur Entwicklung von Optimierungsstrategien für intelligente Ladevorgänge zu schaffen, bietet EfficienCE in seinem Online-Toolkit einen Überblick¹¹.

¹⁰ Vehicle to Grid (V2G) ist eine Technologie, die Stromübertragungen zwischen den Batterien von Elektrofahrzeugen und dem Netz als Teil eines intelligenten Energiesystems ermöglicht, bei dem die in der Batterie gespeicherte Energie auch zum Betrieb anderer elektrischer Geräte als Fahrzeuge verwendet werden kann.

¹¹ [EfficienCE toolkit](#)

Schaffung von gesellschaftlicher Akzeptanz durch Partizipation, Kommunikation und Marketing

- Um die Akzeptanz der EE-Erzeugung zu erhöhen, wird ein transparenter und partizipativer Ansatz von der Planung bis zum Betrieb neuer Anlagen empfohlen. Strategien und Aktionspläne sollten auf partizipative Weise entwickelt werden. Auch Marketing- und Kommunikationsmaßnahmen, wie sie von PKT Gdynia und WL durchgeführt werden, können das Verständnis für die wirtschaftlichen und sozialen Vorteile der Integration erneuerbarer Energien fördern. PKT verteilte in Bussen Modellbaubögen mit relevanten Informationen über ihr Pilotprojekt (siehe Abbildung unten), und WL produzierte ein Video über das Pilotprojekt¹².

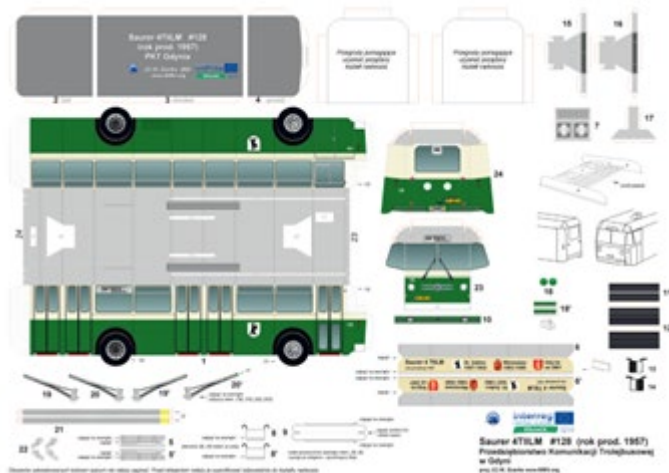


Abbildung 8: Modellbaubogen für Passagiere, um über sein Pilotprojekt zu informieren, mit dem Energie-Wechselrichter auf der Rückseite.
Quelle: PKT.

Zuerst Ihre eigene Flotte aufladen

- Aufgrund der derzeitigen rechtlichen Hindernisse in den meisten europäischen Ländern ist es für ÖPNV-Betreiber sehr schwierig, Energie an Dritte weiterzuverkaufen. Daher ist es empfehlenswert, den eigenen Fuhrpark wie Dienstwagen oder Busse aufzuladen, da dies keine komplizierten Mess- und Abrechnungsvorgänge erfordert.

¹² <https://youtu.be/K6Q0x2-y-Vs>



Foto: Rupprecht
Consult

Erforderliche rechtliche und regulatorische Maßnahmen

- Wenn ÖPNV-Unternehmen ihre Bahnstromversorgungssysteme für Dritte „öffnen“, z. B. wenn sie vom reinen Stromverbraucher zum aktiven Teilnehmer am Energiesystem werden, sind sie oft mit Anforderungen an komplexe Abgrenzungen und Messungen konfrontiert. Steuervergünstigungen und Subventionen des ÖPNV werden nur für das Kerngeschäft Verkehr gewährt, nicht für den Verkauf von Energie. Eine praktische Lösung könnte darin bestehen, die Installation von Zählern zur Messung der an Dritte verkauften Energie zu verlangen, die wiederum von der privilegierten Energiemenge abgezogen werden könnte¹³.
- Die Massenproduktion von Wechselrichtern muss gefördert werden, um sie für den öffentlichen Verkehr erschwinglich zu machen. Um den Strom von Gleichstrom in Wechselstrom und umgekehrt umzuwandeln, werden Wechselrichter benötigt, wie sie von PKT zur Rückgewinnung und Speicherung von Bremsenergie eingesetzt werden. Da es sich noch immer um ein seltenes Nischenprodukt handelt, sind Ladestationen, die aus dem Stromnetz gespeist werden, teurer als normale Ladestationen.
- Regulierungsmaßnahmen sollten auf eine angemessene Vergütung der mit der V2G-Technologie erbrachten Dienstleistungen abzielen, die den Batterieverbrauch der Fahrzeuge kompensieren und neue Geschäfte ermöglichen.

Umweltfreundliche und innovative Beschaffung: Erleichterung durch Internalisierung der externen Kosten

- Bei Ausschreibungen für die Stromlieferung für den lokalen ÖPNV ist die Forderung nach erneuerbaren Energien aufgrund der möglicherweise höheren Kosten, die durch die von den Unternehmen verfolgte Umweltpolitik verursacht werden, von entscheidender Bedeutung. Eine effiziente Elektrifizierung setzt einen fairen Wettbewerb zwischen den Energieträgern voraus, was eine gründliche Überprüfung der Maßnahmen zur Energiebesteuerung erfordert. Die wichtigsten Maßnahmen sollten die Subventionen für fossile Brennstoffe reduzieren oder abschaffen, unter anderem durch gut konzipierte Tarife und die Berücksichtigung externer Umweltauswirkungen.
- Die Marktstruktur muss überarbeitet werden, um eine stärkere Durchdringung mit erneuerbaren Energien im ÖPNV zu begünstigen. Dabei sollten Technologien für erneuerbare Energien als wichtige strategische Wertschöpfungsketten anerkannt und Stromabnahmeverträge mit Unternehmen für erneuerbare Energien gefördert werden, um die nachfrageseitige Beteiligung zu stärken.



Abbildung 9: Energiemanagement bei den LVB, Quelle: Mobilissimus.

¹³ Diese Empfehlung bleibt bestehen, wie sie bereits im [Eliptic-Projekt](#) von den EfficienCE-Partnern LVB, Maribor und Gdynia entwickelt wurde: [Empfehlungen zur Eliptic-Strategie](#), S. 27.

3. Mehrzwecknutzung der ÖPNV-Infrastruktur ermöglichen

Mehrzwecknutzung der ÖPNV-Infrastruktur bedeutet, dass bestehende oder neue ÖPNV-Infrastruktur (z. B. Straßenbahn, U-Bahn oder Trolleybus) zum Aufladen verschiedener E-Fahrzeugtypen genutzt wird. Unter dem Gesichtspunkt der Kreislaufwirtschaft reduziert sie den Energie- und Ressourcenverbrauch und verlängert die Lebensdauer der bestehenden Infrastruktur. Sie bringt auch klare wirtschaftliche Vorteile durch geringere Investitionskosten, da nicht jeder Fahrzeugtyp eine eigene Ladeinfrastruktur benötigt. Sie trägt dazu bei, den Raum durch gemeinsame Ladeknoten mit konsolidiertem Energiebedarf effizienter zu nutzen. Die Mehrzwecknutzung der ÖPNV-Infrastruktur führt zu neuen Betriebs- und Geschäftsmodellen, die ein Überdenken der Systeme und eine Koordinierung mit den Stakeholdern erfordern, die die ÖPNV-Betreiber zuvor möglicherweise nicht in Betracht gezogen haben.

3.1 Was die EfficienCE-Partner getan haben

Drei Aktionspläne und zwei Pilotprojekte zur Steigerung der Mehrzwecknutzung der ÖPNV-Infrastruktur wurden vom ÖPNV-Unternehmen Plzeňské městské dopravní podniky (PMDP, CZ), der Stadt Maribor (SL) und der ÖPNV-Behörde Budapesti Közlekedési Központ (BKK, HU) entwickelt und umgesetzt.

In Pilsen ist es ein erklärtes SUMP-Ziel, den ÖPNV weiter zu elektrifizieren, indem das Straßenbahn- und Trolleybusnetz erweitert wird, mit der Aussicht, auch das funktionale Stadtgebiet (FUA) abzudecken und dabei Dieselbusse durch Batterie-Trolleybusse zu ersetzen. Dies führt zu einem Anstieg des Stromverbrauchs und teilweise zu Einschränkungen der Stromversorgung. Das Ergebnis ist eine Spannungsreduzierung in den Oberleitungen, wenn die Last höher ist, was Ausfälle zur Folge hat. Um die Spannungsabfälle auf der Buslinie #11 durch die Einführung eines Batterie-Trolleybusses zu begrenzen, testete PMDP eine Batterie-Pufferspeicherstation (BS). Die BS wurde direkt im problematischen Oberleitungsabschnitt eingesetzt, basiert auf Hochleistungsbatterien und intelligenter Computersteuerung und erfordert weder eine externe Stromversorgung noch umfangreiche Baumaßnahmen.

Insgesamt trug die Station dazu bei, die Stromnachfrage auszugleichen, indem sie in Spitzenzeiten Strom lieferte und in Schwachlastzeiten elektrische Energie speicherte. Dies machte das PMDP-Trolleybus-Stromnetz intelligent und stabiler, indem es durch Ausgleich der Schwankungen im Trolleybus-Stromnetz eine zusätzliche Stromversorgung für batteriebetriebene Trolleybusse bietet, wenn batteriebetriebene Fahrzeuge aufgeladen werden müssen. Das Pilotprojekt unterstützte den Ersatz von 2 Dieselbussen auf der Buslinie, was voraussichtlich zu einer jährlichen Verringerung des Dieselverbrauchs um 112.000 l oder 295 t CO₂ sowie zu einer geringeren Lärm- und Luftverschmutzung führen würde.

Im Rahmen des Projekts wurde festgestellt, dass eine BS eine Alternative zum Bau klassischer Bahnstromgleichrichter-Umspannstationen und ein Ort für den Einsatz von wiederverwendeten Batterien sowie von PV-Paneelen sein kann. Die Lösung ist übertragbar auf alle Betreiber von Trolleybussen oder Straßenbahnen, die ihr Stromversorgungsnetz stärken müssen, indem sie bei hoher Belastung Spannungseinbrüche vermeiden¹⁴.



Abbildung 10: PMDP testete eine Pufferspeicherstation mit einem IMC-Trolleybus als Ersatz für Dieselbusse. Quelle: PMDP.

¹⁴ Transnational Handbook on EfficienCE pilots & best practices for energy-efficient PT infrastructure, O.T3.4 Pilot factsheet BS, O.I4 investment factsheet BS, D.T3.4.3 Pilot evaluation report BS

PMDP bezog höhere Planungsebenen aus Pilsen ein, die die Bewertungsergebnisse zur Aktualisierung ihres SUMP nutzten. Die Projektergebnisse verbessern somit die Energieeffizienz im Pilsner ÖPNV durch den Nachweis von Netzstabilisierungsmaßnahmen, die eine weitere Elektrifizierung der Flotte durch Batterietechnik in Trolleybussen, die Erweiterung zusätzlicher Trolleybuslinien und die allgemeine Erhöhung des Fahrkomforts in Trolleybussen unterstützen¹⁵.

Die Stadtverwaltung von Maribor investierte in die Modernisierung einer bestehenden Seilbahnstation und integrierte eine Schnellladestation für E-Busse¹⁶. Dies ermöglicht die Nutzung des Stroms aus der Seilbahnstation sowohl für den Betrieb der Seilbahn als auch für das Aufladen eines E-Busses. Die Investition wird als Vorzeigeprojekt für eine Mehrzweck-ÖPNV-Infrastruktur dienen, nicht nur in Maribor, sondern in ganz Mitteleuropa. Durch die Unterstützung der Elektrifizierung einer Buslinie mit E-Bussen trägt das Pilotprojekt zu (jährlich) 190 t weniger CO₂-Emissionen, 40 % weniger Lärm, 80 % weniger Energiekosten, geringerem Wartungsaufwand, kurzen Ladezeiten (5 Minuten für eine Ladung mit 12 kWh) und einer Amortisierung der Investitionen innerhalb von 8 Jahren bei.



Abbildung 11: Demonstration der Funktionsweise des Stromabnehmers in Maribor

Aufgrund des hohen Replikationspotenzials in Maribor für kosteneffiziente Nachrüstungen der Umspannwerke trägt das Pilotprojekt zum Ausbau der Mehrzweckinfrastruktur des ÖPNV in der Stadt bei. Daher entwickelte die Stadt für ihren Aktionsplan eine Hierarchie für die Elektrifizierung der Strecken mit einer Analyse der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit der Lösungen. Der Aktionsplan unterstützt das strategische Ziel, den ÖPNV bis 2030 vollständig zu elektrifizieren, wie es in Maribors SUMP, SULP¹⁷ und dem kommunalen Energiekonzept festgelegt ist. Es enthält Maßnahmengruppen wie Mobilitäts- und Logistikknotenpunkte, Integration mit der Bahn, Energiespeicherungs- und PV-Lösungen, die in SUMP-Maßnahmen integriert werden sollen (z. B. Buspriorität, freier Einstieg)¹⁸. Die Umsetzung von detaillierten Maßnahmen und Investitionen wird bis 2027 zu einer Verringerung der Treibhausgas- und Lärmemissionen um 20 % und der Energiekosten um 25 % führen.

BKK¹⁹, die ÖPNV-Behörde in Budapest, entwickelte eine Elektrifizierungsstrategie mit Szenarien, um ihr Ziel der vollständigen Elektrifizierung des ÖPNV bis 2050 zu erreichen. Der Partner untersuchte seinen zukünftigen ÖPNV-Infrastruktur- und Energiebedarf parallel zur Entwicklung der Budapester Fahrzeugstrategie (z. B. für Straßenbahnen, U-Bahnen, E-Busse inkl. Brennstoffzelle, Trolleybusse) unter Berücksichtigung der angenommenen sozioökonomischen und räumlichen Entwicklung. In einem Konsultationsprozess mit den lokalen Stakeholdern ermittelte BKK Trends, Fahrzeuggruppen und Kosten und plant weitere Studien, um speziell Depots, Ladepunkte und die Beschaffung zu planen.



Abbildung 12: BKK entwickelte einen Aktionsplan zur Dekarbonisierung ihres ÖPNV-Systems. Quelle: BKK.

15 D.T1.2.3 Action Plan PMDP, O.T1.2.1 Output factsheet PMDP action plan, D.T1.1.3 Managerial approach on multipurpose PT infrastructure use

16 Transnational Handbook on EfficientCE pilots & best practices for energy-efficient PT infrastructure, O.T3.3 Pilot factsheet fast charger, O.I3 investment factsheet fast charger, D.T3.3.3 Pilot evaluation report

17 Sustainable Urban Logistics Plan

18 D.T1.1.3 Managerial approach multipurpose infrastructure, D.T1.2.3 Action Plan Maribor, O.T1.2.1 Output factsheet Maribor action plan

19 D.T1.2.3 Action Plan BKK, O.T1.2.1 Output factsheet BKK action plan, D.T1.1.3 Managerial approach on multipurpose PT infrastructure use

3.2 EfficienCE-Empfehlungen

In Systemen denken, um effizient und kosteneffektiv zu planen

- Herausfinden, ob das bestehende ÖPNV-Netz für die Mehrzwecknutzung genutzt - und erweitert - werden soll oder ob das gesamte ÖPNV-Netz für den Einsatz von E-Bussen oder Trolleybussen unter Berücksichtigung von Mehrzwecklösungen neu geplant werden soll. Bei der Planung sollten drei verschiedene Ziele berücksichtigt werden: erstens einen Netto-Null-Verkehr zu erreichen, zweitens die Energieeffizienz zu steigern und drittens dem Wachstum der Elektromobilität bei erschwinglichen Infrastruktur- und Energiekosten Rechnung zu tragen, indem neue Investitionen auf ein Minimum beschränkt werden.
- Bei verschiedenen Eigentümern von ÖPNV-Infrastrukturen im Rahmen Ihrer nationalen Vorschriften nach Unterstützung suchen, indem Sie sich mit Energieversorgern zusammenschließen, um die Energiekosten zu minimieren (z. B. haben größere Betreiber und Eisenbahnen in der Regel niedrigere Energiekosten, da sie einen hohen Verbrauch haben). Wenn möglich, nach Energieversorgern suchen, die grüne Energie anbieten.
- Ermittlung von Problemen wie Energieverlusten (Bremsenergie) oder dem Bedarf an zusätzlicher Energie/Verstärkung des Netzes für den Betrieb von E-Bussen (massives Problem für den Einsatz von E-Bussen in großem Maßstab). Ermittlung von Möglichkeiten, wie z. B. überschüssige Energie im Trolleynetz oder die Fähigkeit von Seilbahnunterstationen, zusätzliche Ladung in Form eines Ladeknotens mit leistungsstarken Ladestationen aufzunehmen.
- Szenarien erstellen, auch pessimistische Szenarien, wie z. B., dass die Netzbetreiber nicht in der Lage sind, zusätzliche Verbraucher, einschließlich E-Fahrzeuge, zu versorgen, und optimistische Szenarien, wie z. B. die Entwicklung von Technologien zur kosteneffizienten Nutzung von Bremsenergie mit innovativen Geschäftsmodellen (wichtig für die Entscheidungsfindung).
- Die Funktionen und die Flächennutzung überdenken, die es ermöglichen, verschiedene Mobilitätsfunktionen (z. B. Logistik, schwere Nutzfahrzeuge, ÖPNV-zentrierte Mobilitätsknoten) an gemeinsamen strategischen Standorten zu kombinieren, um den Energiebedarf zu konsolidieren und das Potenzial für die gemeinsame Nutzung der Infrastruktur zu erhöhen.

Öffentlicher Verkehr: Neue Geschäftsmodelle entwickeln

- Da die Nutzung von Ladeeinrichtungen durch Mehrzwecknutzung optimiert werden kann, müssen geeignete Geschäfts- und Verwaltungsmodelle ausgearbeitet werden, um eine effiziente Nutzung des Netzes und der Stromversorgung zu gewährleisten. Ermittlung von Einnahmequellen für finanzielle Nachhaltigkeit und Entwicklung neuer Geschäftsmodelle für ÖPNV-Betreiber.
- Einbindung der Endnutzer, um die Vorteile der sauberen Luft zu nutzen/zu vermarkten und Investitionen für den Ausbau des Ladenetzes anzuziehen.

Erforderliche rechtliche und regulatorische Maßnahmen

- Integrierte Ausschreibungen für die Planung, Lieferung und Installation des Systems - Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur - würden es den Teilnehmern an öffentlichen Ausschreibungen ermöglichen, eine Optimierung des gesamten Systems auf Grundlage der vom ÖPNV-Betreiber geforderten Leistung vorzunehmen und das Planungsrisiko des Systems auf die Lieferanten zu übertragen.
- Um die Integration von Elektrofahrzeugen und Infrastruktur in die Flotten des ÖPNV zu verbessern, scheint es notwendig, die derzeitigen Methoden des Zugangs zu Finanzmitteln zu überprüfen, indem sie auf Betriebsleasingverträge für integrierte Angebote von Fahrzeugen, Infrastruktur und Energie ausgeweitet werden und es den Betreibern ermöglicht wird, durch die Annahme von öffentlich-privaten Partnerschaften für Projekte zur Elektrifizierung von Buslinien ebenfalls Zugang zu Finanzmitteln zu erhalten.

Industrie: Unterstützung der Standardisierung, um Interoperabilität zu ermöglichen

- Bei innovativen Konzepten für In-Motion-Charging fehlen Normen und Vorschriften, die eine Interoperabilität zwischen den für Schienenfahrzeuge und E-Busse verfügbaren Systemen ermöglichen.

4. Gemeinsame Nutzung von Daten zur Planung einer energieeffizienten ÖPNV-Infrastruktur

Daten schaffen einen Mehrwert, da ihre Analyse zum Verständnis und zur Vorhersage z. B. des Fahrerhaltens, der Abnutzung der Infrastruktur und des aktuellen und künftigen Nutzerbedarfs beiträgt. Die Erzeugung, Speicherung und der Austausch von Daten zwischen den Stakeholdern, die durch Analysen zu Statistik oder maschinellem Lernen verarbeitet werden, können so zu Erkenntnissen und Vorhersagen führen, die zur Verringerung von Verschwendung, zur Verbesserung der Energieleistung, zur Instandhaltung der Infrastruktur und zu einem besseren Verständnis des künftigen Investitionsbedarfs beitragen.

4.1 Was die EfficienCE-Partner getan haben

Die Stadt Leipzig (DE) entwickelte zusammen mit den Leipziger Verkehrsbetrieben (LVB, DE) einen explorativen Anwendungsfall für die energieeffiziente Planung der ÖPNV-Infrastruktur, um ihre städtische Datenplattform (UDP, urban data platform) zu testen und weiterzuentwickeln. Es handelt sich dabei um ein Instrument, um die systematische Nutzung von Daten zwischen städtischen Dienststellen und Versorgungsunternehmen zu erleichtern, und zwar mit einem systematischen, vernetzten und standardisierten Ansatz für die gemeinsame Nutzung von Daten und einem Regelwerk. Während die allgemeineren Zielvorgaben die Verbesserung von Dienstleistungen und die Erhöhung der Lebensqualität durch die Verbindung von Datensilos waren, bestand das Ziel für den EfficienCE-Anwendungsfall darin, zu verstehen, wie die UDP zur Steigerung der Energieeffizienz der ÖPNV-Infrastruktur eingesetzt werden kann.

Für den Anwendungsfall wurden große Datenmengen von Bordcomputern und Raspberry PI-Sensoren in Straßenbahnen mit anderen Datenquellen verknüpft. Es wurden verschiedene Möglichkeiten untersucht, wie sich die aus den Datensätzen gewonnenen Erkenntnisse für die Infrastrukturplanung nutzen und nachhaltig in die Überwachungs- und Prozesssteuerungsarchitektur implementieren lassen.



Abbildung 13: Datenquellen für den EfficienCE-Anwendungsfall UDP

Konkret wurden Aussagen zum Energieverbrauch von Schienenabschnitten bei der Versorgung von Umspannwerken, zur Fahrzeitleistung, zur Schieneninfrastruktur und zu deren Auswirkungen auf die Straßenbahnleistung gemacht. Zur Ableitung von Kausalitäten wurden explorative datenwissenschaftliche Analysemethoden angewandt. Dies diente auch der wissenschaftlichen Validierung der verwendeten Daten und damit der Qualitätssicherung der Datenverarbeitung. Die daraus resultierenden Handlungsempfehlungen sind die Entwicklung einer Anwendung zur vorausschauenden Instandhaltung der Straßenbahninfrastruktur und weitere Methoden zur digitalen Verkehrsplanung²⁰. Leipzig nutzt die Ergebnisse in einem Folgeprojekt bei der Weiterentwicklung der UDP zu einem digitalen Zwilling²¹.

²⁰ D.T1.2.3 UDP use case Leipzig & LVB and O.T1.2.1 Output factsheet Leipzig & LVB UDP use case, D.T1.1.1 Managerial approach data-based planning and financing for energy-efficient PT infrastructure

²¹ [CUT project](#)

4.2 EfficienCE-Empfehlungen

Die Vorteile des Datenaustauschs können nur genutzt werden, wenn die größten Hindernisse in den Organisationen überwunden werden. Beispielsweise befinden sich die städtischen Datenbestände in vielen Organisationen nach wie vor in „Silos“, und der Datenaustausch findet nur von Fall zu Fall statt. Bei der Verbindung der Silos spielt der menschliche Faktor eine wichtige Rolle (fehlende Datenkompetenz, Bedenken hinsichtlich des Datenschutzes und der Risiken im Umgang mit sensiblen und personenbezogenen Daten). Ein weiteres Problem ist die mangelnde Bereitschaft der Marktteilnehmer, Daten auszutauschen (z. B. geben E-Bus-Anbieter nicht bereitwillig Sensordaten an Städte und ÖPNV-Anbieter weiter, selbst wenn diese für das Verständnis der Infrastruktur und des Wartungsbedarfs nützlich sind). Außerdem unterliegen kommunale Daten immer noch vielen verschiedenen Vorschriften und Kulturen für die Erhebung, Verarbeitung, Speicherung, Weitergabe und Veröffentlichung von Daten.

Die folgenden Empfehlungen können helfen, diese Hindernisse zu überwinden.

Kapazitäten aufbauen

- Schaffung eines Bewusstseins und Verbesserung von Talenten durch die Förderung von Datenkompetenz und Schulungen zu Hardware, Software, künstlicher Intelligenz und digitalen Zwillingen, um die Akzeptanz für datengestützte Überwachung und Entscheidungsfindung zu fördern.
- Die Einbindung von Experten kann nur dazu beitragen, den Prozess in Gang zu bringen. Der Wandel muss von den Organisationen selbst ausgehen und sich auf die „Koalition der Willigen“ stützen.

Politische Unterstützung gewinnen und Ziele definieren

- Eine politische Entscheidung ist der Ausgangspunkt für die Ausarbeitung einer UDP. So hat die Stadt Leipzig das Konzept und die Entwicklung ihrer UDP als eines ihrer strategischen Schwerpunktprojekte für 2019 definiert.
- Visionen und klare Ziele definieren, bei denen die UDP eingesetzt wird. So dient die Leipziger UDP der Umsetzung der Mobilitätsstrategie 2030 und unterstützt die Stadt, die von der Europäischen Kommission 2022 als Modellstadt ausgewählt wurde, dabei, bis 2030 klimaneutral zu werden.

Definieren, wie Wert geschaffen wird

- Leipzig hat beschlossen, dass der Wert der UDP darin besteht, die integrierte Stadtentwicklung durch die Erleichterung von Information, Planung, Steuerung und Simulation zu unterstützen, um die Systemleistung und Lebensqualität zu verbessern.

Ressourcen für die Entwicklung einer Datenstrategie bereitstellen

- Eine Datenstrategie legt fest, wie Daten gemeinsam genutzt werden sollen und enthält Standards für Dokumentation, Qualität, Infrastruktur, Sicherheit und Schutz, interne und externe Zugriffsregelungen sowie operative Ziele. Sie legt auch fest, wie mit Risiken umgegangen werden soll. Dies erfordert Ressourcen. Leipzig nutzt ein Folgeprojekt, um seine Datenstrategie weiterzuentwickeln und dabei auch auf das Know-how anderer Städte zurückzugreifen²².
- Bevor eine Strategie festgelegt wird, sollte eine interdisziplinäre und ressortübergreifende Kernarbeitsgruppe eingesetzt werden, die die Leitprinzipien der UDP festlegt und die oberste Führungsebene und die politischen Entscheidungsträger einbezieht. Diese Gruppe kann ein gemeinsames Verständnis über Mehrwerte, zentrale Begriffe, Leitprinzipien für die Datennutzung und ein grundlegendes Modell zur Steuerung definieren.
- Ihre Erkenntnisse und Rahmenbedingungen in ein Ziel- und Umsetzungskonzept übertragen, mit einem klaren Verständnis der Rollen und Aufgaben der einzelnen Akteure.

22 [CUT project](#)

Definieren, wie die Daten verwaltet und gemeinsam genutzt werden sollen

- Ermöglichung des öffentlich-privaten Datenaustauschs durch eine offene städtische Datenplattform.
- Eine strukturierte Datenerfassung auf Grundlage interoperabler Standards und Schnittstellen vorsehen und die kontinuierliche Aktualisierung der Daten gewährleisten. Die Verwendung von standardisierten Plattformen erleichtert den Prozess.
- Ein Ansatz für den Aufbau leistungsfähiger und bedarfsgerechter offener Datenplattformen besteht, unabhängig von künftigen Entwicklungen darin, alle Informationen so zu digitalisieren, dass die heterogenen Daten neu strukturiert und je nach Bedarf immer wieder verwendet werden können.
- Die Art der Hardware oder der Endgeräte darf dabei keine Rolle spielen.

Anwendungsfälle umsetzen, um Ihre UDP sichtbar zu machen

- Richten Sie für Ihre UDP ein Testlabor ein. Ausarbeitung von Anwendungsfällen, die den Mehrwert des Systems verdeutlichen und die besonderen Herausforderungen an die Echtzeitfähigkeit aufzeigen sollten (z. B. energieeffiziente Planung der ÖPNV-Infrastruktur zwischen kommunalen Behörden und Versorgungsunternehmen).

Sicherstellung des Datenzugriffs durch die vertikale und horizontale Struktur der Organisation

- Bereitstellung eines Betriebsmodells, das den wachsenden Herausforderungen in Bezug auf Flexibilität und Dynamik gerecht wird, wie sie beispielsweise durch IoT-Geräte entstehen. Etablierung eines dynamischen Datenflusses innerhalb der kommunalen Familie, so dass die im Anwendungsfall aufbereiteten Datenflüsse und Analyseergebnisse dauerhaft in die betrieblichen Prozesse integriert werden.
- Sicherstellen, dass alle Stakeholder der kommunalen Familie den Datenzugang über die UDP als Datendrehscheibe organisieren. Der Schwerpunkt sollte auf einem (vollständig) automatisierten Prozess mit dynamischer Verarbeitung einer Vielzahl von Informationen aus unterschiedlichen Datenquellen sowie deren Bereitstellung, Aggregation und vergleichenden Analysen (Benchmarking) liegen.
- Parallel dazu sollten das Rohdatenmodell und ggf. die Analyseergebnisse automatisch in die UDP zurückgeführt werden, um die gewonnenen Daten und Erkenntnisse den kommunalen Strukturen zur Verfügung zu stellen.

Erforderliche rechtliche und regulatorische Maßnahmen

- Es würde den ÖPNV-Behörden und -Anbietern helfen, eine energieeffiziente ÖPNV-Infrastruktur besser zu planen, wenn sie Sensordaten aus der Industrie, z. B. von E-Bus-Anbietern, nutzen könnten. Da einige Anbieter Daten zurückhalten, wäre eine gesetzliche Verpflichtung zur Weitergabe von Sensordaten an ÖPNV-Betreiber und Behörden eine große Hilfe.
- Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Ausschreibungsspezifikationen für die Beschaffung von E-Bussen so zu gestalten, dass der Datenaustausch für den Busanbieter von Vorteil ist (wie derzeit von der ATB Bergamo für die Beschaffung von 64 neuen Elektrobussen geplant).



Abbildung 14: 40,5 Mio. Datenpunkte mit 60 Attributen, die zu einem Datenmodell verarbeitet wurden, werden für den Anwendungsfall Dashboard-Visualisierung verwendet. Quelle: Leipzig.

5. Allgemeine Empfehlungen

Weitere, allgemeinere Empfehlungen für alle drei Themen sind:

Unterstützung auf lokaler Ebene schaffen

- Fangen Sie groß an, geben Sie nicht auf, und reservieren Sie Zeit und Ressourcen, um Unterstützung vor Ort zu erhalten.
- Beteiligen Sie sich an europäischen Projekten und lernen Sie bewährte Verfahren kennen. Stadtoberhäupter sagen eher „Ja“ zu einer neuen Idee, wenn die Finanzierung bereits (teilweise) gesichert ist.
- Zusammenarbeit mit benachbarten Regionen zur Kostenteilung.

Beschaffung

- Kommunizieren Sie vor der eigentlichen Ausschreibung ausgiebig mit der Industrie und den Städten, die die innovative Technologie bereits eingeführt haben, um Informationen für das Lastenheft zu sammeln.

Aufbau von Talenten

- Ressourcen und der Aufbau von Kapazitäten durch Schulungen sind von entscheidender Bedeutung für den Aufbau von Kompetenzen im Verkehrsökosystem (Neuplanung von Strecken, Nachfrageprognosen usw.) und im Energieökosystem (Ermittlung, wo überschüssige Energie verfügbar ist, effiziente Nutzung des ÖPNV-Netzes/der Umspannwerke, die derzeit nur für die Stromversorgung von Straßenbahnen, E-Bussen usw. genutzt werden)²³. LVB und WL haben Energiemanager und Energiemanagementabteilungen ausgebildet. Um andere beim Aufbau ähnlicher Kapazitäten zu unterstützen, hat EfficienCE zusammen mit LVB ein Kompetenzprofil und einen Lehrplan für Energieauditmanagement erstellt²⁴.

Bewertung vorsehen

- Wichtige Leistungsindikatoren (KPI) entwickeln, um den Fortschritt zu messen²⁵.

Ermöglichung von Interoperabilität, Standardisierung und neuen Geschäftsmodellen

- Interoperabilität und Standardisierung auf allen Ebenen des Ladevorgangs, einschließlich der physischen Verbindung zwischen Ladegeräten und Fahrzeugen, Kommunikationsprotokollen (ISO 15118-20, die zukunftsorientiert auch die V2G-Kommunikation abdeckt) zwischen Fahrzeug und Ladegerät sowie Zahlungsmodulen treiben die Konzepte der Integration erneuerbarer Energien, der Ladeknoten und der Mehrzwecknutzung der Infrastruktur voran.
- Die Gesamtheit der E-Busse kann zu einem „virtuellen Kraftwerk“ werden, das lokale Dienstleistungen für den Verteiler erbringt. Diese Technologie kann Unternehmen dabei helfen, Geld oder kostenlose Energie im Austausch für die erbrachte Ausgleichsleistung zu verdienen. Anreize könnten die Einführung solcher Technologien fördern.



Abbildung 15: Installation eines Schnellladegeräts in Maribor. Quelle: Stadt Maribor.

²³ EfficienCE handbooks for energy-efficient PT infrastructure technologies deployment (storage, multipurpose use, depots, pilots)

²⁴ D.T2.1.3 Competence Profile and Curriculum for Energy Audit Management

²⁵ D.T2.4.2 Final evaluation report

6. Ausblick: Auf dem Weg zu klimaneutralen öffentlichen Verkehrssystemen

Ein energieeffizienter ÖPNV ist für das Erreichen der Ziele der europäischen Klimapolitik, des Grünen Deals und der EU-Mission „Klimaneutrale und intelligente Städte“ von wesentlicher Bedeutung. Vor diesem Hintergrund werden die Umsetzung von EfficienCE-Aktionsplänen sowie die Ausweitung und Vervielfältigung von Pilotprojekten zur Erreichung dieser Ziele in den Partnerregionen beitragen.

Die Teilnahme an EfficienCE hat den Partnern geholfen, auf lokaler Ebene Sichtbarkeit und Unterstützung zu erlangen, um Maßnahmen für eine höhere Energieeffizienz in ihren ÖPNV-Infrastrukturen zu planen und umzusetzen. Dies zeigt den hohen Wert der transnationalen Zusammenarbeit und der Programme zum Aufbau von Kapazitäten wie Interreg CE. Aber noch mehr Wert wurde geschaffen, als Leipzig, Bergamo und Budapest von der Europäischen Kommission als drei der hundert „Mission“-Städte ausgewählt wurden, die besondere Unterstützung erhalten, um bis 2030 klimaneutral zu werden. Natürlich werden diese Partner ihre EfficienCE-Ergebnisse nutzen, um dieses Ziel zu erreichen.

Das Projekt bezog auch andere Regionen ein, z. B. Behörden und ÖPNV-Betreiber innerhalb und außerhalb Mitteleuropas, um Beiträge zu liefern, von ihnen zu lernen und mit ihnen zu diskutieren. Die Maßnahmen zur Kommunikation und zum Kapazitätsaufbau erreichten - und erreichen über die Online-Ressourcen noch immer - eine beträchtliche Anzahl von Teilnehmern²⁶.

Künftige transnationale Kooperationen könnten die Projektempfehlungen zur Überwindung der in diesem Dokument dargelegten verwaltungstechnischen, regulatorischen und rechtlichen Hindernisse für die Verwirklichung eines energieeffizienten ÖPNV aufgreifen und dadurch die schnelle Dekarbonisierung des ÖPNV in Mitteleuropa erleichtern.



Foto: PMDP

²⁶ More than 4.000 persons reached at targeted events (e.g., Green Week, EU week of regions). Ca. 350 persons participated at transnational trainings and EfficienCE e-course.

Referenzen

Polis, and Rupperecht Consult (2019): SUMP Topic Guide Electrification. Planning for electric road transport in the SUMP context. Weblink

Günter, H., Backhaus, W. (2018): Elliptic policy recommendations. Weblink

EfficienCE resources (on the EfficienCE website).

D.T1.1.2 Managerial approach on the integration of RES into PT infrastructure

O.T1.2 Output Factsheet Bergamo

D.T1.2.3 Action Plan Bergamo

O.T3.1 Pilot factsheet PV system

O.I1 Investment factsheet PV system

D.T3.5 Pilot factsheet energy audit tool

D.T3.4.3 Pilot evaluation report energy audit tool

O.I2 Investment factsheet inverter

O.T3.2 Pilot factsheet inverter

D.T3.2.3 Pilot evaluation report inverter

D.T1.1.3 Managerial approach on multipurpose PT infrastructure use

O.T1.2.1 Output factsheet Maribor action plan

D.T1.2.3 Action Plan Maribor

O.I3 Investment factsheet fast charger

O.T3.3 Pilot factsheet fast charger

D.T3.3.3 Pilot evaluation report fast charger

O.T1.2.1 Output factsheet PMDP action plan

D.T1.2.3 Action Plan PMDP

O.I4 investment factsheet BS

O.T3.4 Pilot factsheet BS

D.T3.4.3 Pilot evaluation report BS

O.T1.2.1 Output factsheet BKK action plan

D.T1.2.3 Action Plan BKK

D.T1.1.1 Managerial approach data-based planning and financing for energy-efficient PT infrastructure

O.T1.2.1 Output factsheet Leipzig & LVB UDP use case

D.T1.2.3 UDP use case Leipzig & LVB

D.T2.1.3 Competence Profile and Curriculum for Energy Audit Management

D.T2.4.2 Final evaluation report on the EfficienCE website

Transnational EfficienCE Handbooks for energy-efficient PT infrastructure technologies deployment storage, multipurpose use, depots, pilots and best practices - available in all CE languages)

EfficienCE toolkit

EfficienCE e-course

Andere Online-Ressourcen:

SUMP Online Guidelines | Eltis

<https://www.eea.europa.eu/ims/greenhouse-gas-emissions-from-transport>

<https://youtu.be/K6Q0x2-y-Vs>

Connected Urban Twins - Stadt Leipzig

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

