

# Leitlinien für die Entwicklung von Kreislaufstrategien im öffentlichen Nahverkehr

*Erfahrungen aus den CE4CE-Strategien und  
Aktionsplänen*



## Impressum

### Projekt

CE0100250 CE4CE - Infrastruktur des öffentlichen Verkehrs in Mitteleuropa - Erleichterung des Übergangs zur Kreislaufwirtschaft

### Kontakt

Leipziger Verkehrsbetriebe

Adresse: Georgiring 3, 04103 Leipzig, Deutschland

Web: <https://www.l.de/verkehrsbetriebe/>

E-Mail: CE4CE.Verkehrsbetriebe@L.de

### Finanziert durch

Interreg-Programm Mitteleuropa: <https://www.interreg-central.eu/>

### Autoren und Mitwirkende

Leventcan Er, Laura López, Ana-Maria Baston, Marcelian Handoko (Rupprecht Consult, Deutschland), Stefan Röhl, Conrad Jentzsch (Leipziger Verkehrsbetriebe, Deutschland), Jan Röhl (Kruch Railways, Österreich), Liliana Donato, Sara Biffi (ATB Bergamo, Italien), Gabriele Grea, Anja Seyfert (Redmint Impresa Sociale srl, Italien), Dominika Kowalkowska (PKA Gdynia, Polen), Agnieszka Szmelter-Jarosz, Marcin Wolek (Universität Danzig, Polen), Mitja Klemencic (Stadt Maribor), Danijel Hojski (Universität Maribor), Alexandra Scharzenberger, Marta Woronowicz (Verein trolley:motion, Österreich), Németh Zoltán Ádám, Gábor Jéga-Szabó (SZKT Szeged, Ungarn), Nikolett Csörgő (Mobilissimus Kft, Ungarn)

### Layout und Gestaltung

Danaja Dvornik (@\_studio\_kai\_) und Marcelian Handoko (Rupprecht Consult)

### Veröffentlichungsdatum

März 2026

### Urheberrecht

Das Urheberrecht an dieser Publikation liegt beim CE4CE-Projektkonsortium unter der Leitung der Leipziger Verkehrsbetriebe. Alle Bilder und Textelemente in dieser Publikation, für die eine Quelle angegeben ist, sind Eigentum der genannten Organisationen oder Personen.

## Abkürzungen

Abkürzungen	Bedeutung
KI	Künstliche Intelligenz
BESS	Batterie-Energiespeichersystem
BSR	Ostseeraum
CCC	Klimastadtvertrag
EN	Europäische Norm
eBRT	Elektrischer Schnellbusverkehr
ESG	Umwelt, Soziales und Unternehmensführung
EU	Europäische Union
GIS	Geografisches Informationssystem
ISO	Internationale Organisation für Normung
KPI	Leistungskennzahl
MR.pro®	Von der LVB verwendete Software/System für das Instandhaltungsmanagement
PV	Photovoltaik
SECAP	Aktionsplan für nachhaltige Energie und Klimaschutz
SMEA	Strategische Instandhaltungs- und Technikbewertung (methodischer Leitfaden im Zusammenhang mit Priorisierung/Risikomanagement)
SUMP	Planung für nachhaltige urbane Mobilität
ZEDAS	Softwaresystem für die Instandhaltung und das Anlagenmanagement im Schienenverkehr

## Abkürzungen der Partner

Abkürzung	Name des Partners
LVB	Leipziger Verkehrsbetriebe, Deutschland
PKA	Öffentlicher Busbetreiber in Gdynia, Polen
UG	Universität Danzig, Polen
SZKT	Szeged Transport Company, Ungarn
Kruch	Kruch Railways Innovations, Österreich
MOM	Stadt Maribor, Slowenien
UM	Universität Maribor, Slowenien
ATB	ATB Mobility Bergamo, Italien
Redmint	Sozialunternehmen Redmint, Italien
Mobilissimus	Mobilissimus Ltd., Ungarn
TM	Verein trolley:motion, Österreich
RUPPRECHT	Rupprecht Consult (consultant to LVB), Germany

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. AVOID-EXTEND-TRANSFORM-ENABLE (AETE)-Rahmenwerk. Bildnachweis: trolley:motion association	9
Abbildung 2. Der Energiesektor in der Circularity Compasss-Struktur	12
Abbildung 3. Infrastruktursektor in der Circularity Compasss-Struktur	16
Abbildung 4. Struktur des Circularity Compasses für den Schienenfahrzeugsektor	20
Abbildung 5. Strategischer Rahmen zur Unterstützung der Vision für öffentliches Verkehrsmittel in Maribor (SUMP).	25
Abbildung 6. Vision und strategische Ziele des Aktionsplans von Maribor	26
Abbildung 7. Wichtige Maßnahmen und Zeitplan für die Umsetzung in Maribor	27
Abbildung 8. Workshop für Interessengruppen zu Kreislaufwirtschaft und Energie im öffentlichen Verkehr. Bildnachweis: Stadt Maribor, CE4CE	28
Abbildung 9. Wichtigste Erkenntnisse aus Maribor	29
Abbildung 10. Vision und strategische Ziele des LVB-Aktionsplans	30
Abbildung 11. Schlüsselmaßnahmen in Leipzig	31
Abbildung 12. Wichtigste Erkenntnisse aus Leipzig	34
Abbildung 13. Photovoltaikanlage zur Stromversorgung der Oberleitungsbusse von Gdynia im Depot. Bildnachweis: CE4CE	35
Abbildung 14. Vision und strategische Ziele des Aktionsplans von Gdynia	36
Abbildung 15. Wichtige Maßnahmen und Umsetzungszeitplan für Gdynia	37
Abbildung 16. Wichtigste Erkenntnisse aus Gdynia	39
Abbildung 17. ATB Mobility Bergamo	40
Abbildung 18. Vision und strategische Ziele des Bergamo-Action Plans	41
Abbildung 19. Schlüsselmaßnahmen in Bergamo	41
Abbildung 20. Wichtigste Erkenntnisse aus Bergamo	43

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1. Wichtige Faktoren für Energiestrategien im öffentlichen Verkehr	14
Tab. 2. Wichtige Faktoren für Infrastrukturstrategien im öffentlichen Verkehr	18
Tab. 3. Wichtige Faktoren für Flottenstrategien im öffentlichen Verkehr	23

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	7
1. Einleitung in die CE4CE project	8
2. Strategien zur Verbesserung der Kreislaufwirtschaft im öffentlichen Verkehrssektor	9
2.1. Strategie zur Erfassung und optimalen Nutzung von Abwärme und erneuerbaren Energiequellen entlang neuer Lebenszyklus-Wertschöpfungsketten	11
2.2. Strategie zur Wertschöpfung und -rückgewinnung sowie zur Optimierung der Bereitstellung öffentlicher Verkehrsinfrastruktur entlang neuer Lebenszyklus-Wertschöpfungsketten	16
2.3. Strategie zur Wertsteigerung und -rückgewinnung sowie zur Optimierung der Bereitstellung von Schienenfahrzeugen/Fahrzeugen entlang neuer Lebenszyklus-Wertschöpfungsketten	20
3. Action Plans zur Bewältigung wesentlicher Herausforderungen im öffentlichen Nahverkehr	25
3.1. Action Plan zur Gewinnung und Nutzung von Abwärme aus Zügen sowie zur Aufladung gebrauchter Batterien mit erneuerbaren Energiequellen in Maribor, Slowenien	25
3.2. Action plan zur Optimierung der Infrastrukturversorgung durch minimalinvasive Instandhaltungsmaßnahmen in Leipzig, Deutschland maintenance work in Leipzig, Germany	30
3.3. Action plan zur Optimierung der Infrastrukturbereitstellung durch Zusammenarbeit und gemeinsame Nutzung zwischen öffentlichen Anbietern als Aktualisierung der kommunalen Strategie für Elektromobilität in Gdynia, Polen	35
3.4. Action plan zur Wertschöpfung in der Lieferkette und zur Optimierung der Fahrzeugauslieferung durch zirkuläre Beschaffung in Bergamo, Italien	40
4. Erkenntnisse und Empfehlungen	44
4.1. Erfahrungen aus dem Entwicklungsprozess der Strategien und Action Plans	44
4.2. Empfehlungen für die Maßnahmenumsetzungs	45
5. Schlussfolgerungen	47
6. Quellenangaben	48



## Zusammenfassung

Das Interreg-Central-Europe-Projekt CE4CE: Öffentliche Verkehrsinfrastruktur in Mitteleuropa<sup>1</sup> - Erleichterung des Übergangs zur Kreislaufwirtschaft förderte das Systemdenken im Bereich der Kreislaufwirtschaft bei Akteuren des öffentlichen Verkehrs aus mitteleuropäischen Ländern, um Abfall zu reduzieren und entlang neuer Lebenszyklen von Infrastruktur und Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs Mehrwert zu schaffen. Zu diesem Zweck entwickelte CE4CE gemeinsam Lösungen, die das Wissen und die Kapazitäten des Sektors erweitern, dazu beitragen, Hindernisse und Kosten abzubauen, und die Entwicklung neuer Dienstleistungen und qualifizierter Arbeitsplätze anstoßen. Ebenso wurden Strategien und Aktionspläne entwickelt, die politische Entscheidungsprozesse, das Lernen und den Austausch auf regionaler und transnationaler Ebene verbessern. CE4CE zielte darauf ab, Prinzipien der Kreislaufwirtschaft in den öffentlichen Verkehrssektor zu integrieren um Abfall zu reduzieren, die Effizienz des Sektors zu steigern und die Ökobilanz des öffentlichen Verkehrs zu verbessern.

Darüber hinaus arbeiteten Akteure aus dem öffentlichen Nahverkehr im Rahmen von CE4CE zusammen, um gemeinsam Prozesse und Lösungen als zentrale Wegbereiter für die Integration von Prinzipien der Kreislaufwirtschaft zu entwickeln und anzupassen, wie beispielsweise Konzepte zum Datenaustausch, neue und innovative Leitlinien für die Beschaffung, Produkt- und Geschäftsmodellentwürfe, erweiterte Lebenszyklusanalysen sowie Methoden zur Kosten-Nutzen-Analyse.

Das Projektkonsortium von CE4CE spiegelte die gesamte Wertschöpfungskette und die Systemperspektive des Verkehrssektors wider und umfasste 11 Projektpartner aus 6 mitteleuropäischen Ländern, darunter öffentliche Verkehrsbehörden/-betreiber, Industrie und Forschung sowie Interessengruppen. Um diese Zusammenarbeit zu erweitern, wurden assoziierte Partner wie die internationalen Netzwerke ICLEI, UITP und EIT Urban Mobility strategisch als Berater\*innen einbezogen, um die Kommunikationsreichweite und den Wissenstransfer der Projektergebnisse zu maximieren.

Einer der wichtigsten Erfolgsfaktoren des Projekts war die Zusammenarbeit zwischen Projektpartnern, assoziierten Partnern, externen Expert\*innen und Berater\*innen, die gemeinsam auf der Grundlage von Co-Creation und Peer-Reviews Ergebnisse entwickelten. Diese können vom öffentlichen Verkehrssektor in Europa angewendet werden, z. B. Pilotmaßnahmen und Lösungen wie das CE4CE Circularity Compass-Selbstbewertungstool für den öffentlichen Verkehr, die CE4CE Circularity Knowledge Platform, einen webbasierten Marktplatz für wiederverwendbare Komponenten, Strategien und Pilotmaßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz sowie Pilotprojekte, die Ansätze zum Mehrfachnutzung, Wiederverwendung und Recycling für den öffentlichen Nahverkehr demonstrieren. Jeder Partner brachte praktische Erfahrungen, Pilotaktivitäten und technisches Fachwissen in den Bereichen Energiesysteme, Infrastruktur und Fahrzeuge ein. Gemeinsam untersuchten sie lebenszyklusbasierte Ansätze, die die Ressourceneffizienz verbessern, die Lebensdauer von Anlagen verlängern, den Energieverbrauch optimieren und den Übergang zu kreislaforientierteren und nachhaltigeren öffentlichen Verkehrssystemen unterstützen.

*„Die Leipziger Verkehrsbetriebe legen großen Wert auf Kreislaufwirtschaft innerhalb des Unternehmens. Durch Initiativen wie das Interreg-Projekt CE4CE ist das Unternehmen in die Lage, Maßnahmen zur Optimierung und Digitalisierung des öffentlichen Nahverkehrs zu realisieren. Wir sind stolz darauf, ein Team von Fachleuten aus ganz Mitteleuropa auf einem gemeinsamen Weg voran zu führen, um die Prinzipien und Mechanismen der Kreislaufwirtschaft im öffentlichen Nahverkehr voranzubringen.*

***Und diese Reise wird hier nicht aufhören!”***

*-Stefan Röhl, Projektleiter CE4CE, Leiter der Abteilung Infrastruktur bei der LVB-*

<sup>1</sup> <https://www.interreg-central.eu/projects/ce4ce/>

## 1. Einleitung in die CE4CE project

Das vom Interreg-Programm „Mitteleuropa“ finanzierte CE4CE-Projekt förderte das Systemdenken im Bereich der Kreislaufwirtschaft bei Akteuren des öffentlichen Verkehrs aus mitteleuropäischen Ländern, um Abfall zu reduzieren und entlang neuer Lebenszyklen von Infrastruktur und rollendem Material Mehrwert zu schaffen. CE4CE zielte darauf ab, Prinzipien der Kreislaufwirtschaft in den öffentlichen Verkehrssektor zu integrieren und so Abfall zu reduzieren, die Effizienz in diesem Sektor zu steigern und die Ökobilanz des öffentlichen Verkehrs zu verbessern. Zu diesem Zweck entwickelte CE4CE gemeinsam Lösungen, die das Wissen und die Kapazitäten des Sektors erweitern, dazu beitragen, Hindernisse und Kosten abzubauen, und die Entwicklung neuer Dienstleistungen und qualifizierter Arbeitsplätze anstoßen, sowie Strategien und Aktionspläne, die die Politikentwicklung, das Lernen und den Austausch auf regionaler und transnationaler Ebene verbessern.

Der öffentliche Verkehrssektor steht derzeit vor wachsenden Herausforderungen in Bezug auf die Alterung der Infrastruktur, die Betriebssicherheit, die Kosteneffizienz und den Übergang zu nachhaltigeren und digitalisierten Praktiken. In diesem Zusammenhang zielten die CE4CE-Aktivitäten - namentlich Strategien, Aktionspläne, Pilotprojekte und Lösungen - darauf ab, die Kreislaufwirtschaft als Ganzes anzugehen, und umfassten Aspekte wie die Modernisierung von Instandhaltungsmanagementprozessen durch die Integration innovativer digitaler Werkzeuge, vorausschauende Instandhaltungsansätze, datengestützte Entscheidungsfindungsmethoden, die Zweitverwertung von Anlagen und die Beschaffung.

Dieses Handbuch wurde als praktisches Nachschlagewerk entwickelt, um Verkehrsunternehmen, Instandhaltungsleiter, technisches Personal und Projektbeteiligte dabei zu unterstützen, die im Laufe des Projekts erarbeiteten Methoden, Instrumente und gewonnenen Erkenntnisse zu verstehen und anzuwenden, um die Prinzipien der Kreislaufwirtschaft in eine Lebenszykluslogik für den öffentlichen Verkehr zu übertragen. Es unterstützt den Wissenstransfer und die Übertragung bewährter Verfahren auf andere öffentliche Verkehrssysteme und Organisationen, die die Effizienz, Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaftsität ihrer Prozesse verbessern möchten, einschließlich Planung, Beschaffung, Betrieb, Instandhaltung und Entsorgung. Es behandelt die Projektstrategien und Aktionspläne, die gemeinsam von den Projektpartnern unter Mitwirkung von unterstützenden Akteuren und Experten entwickelt wurden.

Für weitere Informationen zu den in diesem Dokument genannten Pilotprojekten und Lösungen wurde ein separates Handbuch erstellt, das auf der CE4CE-Projektwebsite öffentlich zugänglich ist.



## 2. Strategien zur Verbesserung der Kreislaufwirtschaft im öffentlichen Verkehrssektor

### 7 R-principles for circular public transport systems



© Trolley-Motion & Rupprecht Consult

Abbildung 1. AVOID-EXTEND-TRANSFORM-ENABLE (AETE)-Rahmenwerk. Bildnachweis: trolley:motion association

Der öffentliche Verkehr gilt weithin als Eckpfeiler nachhaltiger Mobilität. Doch während seine betrieblichen Emissionen im Allgemeinen niedriger sind als die des Individualverkehrs, werden im Lebenszyklus von Energiesystemen, Infrastruktur und Fahrzeugen nach wie vor erhebliche Umweltauswirkungen verursacht. Dazu gehören nicht nur der Ressourcenverbrauch und die Emissionen während des Betriebs, sondern auch die graue Energie und die Emissionen aus der Gewinnung und Verarbeitung von Rohstoffen, fossilen Brennstoffen sowie die Abfälle, die während der Herstellungs-, Bau-, Wartungs- und Entsorgungsphasen entstehen. Insbesondere stellen Materialien wie Stahl, Beton, Kupfer und kritische Rohstoffe, die in Infrastruktur, Fahrzeugflotten und Batterien verwendet werden, sowohl ökologische als auch strategische Herausforderungen für europäische Städte und Regionen dar.

Traditionelle lineare Modelle, die auf einer „Take-Use-Dispose“-Logik („Entnehmen-Nutzen-Entsorgen“ Logik) basieren, sind nicht mehr vereinbar mit den Zielen der Klimaneutralität, der Ressourcensicherheit und der langfristigen Finanzierbarkeit öffentlicher Verkehrssysteme. Recycling allein ist zwar unerlässlich, reicht jedoch nicht aus und wird nur am Ende des Lebenszyklus angewendet. Die CE4CE-Strategien übernehmen daher das Lebenszyklusmodell „Avoid-Extend-Transform-Enable“ (AETE) als gemeinsamen Rahmen für die Integration von Prinzipien der Kreislaufwirtschaft

in den öffentlichen Verkehr. Anstatt sich ausschließlich auf die Abfallwirtschaft zu konzentrieren, fördert der AETE-Ansatz eine systemische Perspektive, die darauf abzielt, den Ressourcenverbrauch zu minimieren, die Nutzung und Lebensdauer von Anlagen zu maximieren und die Voraussetzungen für kreislaufwirtschaftliche Praktiken in den Bereichen Planung, Beschaffung, Betrieb und Entsorgung zu schaffen. Durch diesen Rahmen wird Kreislaufwirtschaft zu einem strategischen Leitprinzip für Entscheidungen über den gesamten Lebenszyklus öffentlicher Verkehrssysteme hinweg.

Die CE4CE-Strategien reagieren auf diese Herausforderung, indem sie Prinzipien der Kreislaufwirtschaft in konkrete, sektorspezifische Ansätze für Energiesysteme, Infrastruktur und Fahrzeuge im öffentlichen Verkehr umsetzen. Sie zielen darauf ab, Verkehrsbehörden und -betreiber dabei zu unterstützen, von isolierten Kreislaufmaßnahmen zu systemischen, lebenszyklusbasierten Strategien überzugehen, die Abfall reduzieren, Ressourcen optimieren und langfristigen Wert schaffen.

### Ein gemeinsamer Rahmen: das AETE-Lebenszyklusmodell

Alle drei CE4CE-Strategien basieren auf einem gemeinsamen analytischen und operativen Rahmen: dem **AVOID-EXTEND-TRANSFORM-ENABLE** (AETE)-Lebenszyklusmodell für die Einführung der Kreislaufwirtschaft.

- **AVOID** konzentriert sich darauf, Abfall und Emissionen an der Quelle zu vermeiden, indem unnötiger Ressourcenverbrauch vermieden, der Material- und Energiebedarf gesenkt und fundierte Entscheidungen bei der Gestaltung und Planung getroffen werden.
- **EXTEND** zielt darauf ab, Werte zu erhalten, indem die Nutzungsdauer von Gütern durch Wartung, Reparatur, Sanierung, Wiederverwendung und Zweitverwertung verlängert wird.
- **TRANSFORM** befasst sich mit den End-of-Life-Phasen, indem es Recycling, Verwertung und verantwortungsvolle Entsorgung ermöglicht und sicherstellt, dass Materialien wieder in neue Wertschöpfungsketten integriert werden.
- **ENABLE** bezieht sich auf die übergreifenden Rahmenbedingungen, die Kreislaufwirtschaft ermöglichen, darunter Governance-Rahmenwerke, Beschaffungspraktiken, Digitalisierung, Standards, Kompetenzen und Zusammenarbeit entlang der Wertschöpfungsketten.

Die konsequente Anwendung dieses Rahmens in den Bereichen Energie, Infrastruktur und Schienenfahrzeuge gewährleistet die Kohärenz zwischen den Strategien und ermöglicht es den Städten, Synergien zu identifizieren, Kompromisse zu vermeiden und Maßnahmen mit der größten systemischen Wirkung zu priorisieren.

### Gesamtziele der CE4CE-Strategien

Zusammengenommen verfolgen die drei CE4CE-Strategien eine Reihe gemeinsamer übergeordneter Ziele:

- Reduzierung der eingebetteten und betrieblichen Umweltauswirkungen in öffentlichen Verkehrssystemen.
- Optimierung der Ressourcennutzung und Minimierung von Abfall über den gesamten Lebenszyklus der Anlagen hinweg.
- Verlängerung der Lebensdauer und Wertsteigerung von Anlagen des öffentlichen Nahverkehrs, wodurch die Gesamtbetriebskosten gesenkt werden.

Widerstandsfähigkeit und Autonomie durch Verringerung der Abhängigkeit von neuen und kritischen Rohstoffen.

- Förderung von Innovationen und neuen Wertschöpfungsketten, einschließlich Wiederverwendungsmärkten, Aufarbeitungsdienstleistungen und digitalen Lösungen.
- Unterstützung von Städten und Regionen bei der Umsetzung von Prinzipien der Kreislaufwirtschaft in umsetzbare, skalierbare Praktiken.

Diese Ziele spiegeln sich in jeder thematischen Strategie wider, wobei die spezifischen Merkmale und Herausforderungen von Energiesystemen, Infrastrukturanlagen und Schienenfahrzeugen berücksichtigt werden.

### EU-Rechtsrahmen zur Förderung von Kreislaufwirtschaft und Nachhaltigkeit

Die CE4CE-Strategien stehen in vollem Einklang mit dem sich weiterentwickelnden politischen und regulatorischen Rahmen der Europäischen Union für Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft und werden durch diesen gestützt. Zu den wichtigsten politischen Triebkräften gehören:

- Der Europäische Green Deal, der das übergeordnete Ziel der Klimaneutralität festlegt.
- Der EU-Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft, der Lebenszyklusdenken, Abfallvermeidung und Werterhalt fördert.
- Die Richtlinie über saubere Fahrzeuge (EU) 2019/1161, die emissionsarme und emissionsfreie Fahrzeuge im öffentlichen Verkehr fördert.
- Die EU-Batterieverordnung, die die Anforderungen an Nachhaltigkeit, Rückverfolgbarkeit, Wiederverwendung und Recycling von Batterien verschärft.
- Vorschriften und Leitlinien für umweltorientierte öffentliche Beschaffung / Green Public Procurement (GPP), die die Kreislaufwirtschaft in der Beschaffung unterstützen.

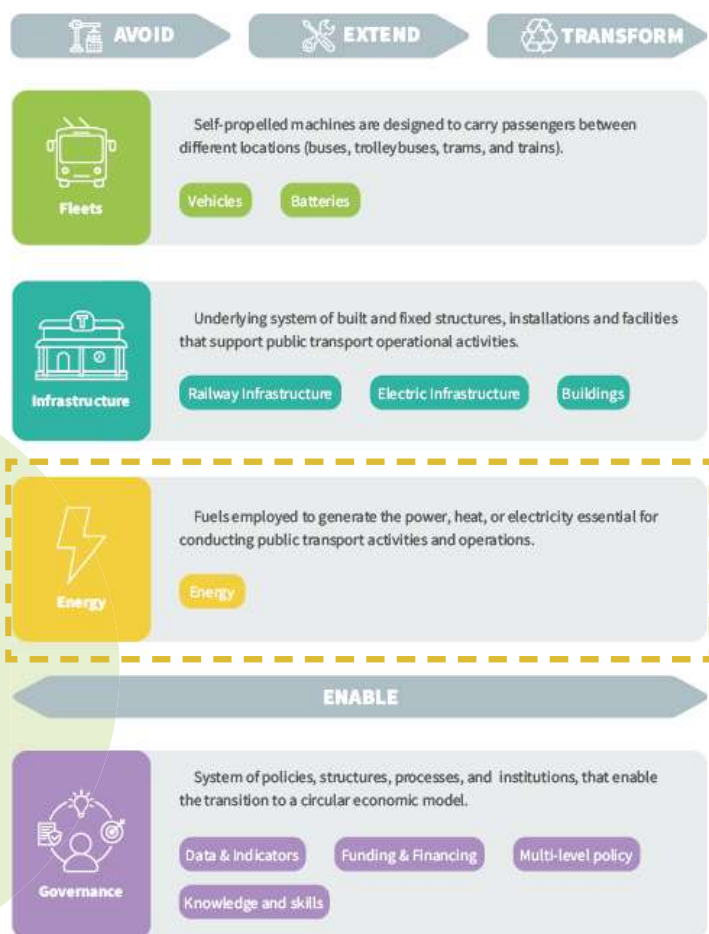
In diesem Zusammenhang bietet CE4CE praktische Leitlinien, um Akteuren des öffentlichen Verkehrs dabei zu helfen, die politischen Ziele der EU umzusetzen, Lücken zwischen Regulierung und Umsetzung zu schließen und lokale Aktionspläne mit den europäischen Nachhaltigkeitszielen in Einklang zu bringen.

## 2.1. Strategie zur Erfassung und optimalen Nutzung von Abwärme und erneuerbaren Energiequellen entlang neuer Lebenszyklus-Wertschöpfungsketten

Der Energieverbrauch ist einer der entscheidenden Hebel zur Verringerung des ökologischen Fußabdrucks öffentlicher Verkehrssysteme. Während die Elektrifizierung von Flotten die Abgasemissionen deutlich reduziert, hängen die Gesamtvorteile für Klima und Ressourcen stark davon ab, wie Energie über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg gewonnen, verwaltet, wiederverwendet und zurückgewonnen wird. Ein linearer Energieansatz, der auf zentraler, fossiler Stromerzeugung, ineffizienter Aufladung und der Entsorgung energiebezogener Anlagen basiert, birgt die Gefahr, dass Emissionen in vorgelagerte Bereiche verlagert werden und öffentliche Verkehrssysteme in ressourcenintensive Pfade gebunden werden.

### Konkrete Ziele der Strategie sind:

- Verringerung der Abhängigkeit von fossilen und kohlenstoffintensiven Stromquellen.
- Maximierung der Nutzung lokal erzeugter erneuerbarer Energie im öffentlichen Nahverkehr.



- Abfallenergie (z. B. regeneratives Bremsen, überschüssige erneuerbare Energie) auffangen und wiederverwenden.
- Verlängerung der Lebensdauer und Wertsteigerung energiebezogener Anlagen wie Batterien und Ladeinfrastruktur.
- Systemische Integration zwischen Akteuren aus den Bereichen Energie, Verkehr und städtische Infrastruktur ermöglichen.

### 2.1.1 Ansätze

Die Ansätze sollten die Energiestrategie in konkrete Maßnahmen umsetzen, die Akteure des öffentlichen Nahverkehrs in den Bereichen Planung, Beschaffung, Betrieb und Entsorgung umsetzen können. Die Elektrifizierung der Flotte bleibt der wichtigste Ansatzpunkt, sollte jedoch nicht als isolierte Lösung betrachtet werden. Entscheidungen über Elektrobusse sollten von Anfang

Abbildung 2. Der Energiesektor in der Circularity Compass-Struktur

an mit dem Ladestandort, den Streckenmerkmalen, dem Batterietyp, der Netzkapazität und der Verfügbarkeit erneuerbarer Energien verknüpft werden. Die Beschaffung kann eine Schlüsselrolle spielen, indem sie effiziente Ladesysteme, Kompatibilität mit offenen Standards, Zugang zu Daten über den Batteriezustand, modulare Komponenten sowie klare Regelungen für die Rücknahme, Wiederverwendung oder das Recycling von Batterien vorschreibt.

Die Ladeinfrastruktur sollte sich an den tatsächlichen betrieblichen Erfordernissen orientieren und nicht einheitlich im gesamten Netz angewendet werden. Das Aufladen über Nacht im Depot kann sinnvoll sein, wenn Busse über eine ausreichende Reichweite und längere Standzeiten verfügen, während Schnell- oder Gelegenheitsladen auf Strecken mit hoher Taktfrequenz und kurzen Haltezeiten helfen kann. Bei der Wahl sollten der Spitzenstrombedarf, die verfügbare Netzkapazität, räumliche Einschränkungen in der Stadt, die Kompatibilität von Ladegerät und Bus sowie die Auswirkungen der Lademuster auf die Batterielebensdauer berücksichtigt werden. Mehrzweck-Ladehubs können zudem die Effizienz der Infrastruktur verbessern, indem sie verschiedene Elektromobilitätsdienste über dasselbe System bedienen, Doppelungen reduzieren und den begrenzten städtischen Raum besser nutzen.

Intelligentes Laden und Energiespeicherung sollten genutzt werden, um die Belastung des Stromnetzes zu verringern und die Kosteneffizienz des Betriebs zu verbessern. Durch die Verlagerung des Ladens in Nebenzeiten, die Steuerung der Ladeleistung und den Einsatz stationärer Speicher während Spitzenlastzeiten können Betreiber Netzentgelte senken, Lastspitzen vermeiden und den Bedarf an kostspieligen Netzausbauten verringern. Speichersysteme können zudem die Versorgungssicherheit unterstützen, indem sie in Zeiten hoher Nachfrage oder bei Netzengpässen als Puffer dienen. Soweit technisch und





rechtlich machbar, können ausgediente Batterien für stationäre Speicheranwendungen in Depots oder an Ladepunkten weiterverwendet werden, wodurch ihr Wert vor dem Recycling verlängert wird.

Die Integration erneuerbarer Energien sollte in Depots, an Ladestationen und anderen geeigneten Einrichtungen des öffentlichen Nahverkehrs priorisiert werden. Solarenergie ist besonders relevant, da sie auf bestehenden Gebäuden oder Verkehrsinfrastrukturen installiert und mit Speichersystemen kombiniert werden kann, um die Nutzung vor Ort zu steigern. So kann überschüssiger Strom aus erneuerbaren Energien gespeichert und später zum Laden von Bussen genutzt werden, was die Abhängigkeit von zentral erzeugtem Strom aus fossilen Brennstoffen verringert. Bei der Planung von Systemen für erneuerbare Energien sollten die verfügbare Fläche, die lokale Sonneneinstrahlung, der Wirkungsgrad der Wechselrichter, Verschattungen, der Wartungsaufwand sowie die Übereinstimmung zwischen Erzeugungsmustern und Ladebedarf berücksichtigt werden. Die Rückgewinnung von Abwärme sollte dort geprüft werden, wo bestehende Verkehrssysteme nutzbare Energieflüsse erzeugen. Durch regeneratives Bremsen in Bahn-, Straßenbahn- und U-Bahn-Systemen kann Energie zurückgewonnen werden, die sonst verloren ginge, und innerhalb des Netzes wiederverwendet, gespeichert oder möglicherweise für andere Ladezwecke umgeleitet werden. Solche Lösungen sind am effektivsten, wenn die technische Infrastruktur, die Speicherkapazität und die rechtlichen Rahmenbedingungen eine effiziente Erfassung und Umverteilung der zurückgewonnenen Energie ermöglichen.

Das Management am Ende der Lebensdauer sollte geplant werden, bevor Batterien und Energieanlagen das Ende ihrer Nutzungsdauer erreichen. Batterien, die die Leistungsanforderungen von Fahrzeugen nicht mehr erfüllen, können möglicherweise noch für weniger anspruchsvolle stationäre Anwendungen geeignet sein; dies hängt jedoch von einer zuverlässigen Zustandsbewertung, Sicherheitsprüfungen und klaren Zuständigkeiten zwischen Betreibern, Herstellern, Recyclingunternehmen und Abfallentsorgungsunternehmen ab. Wenn eine Wiederverwendung nicht mehr möglich ist, sollte durch Recycling wertvolle Materialien zurückgewonnen und die Abhängigkeit von neuen kritischen Rohstoffen verringert werden. Digitale Batteriepässe, transparente Eigentumsregelungen, standardisierte Verfahren und die Zusammenarbeit entlang der gesamten Wertschöpfungskette sind unerlässlich, um die Wiederverwendung und das Recycling in großem Maßstab zu ermöglichen.

### 2.1.2 Wichtige Voraussetzungen

Die erfolgreiche Umsetzung von Strategien für eine Kreislaufwirtschaft im öffentlichen Verkehr hängt nicht nur von technischen Maßnahmen ab, sondern auch vom Vorhandensein von Rahmenbedingungen, die Koordination, Lernen und langfristigen Wandel unterstützen. Über Energiesysteme, Infrastruktur und Fahrzeuge hinweg identifizieren die CE4CE-Strategien vier sich gegenseitig verstärkende Förderbereiche: Digitalisierung, Governance, Innovation und Technologie.

 Digitalisierung	 Governance	 Innovation	 Technologie	 Weitere Wegbereiter
Einsatz von Energiemanagementsystemen zum Monitoring, Optimierung und Steuerung der Energieflüsse in Depots, Ladeinfrastruktur und Fahrzeugen.	Einbeziehung von Zielen im Bereich erneuerbare Energien und Kreislaufwirtschaft in Energie- und Verkehrsstrategien auf lokaler und regionaler Ebene.	Pilot- und Demonstrationsprojekte zur Erprobung neuer Energieintegrationsmodelle, wie z. B. lokale erneuerbare Energieerzeugung in Kombination mit Speicherung.	Einsatz von Technologien für erneuerbare Energien, insbesondere von in Depots und Ladeeinrichtungen integrierten Photovoltaikanlagen.	Kapazitätsaufbau für das Energiemanagement bei öffentlichen Verkehrsbehörden und Betreibern.
Einsatz intelligenter Ladelösungen, um Ladeprofile an die Verfügbarkeit erneuerbarer Energien, Niedertarifzeiten und Netzbeschränkungen anzupassen.	Nutzung öffentlicher Beschaffungs- und Energieversorgungsrichtlinien zur Priorisierung von Strom aus erneuerbaren Energien und kohlenstoffarmen Energieträgern.	Erprobung von Lösungen zur Rückgewinnung und Wiederverwendung von Energie, einschließlich regenerativem Bremsen und stationärer Speicherung.	Einsatz von Energiespeichersystemen, einschließlich stationärer Speicher und Second-Life-Batterien.	Zugang zu Finanzmitteln und Finanzierungsinstrumenten zur Unterstützung von Investitionen in erneuerbare Energien und Speichertechnologien.
Einsatz von Echtzeit-Monitoring und Datenanalyse zur Verbesserung der Energieeffizienz und zur Erkennung von Verlusten.	Aufbau langfristiger Energiepartnerschaften mit Versorgungsunternehmen und Netzbetreibern.	Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen, Energieversorgern und Technologieentwicklern zur Erprobung innovativer Lösungen.	Einführung von regenerativen Brems- und Energierückgewinnungssystemen im Elektro- und Schienenverkehr.	Verfügbarkeit von Standards und Richtlinien für Energieeffizienz, Lade- und Speichersysteme.
Einsatz digitaler Tools zur Monitoring der Batterieleistung und -alterung, um eine optimale Nutzung und Verlängerung der Lebensdauer zu unterstützen.	Anpassung an EU- und nationale Energie- und Klimavorschriften, einschließlich der Ziele für erneuerbare Energien und der Emissionsminderungsziele.	Teilnahme an Brancheninitiativen und Plattformen zum Wissensaustausch, die sich mit Energieeffizienz und Elektrifizierung im öffentlichen Verkehr befassen.	Einführung effizienter elektrischer Antriebssysteme und optimierter Ladetechnologien.	Zusammenarbeit mit Akteuren aus den Bereichen Energie und Stromnetz, um die Systemintegration und Flexibilität sicherzustellen.
Entwicklung digitaler Modelle und Simulationen zur Unterstützung der Planung von Ladeinfrastruktur, Energiespeicherung und der Integration erneuerbarer Energien.	Klare Definition von Rollen und Verantwortlichkeiten für das Energiemanagement in den verschiedenen Organisationen des öffentlichen Verkehrs.	Nutzung der CE4CE-Pilotaktivitäten als Lernumgebungen, um Risiken zu reduzieren und die Übertragung auf andere Projekte zu unterstützen.	Einsatz ausgereifter, hocheffizienter Energieversorgungs-lösungen, wie z. B. Oberleitungsbusse und Laden während der Fahrt, wo dies sinnvoll ist.	Monitoringsrahmen und Indikatoren zur Erfassung der Energieeffizienz und der Ergebnisse im Bereich Kreislaufwirtschaft.
Integration von Energiedaten in umfassendere Flotten- und Betriebsmanagementsysteme.			Kontinuierliche Bewertung von Energietechnologien anhand von Leistungskriterien auf Lebenszyklus- und Systemebene.	

Tab. 1. Wichtige Faktoren für Energiestrategien im öffentlichen Verkehr

## 2.1.3 Good-Practice-Beispiel



### Good practice 1:

Schnellladen zur Maximierung der Betriebseffizienz und Kosteneinsparungen

Standort: Barcelona, Spain

Schwerpunkt: Reinforce energy efficient technology



Ladeinfrastrukturen an Bushaltestellen

Ziele: Einsatz einer Hochleistungs-Schnellladeinfrastruktur (400 kW) an Endhaltestellen, um die Abhängigkeit von großen Bordbatterien zu verringern, Energie- und Betriebskosten zu senken und zu zeigen, dass vollelektrische Buslinien ohne Diesel-Notstromversorgung zuverlässig betrieben werden können.

Herausforderungen:

- Aufrechterhaltung der Netzstabilität bei hohen Spitzenlasten
- Bewältigung thermischer Einschränkungen beim Schnellladen
- Sicherstellung der Kompatibilität von Ladegeräten und Busse mit den Herstellern
- Hohe Anschaffungskosten und logistische Komplexität der Hochleistungsinfrastruktur

Fazit: Der Einsatz von Schnellladegeräten mit hoher Kapazität führte zu Energiekosteneinsparungen von etwa 68 %, bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung der vollständigen Fahrplaneinhaltung und der betrieblichen Effizienz. Der Erfolg in Barcelona zeigt, dass Schnellladen die Betriebskosten erheblich senken und einen Elektrobusbetrieb mit hoher Nachfrage ohne größere Änderungen am Fahrplan ermöglichen kann. Städte mit dichten städtischen Routen und regelmäßigen Endhaltestellen können von strategisch platzierten Schnellladegeräten profitieren, die den Bedarf an überdimensionierten Batterien verringern und die Betriebszeit der Fahrzeuge erhöhen.

Quelle: TMB Barcelona Public Reports & ELIPTIC Deliverables. <https://www.sustainable-bus.com/electric-bus/solaris-delivers-three-articulated-urbino-electric-to-tmb-barcelona/>, <https://arquivo.pt/wayback/20201230033847/https://eliptic-project.eu/>



### Good practice 2:

Integration von Second-Life-Batterien und Solarenergie für das Laden von Bussen

Standort: Maribor, Slovenia

Schwerpunkt: Recycle energy in Storage System



Die Batteriebank

Ziele: Implementierung einer Batteriebank unter Verwendung von wiederverwendeten Second-Life-Batterien, die mit erneuerbaren Energiequellen (EE) betrieben wird, zur Unterstützung der Schnellladestation an der Haltestelle Vzpenjača.

Herausforderungen:

- Hohe Abhängigkeit von Netzstrom an der Schnellladestation
- Technische, regulatorische und wirtschaftliche Einschränkungen bei der Batterieintegration
- Sicherstellung einer stabilen Aufladung der E-Busse unter verschiedenen Betriebsbedingungen

Fazit: Durch den Einsatz von Second-Life-Batterien für das Laden von E-Bussen zeigt das Pilotprojekt in Maribor, wie Kreislaufwirtschaftsmodelle den Energieverbrauch optimieren, Kosten senken und die Effizienz des öffentlichen Nahverkehrs verbessern können. Diese Initiative dient als Blaupause für künftige Investitionen in eine nachhaltige städtische Verkehrsinfrastruktur

Quelle: [https://circularity4publictransport.eu/best\\_practice/use-of-used-batteries-to-store-energy-for-powering-a-fast-charger/](https://circularity4publictransport.eu/best_practice/use-of-used-batteries-to-store-energy-for-powering-a-fast-charger/)

## 2.2. Strategie zur Wertschöpfung und -rückgewinnung sowie zur Optimierung der Bereitstellung öffentlicher Verkehrsinfrastruktur entlang neuer Lebenszyklus-Wertschöpfungsketten

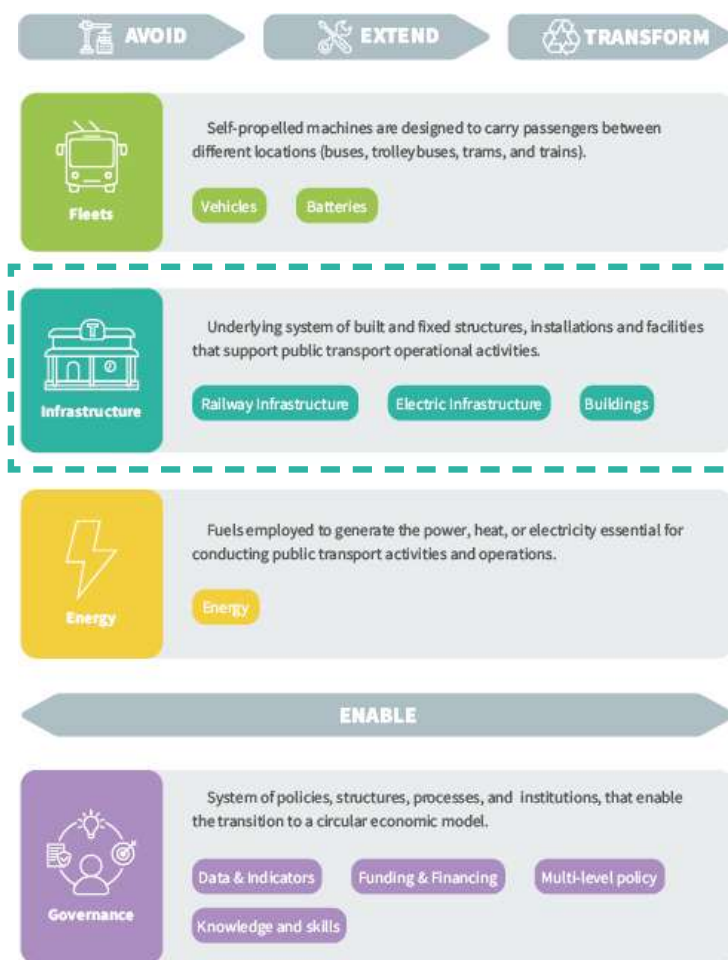


Abbildung 3. Infrastrukturektor in der Circularity Compass-Struktur

Öffentliche Verkehrsinfrastruktur wie Schienen, Bahnhöfe, Depots, Umspannwerke und Betriebsgebäude stellt eine der größten Quellen für eingebettete Emissionen und Materialverbrauch im Verkehrssektor dar. Emissionen und Umweltauswirkungen entstehen nicht nur während des Betriebs, sondern vor allem in den Phasen der Planung, des Baus, der Instandhaltung und am Ende der Lebensdauer durch die Verwendung kohlenstoffintensiver Materialien wie Beton, Stahl und Kupfer sowie durch lineare Bau- und Abbruchpraktiken.

Ein Kreislaufwirtschaftsansatz ermöglicht es öffentlichen Verkehrsbehörden und Betreibern, von der Erneuerung von Anlagen hin zur verantwortungsvollen Bewirtschaftung von Anlagen überzugehen, wodurch der Wert der Infrastruktur über lange Lebensdauern maximiert und gleichzeitig Abfall sowie Ressourcenverbrauch minimiert werden. Durch die Anwendung von

Kreislaufprinzipien über den gesamten Lebenszyklus der Infrastruktur - Planung, Bau, Betrieb, Instandhaltung und Stilllegung - kann die Infrastruktur des öffentlichen Verkehrs widerstandsfähiger, kosteneffizienter und ökologisch nachhaltiger werden.

Aufbauend auf dem CE4CE-Circularity compass und dem **AVOID-EXTEND-TRANSFORM-ENABLE** (AETE)-Rahmenwerk führt diese Strategie einen systemischen Ansatz für die Infrastruktur ein, der frühzeitige Planungsentscheidungen, Lebenszyklusoptimierung und wertschöpfungskettenübergreifende Zusammenarbeit in den Vordergrund stellt.

Konkrete Ziele der Strategie sind:

- Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks und des Materialverbrauchs bei neuen Infrastrukturprojekten.
- Verlängerung der Lebensdauer und des funktionalen Werts bestehender Infrastrukturanlagen.
- Wiederverwendung, Umnutzung und Recycling von Infrastrukturkomponenten zu ermöglichen.
- Verbesserung der Transparenz und Rückverfolgbarkeit von Materialien und Anlagen über den gesamten Lebenszyklus hinweg.
- Stärkung der Rolle des öffentlichen Beschaffungswesens und digitaler Instrumente bei der Förderung kreislaufwirtschaftlicher Ergebnisse.

## 2.2.1 Ansätze

Die Kreislaufstrategie für die öffentliche Verkehrsinfrastruktur verlagert den Fokus von linearen Bau- und Austauschzyklen hin zu einer langfristigen, verantwortungsvollen Bewirtschaftung von Anlagen und zur Optimierung ihres Werts über den gesamten Lebenszyklus. Infrastrukturen wie Gleise, Depots, Bahnhöfe und Umspannwerke verursachen erhebliche graue Emissionen, insbesondere durch CO<sub>2</sub>-intensive Materialien wie Zement und Stahl. Entscheidungen in der Planungs- und Entwurfsphase bestimmen daher die ökologischen und finanziellen Auswirkungen über Jahrzehnte hinweg. Die Integration von Kreislaufprinzipien in dieser Phase ermöglicht es Verkehrsbehörden und -betreibern, unnötigen Materialeinsatz zu vermeiden, Überdimensionierung zu reduzieren und langlebige, anpassungsfähige und modulare Lösungen zu priorisieren. Der Ersatz von Primärrohstoffen durch recycelte oder CO<sub>2</sub>-ärmere Alternativen und die Anwendung von Methoden der Ökobilanz (LCA) und der Lebenszykluskostenrechnung (LCC) unterstützen fundierte Investitionsentscheidungen, die Umweltleistung und wirtschaftliche Tragfähigkeit in Einklang bringen.

Während Bau und Betrieb wird die Verlängerung der Lebensdauer von Anlagen zum wirksamsten Hebel der Kreislaufwirtschaft. Präventive und vorausschauende Instandhaltung, unterstützt durch Sensoren, Datenanalysen und digitale Anlagenverwaltungssysteme, ermöglicht es Betreibern, Verschleiß frühzeitig zu erkennen und Interventionszyklen zu optimieren. Dies reduziert vorzeitigen Austausch, bewahrt den eingebetteten Wert und erhöht die Betriebssicherheit. Infrastrukturkomponenten wie Schienen, Schotter und elektrische Elemente können oft innerhalb von Netzwerken wiederverwendet oder für weniger anspruchsvolle Anwendungen umgenutzt werden. Die Stärkung dieser Praktiken erfordert die Koordination zwischen Betreibern, Infrastrukturmanagern und Lieferanten sowie klarere Anlagenbestandsaufnahmen und Zustandsmonitoringssysteme.

Um die Werterhaltung weiter zu fördern, können Gebrauchtmärkte und digitale Handelsplattformen die strukturierte Wiederverwendung von Komponenten über Netzwerke hinweg erleichtern. Transparente Qualitätsstandards und Rückverfolgbarkeitsmechanismen sind unerlässlich, um Vertrauen zwischen den Akteuren aufzubauen und die Wiederverwendung über Einzelfälle hinaus zu skalieren. Gleichzeitig sollten Beschaffungsstrategien die Abhängigkeit von Lieferanten und die begrenzte Verfügbarkeit von Ersatzteilen angehen, indem sie modulares Design, Reparierbarkeit und langfristige Wartungsverpflichtungen fördern.






Am Ende der Lebensdauer sollte der Wiederverwendung Vorrang vor dem Recycling eingeräumt werden. Während Metalle wie Stahl und Kupfer effektiv zurückgewonnen werden können, erfordern andere Materialien eine verbesserte Trennung, Logistik und Zusammenarbeit mit spezialisierten Recyclingunternehmen. Die Einbeziehung von Demontageaspekten bereits in der Entwurfsphase verbessert die zukünftigen Rückgewinnungsquoten. Wo eine Wiederverwendung nicht möglich ist, kann die Infrastruktur für alternative Funktionen umgenutzt werden, wodurch emissionsbedingte graue Emissionen vermieden und der strukturelle Wert erhalten bleiben.

Über alle Lebenszyklusphasen hinweg fungieren Beschaffung und Governance als zentrale Hebel. Durch die Einbettung von Kreislaufkriterien, Lebenszykluskosten und leistungsorientierten Anforderungen in Ausschreibungen und Verträge können öffentliche Behörden Einfluss auf Lieferketten nehmen und Innovationen fördern. Digitale Werkzeuge wie Building Information Modelling (BIM) und Materialverfolgungssysteme stärken die Lebenszyklus-Transparenz, unterstützen die Mengenoptimierung und erleichtern das

langfristige Anlagenmanagement. Schließlich hängt eine erfolgreiche Umsetzung vom Aufbau interner Kapazitäten und einer sektorübergreifenden Zusammenarbeit ab, die Akteure aus den Bereichen Verkehr, Bauwesen, Abfallwirtschaft und Energie miteinander verbindet. Zusammen ermöglichen diese Ansätze den Übergang von ressourcenintensiven Bauweisen hin zu widerstandsfähigen, wertbeständigen Kreislaufsystemen für Infrastruktur.

### 2.2.2 Wichtige Voraussetzungen

Die Kreislauftransformation der öffentlichen Verkehrsinfrastruktur erfordert mehr als nur technische Anpassungen; sie hängt von Rahmenbedingungen ab, die eine langfristige, lebenszyklusorientierte Entscheidungsfindung unterstützen. Digitale Werkzeuge,

 Digitalisierung	 Governance	 Innovation	 Technologie	 Weitere Wegbereiter
Einsatz von BIM für die Lebenszyklusplanung, Materialoptimierung und Design in Hinblick auf die Demontage.	Einbeziehung von Kreislaufwirtschaftszielen in die Infrastrukturplanung und in Investitionsstrategien für die Infrastruktur.	Pilotprojekte zur Wiederverwendung und Sanierung von Komponenten der Infrastruktur.	Einsatz von kohlenstoffarmen und recycelten Baumaterialien.	Schulung des Personals und interner Kompetenzaufbau des kreislauforientierten Infrastrukturmanagements.
Digitale Anlagenmanagementsysteme zur Monitoring von Zustand, Alter und Leistung.	Systematische Anwendung von LCC und LCA bei der Beschaffung und Projektbewertung.	Entwicklung von Second-Hand-Märkten und Tauschplattformen.	Modulare und standardisierte Infrastrukturkomponenten.	Zugang zu Finanzmitteln für Sanierungen und lebenszyklusbasierte Investitionen.
Tools zur vorausschauenden Instandhaltung (Sensoren, KI, Datenanalyse) zur Verlängerung der Lebensdauer der Infrastruktur.	Kriterien für eine kreislauforientierte Beschaffung, die Langlebigkeit, Modularität und Recyclingfähigkeit fördern.	Leistungsbasierte und dienstleistungsorientierte Vertragsmodelle.	Fortschrittliche Inspektions- und BauwerksMonitoringstechnologien.	Standardisierte Richtlinien für Wiederverwendung und Recycling.
Digitale Materialbestandslisten und -pässe zur Unterstützung von Wiederverwendung und Verwertung.	Klare Zuständigkeiten für die Phasen Instandhaltung, Sanierung und Entsorgung.	Zusammenarbeit mit Innovatoren aus Forschung und Bauwesen.	Effiziente Demontage- und Materialtrennverfahren.	Sektorübergreifende Zusammenarbeit zwischen Akteuren aus den Bereichen Verkehr, Bauwesen und Abfallwirtschaft.
Integrierte Datenplattformen zur Erfassung von Emissionen und Ressourcenverbrauch.	Anpassung an EU-Vorschriften in den Bereichen Abfall, Bauwesen und Klimaschutz.	Teilnahme an europäischen Netzwerken zum Wissensaustausch.	Erweiterbare und anpassungsfähige Infrastrukturkonzepte.	Monitoringsrahmen und Leistungsindikatoren.
Integrated data platforms to track embodied emissions and resource use.	Alignment with EU waste, construction and climate regulations.	Participation in European knowledge-sharing networks.	Upgradeable and adaptable infrastructure designs.	Monitoring frameworks and performance indicators.

Tab. 2. Wichtige Faktoren für Infrastrukturstrategien im öffentlichen Verkehr

Governance-Rahmenwerke, Innovationsökosysteme und geeignete Technologien schaffen die Grundlage für die Reduzierung eingebetteter Emissionen, die Verlängerung der Anlagenlebensdauer und die Verbesserung der Wertrückgewinnung. Die folgenden Wegbereiter bieten die strukturelle und organisatorische Unterstützung, die erforderlich ist, um Strategien für eine Kreislaufinfrastruktur effektiv und in großem Maßstab umzusetzen.

### 2.2.3 Good-Practice-Beispiel

#### Good practice 1:



Reuse use of carbon-intensive materials

#### Einsatz kohlenstoffarmer Materialien in Einrichtungen des öffentlichen Nahverkehrs

Standort: Neapel, Italien

Schwerpunkt: Refuse use of carbon intensive materials



Neapel Hauptbahnhof

Ziele: Verbesserung der architektonischen Qualität des Bahnhofs und Gewährleistung der strukturellen Stabilität und Langlebigkeit durch den Einsatz von Holz als primäres Bauelement. Dieses Material bietet strukturelle Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit bei gleichzeitiger deutlicher Verringerung des ökologischen Fußabdrucks. Darüber hinaus ermöglicht das geringe Gewicht von Holz eine schnellere Bauausführung, wodurch der Gesamtenergieverbrauch während der Montage reduziert wird.

Herausforderungen:

- Bedenken hinsichtlich Haltbarkeit und Brandschutz
- Das flexible Strukturverhalten erschwert die Gewährleistung einer zuverlässigen Ausrichtung und eines zuverlässigen Betriebs in Bahnhöfen mit Bahnsteigtüren.

Fazit: Dieses Projekt belegt, dass Städte durch die Integration von recycelten und kreislauffähigen Materialien wie Holz in die Infrastruktur des öffentlichen Nahverkehrs eine geringere CO<sub>2</sub>-Bilanz, eine höhere Ressourceneffizienz und eine verbesserte Nachhaltigkeit über den gesamten Lebenszyklus erzielen können.

Quelle: <https://www.arup.com/insights/material-change-can-timber-play-a-role-in-sustainable-rail-infrastructure>  
<https://www.archdaily.com/970506/new-images-reveal-embts-timber-central-station-in-naples>



Reuse spare parts and components

#### Good practice 2:

#### Wiederverwendung stark beanspruchter Oberleitungsschalter

Standort: Szeged, Ungarn

Schwerpunkt: Reuse spare parts and components



Trolleybus in Szeged

Quelle: <https://circularity4publictransport.eu/best-practice/demonstration-on-how-to-prolong-the-lifespan-of-electric-public-transport-infrastructure-reutilizing-heavily-used-trolleybus-switches-in-szeged-hungary/>

Ziele: Austausch der am stärksten beanspruchten Oberleitungsschalter an kritischen Stellen durch neue Einheiten und Verlegung der abgenutzten Schalter in weniger frequentierte Netzbereiche, namentlich in das Oberleitungsbusdepot in der Körtöltés utca, um deren Nutzungsdauer zu verlängern.

Herausforderung: Oberleitungsschalter unterliegen je nach Standort und Nutzungshäufigkeit unterschiedlichen Abnutzungsgraden.

Fazit: Das System profitiert sowohl von einer verbesserten Zuverlässigkeit an wichtigen Knotenpunkten als auch von einer verlängerten Nutzungsdauer wertvoller Materialien, mit dem Ziel, die typische Lebensdauer der Komponenten von 15-20 Jahren zu verdoppeln. Die Initiative reduziert Abfall und bietet ein skalierbares Modell für ein nachhaltiges Anlagenmanagement im öffentlichen Nahverkehr. Durch die Ausrichtung der Strategien zum Lebenszyklusmanagement von Anlagen auf die im Rahmen des CE4CE-Projekts geförderten Prinzipien der Kreislaufwirtschaft wird die Lösung aus Szeged auch eine Blaupause für andere Verkehrsbetreiber bieten, die ähnliche Strategien zur Wiederverwendung von Infrastruktur umsetzen möchten.

## 2.3. Strategie zur Wertsteigerung und -rückgewinnung sowie zur Optimierung der Bereitstellung von Schienenfahrzeugen/Fahrzeugen entlang neuer Lebenszyklus-Wertschöpfungsketten

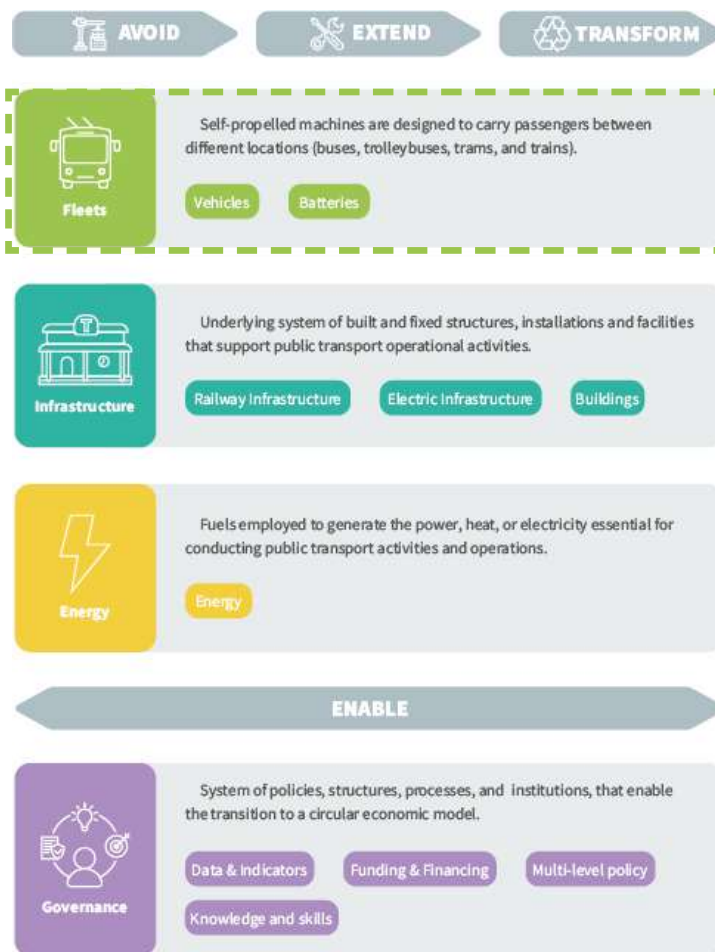


Abbildung 4. Struktur des Circularity Compasses für den Schienenfahrzeugsektor

Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs wie Busse, Oberleitungsbusse, Straßenbahnen und U-Bahn-Fahrzeugespielen eine zentrale Rolle bei der Dekarbonisierung von Mobilitätssystemen. Die Elektrifizierung schreitet in ganz Europa voran, doch ohne einen Kreislaufwirtschaftsansatz besteht die Gefahr, dass sich die Auswirkungen dieses Wandels nach vorgelagerten Bereichen verlagern, insbesondere durch den intensiven Einsatz von Rohstoffen, energieintensive Fertigungsprozesse und wachsende Abfallströme am Ende der Lebensdauer, vor allem bei Batterien und elektronischen Bauteilen

Ein Kreislaufwirtschaftsansatz ermöglicht es öffentlichen Verkehrsbetrieben (PTOs) und Verkehrsbehörden (PTAs), über reine Fahrzeuersatzzyklen hinauszugehen und stattdessen Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs als langfristige Wertanlagen zu verwalten. Durch die Einbeziehung von Lebenszyklusdenken in Beschaffung, Betrieb, Instandhaltung

und Stilllegung können Kreislaufstrategien eingebettete Emissionen reduzieren, die Lebensdauer von Fahrzeugen verlängern, die Ressourcennutzung optimieren und durch Wiederverwendung, Aufarbeitung und Second-Life-Anwendungen neue Wertströme schaffen.

Aufbauend auf dem CE4CE-Circularity compass und dem AVOID-EXTEND-TRANSFORM-ENABLE (AETE)-Rahmenwerk behandelt diese Strategie Fahrzeuge, Batterien und Instandhaltung als miteinander verbundene Teilsysteme und identifiziert die Beschaffung als den entscheidenden Hebel für systemischen Wandel

### Konkrete Ziele der Strategie sind:

- Minimierung der Material- und Energieauswirkungen bei der Fahrzeugkonstruktion und -produktion.
- Verlängerung der Betriebsdauer von Fahrzeugen und Schlüsselkomponenten.
- Wiederverwendung, Aufarbeitung und Umnutzung von Schienenfahrzeugen und Batterien zu ermöglichen.
- Verbesserung der Rückverfolgbarkeit und Verantwortlichkeit über den gesamten Lebenszyklus des rollenden Materials hinweg.
- Kriterien der Kreislaufwirtschaft in die Beschaffung und das Flottenmanagement integrieren

### 2.3.1 Ansätze

Die Kreislaufstrategie für Schienenfahrzeuge und Fahrzeuge konzentriert sich darauf, Busse, Straßenbahnen, U-Bahnen und deren Komponenten als langfristige Wertanlagen zu verwalten und nicht als Produkte mit kurzen Austauschzyklen. Die Elektrifizierung reduziert die Betriebsemissionen, doch die Herstellung von Fahrzeugen und Batterien ist nach wie vor ressourcenintensiv und von kritischen Rohstoffen abhängig. Ein kreislauforientierter Ansatz berücksichtigt daher den gesamten Lebenszyklus eines Fahrzeugs - vom Design über die Beschaffung bis hin zum Betrieb, zur Aufarbeitung und zur Entsorgung.

Der stärkste Hebel für kreislauforientierte Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs liegt in der Beschaffungs- und Fahrzeugdesignphase. Entscheidungen, die getroffen werden, bevor ein Fahrzeug in Betrieb geht, können seine Umweltleistung, den Instandhaltungsbedarf und die Optionen am Ende der Lebensdauer über Jahrzehnte hinweg bestimmen. Öffentliche Verkehrsbehörden und -betreiber können Kriterien der Kreislaufwirtschaft direkt in Ausschreibungsunterlagen integrieren, indem sie Lebenszykluskostenrechnung (LCC), Ökobilanzierung (LCA), modulare Fahrzeugarchitekturen, Reparierbarkeit, Aufrüstbarkeit, Austauschbarkeit von Batterien und eine hohe Rückgewinnbarkeit von Materialien verlangen. Für Elektrobusse und andere emissionsfreie Fahrzeuge können Beschaffungsvorgaben zudem die Haltbarkeit von Batterien, das Potenzial für eine Zweitnutzung, die Standardisierung von Komponenten, die Verfügbarkeit von Ersatzteilen sowie die Verantwortung der Hersteller für Rücknahme- oder Aufarbeitungssysteme berücksichtigen. Werden solche Anforderungen von Anfang an integriert, können Behörden vorzeitige Obsoleszenz vermeiden, den Ressourcenverbrauch senken und die Lebensdauer von Fahrzeugen verlängern. Dadurch verschiebt sich der Fokus bei Beschaffungsentscheidungen von den anfänglichen Anschaffungskosten hin zum Gesamtwert über den Lebenszyklus, zur betrieblichen Resilienz und zur langfristigen Umweltleistung. Beschaffungsabteilungen, Hersteller und Lieferanten spielen daher eine entscheidende Rolle, da vertragliche Anforderungen die Fahrzeugkonstruktion, Materialauswahl, Instandhaltungsmodelle und kreislauforientierte Geschäftspraktiken direkt beeinflussen. Leistungsbasierte und serviceorientierte Verträge können darüber hinaus Anreize für Langlebigkeit, Reparierbarkeit und Lebenszyklusoptimierung schaffen, statt einen frühzeitigen Austausch zu fördern.

Bei der Fahrzeugkonstruktion und Flottenplanung wird die Kreislaufwirtschaft gestärkt, indem unnötiger Materialverbrauch und Überdimensionierung vermieden werden. Die Optimierung der Batteriegröße, die Auswahl effizienter Antriebssysteme und die Wahl anpassungsfähiger Innenraumkonzepte reduzieren die eingebetteten Emissionen und verbessern die Betriebseffizienz. Digitale Simulationswerkzeuge, Flottenmodellierungssoftware und digitale Zwillinge unterstützen die Szenarioanalyse und den Technologievergleich und ermöglichen es den Behörden, betriebliche Anforderungen mit Ressourceneffizienz in Einklang zu bringen.

Die Verlängerung der Lebensdauer von Fahrzeugen und Komponenten stellt eine weitere wichtige Maßnahme dar. Präventive und vorausschauende Wartung, unterstützt durch On-Board-Diagnose, Sensoren und KI-basierte Monitoringssysteme, ermöglicht es Betreibern, Verschleißerscheinungen frühzeitig zu erkennen und einzugreifen, bevor Ausfälle auftreten. Modernisierungsprogramme wie die Überholung von Bussen oder Straßenbahnen zur Lebensmitte ermöglichen es, dass strukturelle Komponenten im Einsatz bleiben, während kritische Teilsysteme aktualisiert werden. Betreiber, Erstausrüster

und Wartungsdienstleister müssen eng zusammenarbeiten, um die Verfügbarkeit von Ersatzteilen, technische Dokumentation und langfristigen Support sicherzustellen.

Das Batteriemangement spielt bei Strategien für kreislaufwirtschaftlichen Schienenverkehr eine besonders zentrale Rolle. Batterien weisen andere Verschleißprofile auf als Fahrzeuge und können oft für die stationäre Energiespeicherung umgenutzt werden, sobald sie für den Antrieb nicht mehr geeignet sind. Die Etablierung von Second-Life-Anwendungen erfordert die Koordination zwischen Betreibern, Energieversorgern, Recyclingunternehmen und Technologieintegratoren. Digitale Batteriepass-Systeme und Tools zur Leistungsmonitoring verbessern die Rückverfolgbarkeit und erleichtern die Wiederverwendung, während die Einhaltung der sich weiterentwickelnden EU-Batterievorschriften strukturierte Verwertungs- und Recyclingwege unterstützt.


Am Ende ihrer Lebensdauer sollten Fahrzeuge und Komponenten so konzipiert und verwaltet werden, dass Demontage, Materialtrennung und hochwertiges Recycling erleichtert werden. Modularer Aufbau, reversible Verbindungen und klare Dokumentation verbessern die Verwertungsquoten und reduzieren Abfall. Die Zusammenarbeit zwischen Herstellern, Demontagebetrieben und Recyclingunternehmen ist unerlässlich, um Stoffkreisläufe zu schließen und wertvolle Metalle und Komponenten wieder in neue Produktionszyklen zu integrieren.

In allen Lebenszyklusphasen sind Governance und der Aufbau interner Kapazitäten von entscheidender Bedeutung. Strategien zur Flottenerneuerung sollten auf langfristige Klima- und Kreislaufwirtschaftsziele abgestimmt sein und durch transparente Leistungsindikatoren und Monitoringsrahmen unterstützt werden. Die Teilnahme an Branchennetzwerken und europäischen Initiativen ermöglicht es den Betreibern, Erfahrungen auszutauschen und die Verbreitung innovativer Ansätze zu beschleunigen.

Zusammengenommen wandeln diese Maßnahmen das Management von Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs von einem linearen Ersatzmodell in einen lebenszyklusbasierten Wertschöpfungskettenansatz um. Durch die Kombination von Beschaffungshebelwirkung, digitalen Tools, vorausschauender Instandhaltung, Batterie-Wiederverwendung und verantwortungsvollem End-of-Life-Management können öffentliche Verkehrsbehörden und Betreiber die Materialabhängigkeit verringern, die Lebenszykluskosten optimieren und die Resilienz beim Übergang zu klimaneutralen Mobilitätssystemen stärken.

### 2.3.2 Wichtige Voraussetzungen

Die Kreislaufwirtschaft im Schienenverkehr erfordert mehr als nur Verbesserungen in der Fahrzeugtechnik; sie hängt von strukturellen und organisatorischen Rahmenbedingungen ab, die eine Optimierung des Lebenszyklus ermöglichen. Digitale Werkzeuge, zukunftsorientierte Beschaffungskonzepte, Innovationspartnerschaften und geeignete technologische Entscheidungen bilden die Grundlage für die Verlängerung der Fahrzeuglebensdauer, die Wiederverwendung von Batterien und ein verantwortungsbewusstes End-of-Life-Management. Die folgenden Faktoren unterstützen Verkehrsverbände, Betreiber und Zulieferer dabei, Kreislaufwirtschaft über den gesamten Lebenszyklus des Fahrzeugs hinweg zu verankern.

 Digitalisierung	 Governance	 Innovation	 Technologie	 Weitere Wegbereiter
Einsatz von Digital Twins und Flottensimulationstools für die lebenszyklusbasierte Flottenplanung und den Technologievergleich.	Einbeziehung von Kriterien der Kreislaufwirtschaft in die Beschaffung von Schienenfahrzeugen, einschließlich Anforderungen an Haltbarkeit, Reparaturfähigkeit und Recyclingfähigkeit.	Pilotprojekte zur Erprobung von Anwendungen für die Zweitverwendung von Batterien und Wiederverwendungsmodellen.	Einführung eines modularen Fahrzeugdesigns, um Reparaturen, Upgrades und eine einfachere Demontage zu ermöglichen.	Kompetenzaufbau für Beschaffungs- und Wartungsteams im Bereich des zirkulären Fahrzeugmanagements.
Einsatz von On-Board-Diagnose- und vorausschauenden Wartungssystemen (Sensoren, KI, Datenanalyse) zur Verlängerung der Lebensdauer von Fahrzeugen und Komponenten.	Systematische Anwendung von Lebenszykluskosten (LCC) und Lebenszyklusanalysen (LCA) bei Entscheidungen zur Flottenerneuerung.	Entwicklung von Sanierungs- und Modernisierungsprogrammen für Busse und Schienenfahrzeuge in der Mitte ihrer Lebensdauer.	Einsatz energieeffizienter Antriebssysteme und regenerativer Technologien.	Zugang zu Finanzierungsmechanismen zur Unterstützung von Modernisierungs- und lebenszyklusbasierten Investitionen.
Einführung digitaler Asset-Management-Systeme zur Monitoring des Fahrzeugzustands und der Fahrzeugleistung.	Klare Zuweisung von Zuständigkeiten für Wartung, Modernisierung und die End-of-Life-Phasen.	Dienstleistungsorientierte und leistungsorientierte Vertragsmodelle, die auf Langlebigkeit ausgerichtet sind.	Einsatz moderner Batteriemanagementsysteme zur Optimierung von Leistung und Lebensdauer.	Standardisierte Richtlinien für die Reparatur, Wiederverwendung und das Recycling von Fahrzeugkomponenten.
Einführung digitaler Batteriepasses zur Verbesserung der Rückverfolgbarkeit, Wiederverwendung und Einhaltung gesetzlicher Vorschriften.	EU-Richtlinie über saubere Fahrzeuge, EU-Batterieverordnung).	Forschungsinstituten und Start-ups im Bereich Kreislaufwirtschaft bei der Fahrzeugkonstruktion.	Umsetzung von Prinzipien der demontagefreundlichen Konstruktion zur Verbesserung des Recyclings und der Materialrückgewinnung.	Verkehrsunternehmen, Energieversorgern und Recyclingunternehmen.
Integration of lifecycle data into fleet management platforms to support refurbishment and replacement decisions.	Long-term fleet strategies aligned with climate neutrality and resource efficiency objectives.	Participation in European and sector networks to exchange best practices and scale solutions.	Integration of adaptable charging and storage technologies to support evolving fleet needs.	Monitoring frameworks and performance indicators to track circular fleet performance.

Tab. 3: Wichtige Faktoren für Flottenstrategien im öffentlichen Verkehr

### 2.3.3 Good-Practice-Beispiel



Redesign operations for more ridership

#### Good practice 1:

#### Simulationstool „Digital Twin E-Corridor“

Standort: Gdynia, Polen

Schwerpunkt: Redesign operations for more energy-efficient solutions



E-Bus in Gdynia

Quelle: [https://circularity4publictransport.eu/best\\_practice/a-digital-twin-a-circular-economy-business-tool-for-public-transport-planners-and-operators/](https://circularity4publictransport.eu/best_practice/a-digital-twin-a-circular-economy-business-tool-for-public-transport-planners-and-operators/)

Ziele: Es wurde ein Digital Twin entwickelt, um verschiedene Elektrifizierungs- und Ladeszenarien für die öffentlichen Verkehrskorridore der Stadt zu simulieren. Das Tool unterstützt die optimierte Dimensionierung von Batterien, die gemeinsame Nutzung von Infrastruktur und den Energieverbrauch, ermöglicht eine ressourceneffiziente Flottenplanung und verlängert die Lebensdauer der Anlagen durch fundierte Entscheidungsfindung

Herausforderungen:

- Der öffentliche Nahverkehr ist zwar „kohlenstoffarm“, aber dennoch ressourcen- und abfallintensiv
- Datenverfügbarkeit und -integration über Fahrzeuge und Infrastruktur hinweg

Fazit: Insgesamt kann der digitale Zwilling als hervorragender Ausgangspunkt für eine komplexe und präzise Kosten-Nutzen-Analyse zur integrierten Elektrifizierung des öffentlichen Nahverkehrs dienen. In seiner Endphase soll der Simulations-Digitalzwillig auf der Grundlage von Peer-Reviews und Nutzer-Feedback in ein universelles, handliches und nützliches Tool für die kreislauforientierte Geschäftsplanung für elektrifizierte öffentliche Nahverkehrsflotten und -infrastruktur umgewandelt werden.



Retrofit existing vehicle fleet

#### Good practice 2:

#### Umrüstung gebrauchter Diesel-Linienbusse auf Elektroantrieb

Standort: Ankara, Türkei

Schwerpunkt: Retrofit existing vehicle fleet



Umgerüsteter E-Bus in Ankara

Quelle: : <https://academic.oup.com/ijlct/article/doi/10.1093/ijlct/ctae049/7723583>  
<https://aim2flourish.com/innovations/buses-that-come-alive-again-with-electricity-7>

Ziele: Beschleunigung des Übergangs zu einer CO<sub>2</sub>-ärmeren und umweltfreundlicheren Fahrzeuglösung für den öffentlichen Nahverkehr, die die Lebensdauer der Busse im Sinne der Kreislaufwirtschaft verlängert.

Bei dieser Innovation bleiben Karosserie, Fahrgestell und Achsen in ihrer ursprünglichen Form erhalten, wobei die alten Antriebssysteme - also Dieselmotor, Getriebe und Kraftstoffsystem - durch Elektromotor, Batteriepacks und Batteriemanagementsysteme ersetzt werden, wodurch der Bus in einen zu 100 % elektrisch betriebenen Bus umgewandelt wird.

Herausforderungen:

- Begrenzte Reichweite, unzureichende Ladeinfrastruktur, hohe Anschaffungskosten

Fazit: Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Umrüstung alter Dieselmotoren auf Elektroantrieb eine praktische und nachhaltige Möglichkeit darstellt, den öffentlichen Nahverkehr zu modernisieren und gleichzeitig Abfall und Kosten zu reduzieren. Die Umrüstung kostet lediglich 35-45 % des Preises eines neuen Elektrobusses, amortisiert sich in etwa 24 Monaten und bietet nach einer Ladezeit von 3,5 Stunden eine Reichweite von bis zu 300 km. Obwohl Untersuchungen zeigen, dass umgerüstete Busse unter bestimmten sommerlichen Bedingungen möglicherweise mehr Energie verbrauchen als neu gebaute Elektrobusse, bieten sie dennoch erhebliche ökologische Vorteile: Studien zur Nachrüstung belegen 28-42 % geringere CO<sub>2</sub>-Emissionen und 57-64 % niedrigere Energiekosten im Vergleich zu Dieselmotoren.

### 3. Action Plans zur Bewältigung wesentlicher Herausforderungen im öffentlichen Nahverkehr

Aufbauend auf den Erfahrungen und Ergebnissen der CE4CE-Pilotaktivitäten und -Strategien wandeln die vier in diesem Handbuch vorgestellten Aktionspläne technische Tests, die Zusammenarbeit der Interessengruppen und strategische Überlegungen in umsetzungsorientierte Rahmenwerke um, die an die spezifischen Kontexte der Projektpartner angepasst sind: Leipziger Verkehrsbetriebe - LVB (Deutschland), Busunternehmen Gdynia - PKA (Polen), Bergamo Transport Company - ATB Mobility (Italien) und Stadt Maribor (Slowenien). Die CE4CE-Aktionspläne befassen sich mit einer Vielzahl von Herausforderungen im Zusammenhang mit der Infrastruktur des öffentlichen Nahverkehrs, den Fahrzeugen, den Energiesystemen und dem Betriebsmanagement. Zu den Schlüsselthemen zählen vorausschauende Instandhaltung, Energieeffizienz, kreislauforientierte Beschaffung, gemeinsame Nutzung von Infrastruktur, Integration erneuerbarer Energien, Zweitverwendung von Batterien und lebenszyklusorientiertes Anlagenmanagement.

Zwar spiegelt jeder Aktionsplan die spezifischen Bedürfnisse und Prioritäten der teilnehmenden Institutionen wider, doch tragen sie alle zum gemeinsamen Ziel bei, Abfall zu reduzieren, Werte zu erhalten, die Ressourceneffizienz zu verbessern und die langfristige Nachhaltigkeit sowie die Widerstandsfähigkeit öffentlicher Verkehrssysteme zu stärken. Die für Maribor, Leipzig, Gdynia und Bergamo entwickelten Aktionspläne zeigen, wie Prinzipien der Kreislaufwirtschaft durch die Zusammenarbeit der Akteure, Digitalisierung, Steuerungsmaßnahmen und schrittweise Umsetzungsansätze in die Mobilitätsplanung, das Infrastrukturmanagement, Beschaffungsprozesse und betriebliche Abläufe integriert werden können. Gleichzeitig bieten sie übertragbare Erfahrungen und praktische Leitlinien für Verkehrsbehörden, Betreiber, Kommunen und andere Akteure, die daran interessiert sind, ähnliche Ansätze in ihren eigenen städtischen und regionalen Kontexten anzuwenden.

#### 3.1. Action Plan zur Gewinnung und Nutzung von Abwärme aus Zügen sowie zur Aufladung gebrauchter Batterien mit erneuerbaren Energiequellen in Maribor, Slowenien

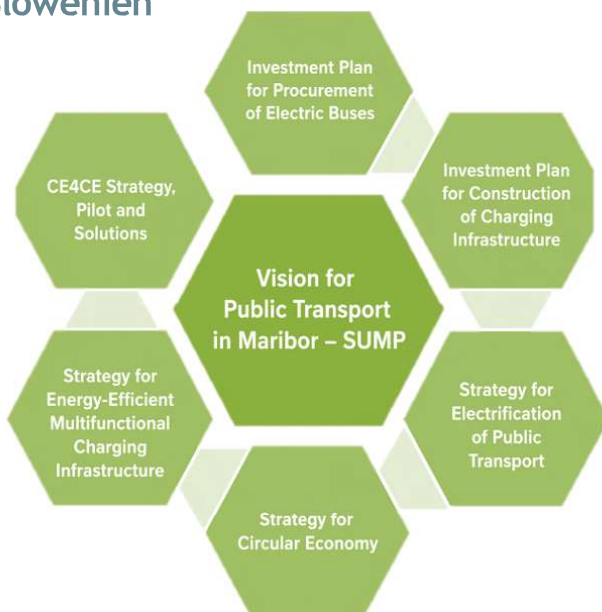


Abbildung 5. Strategischer Rahmen zur Unterstützung der Vision für öffentliches Verkehrsmittel in Maribor (SUMP).

##### 3.1.1 Strategischer Hintergrund und Kontext für die Entwicklung des Action Plans

Der Aktionsplan von Maribor wurde im Rahmen des CE4CE-Projekts als Aktualisierung der „Strategie für eine umweltfreundliche multifunktionale Ladeinfrastruktur“ aus dem Jahr 2022 entwickelt und ist fest in den kommunalen Plan für nachhaltige urbane Mobilität (SUMP) eingebettet. Er reagiert auf die Notwendigkeit, den Energieverbrauch, die Emissionen und Ineffizienzen im öffentlichen Nahverkehrssystem von Maribor durch die Einführung kreislaufwirtschaftlicher und energieeffizienter Lösungen zu reduzieren. Der Plan steht im Einklang mit dem Plan für nachhaltige städtische Mobilität von

Maribor - SUMP Maribor (aktualisiert im Jahr 2026), der Strategie für den Übergang zur Kreislaufwirtschaft der Stadt Maribor 2024-2030 sowie übergeordneten EU-Rahmenwerken wie dem Europäischen Grünen Deal und dem Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft, die den Übergang zu einem dekarbonisierten, energieeffizienten und kreislaufwirtschaftlichen Verkehrssektor unterstützen.

Die größte Herausforderung, der sich der Aktionsplan stellt, ist der steigende Strombedarf im Zusammenhang mit der Elektrifizierung des öffentlichen Verkehrs. Maribor vollzieht den Übergang von einem auf fossilen Brennstoffen basierendem Verkehrssystem hin zu einem stärker auf Strom ausgerichteten System, was eine leistungsfähigere Ladeinfrastruktur, ein besseres Energiemanagement und eine Entlastung des Stromnetzes erfordert. Eine Stakeholder-Analyse identifizierte mehrere konkrete Hindernisse: unzureichende Integration erneuerbarer Energiequellen, Fehlen systematischer Batterie-Energiespeichersysteme, begrenzte intelligente Lademöglichkeiten, unterentwickelte Wiederverwendung von Batterien und Komponenten sowie eine schwache Integration zwischen Verkehrs-, Raum- und Energieplanung. Regulatorische Beschränkungen zwischen Erzeugern, Verteilern und Verbrauchern wurden als eines der größten Hindernisse eingestuft, zusammen mit der Abhängigkeit von EU- und kommunalen Fördermitteln.

Der Aktionsplan ist nicht rechtsverbindlich, aber seine Maßnahmen sind in den SUMP von Maribor integriert, was ihnen eine stärkere Umsetzungsgrundlage verleiht. Der Plan fungiert daher als umsetzungsorientierter Rahmen, der Mobilitäts-, Energie- und Kreislaufwirtschaftsziele miteinander verknüpft.

### 3.1.2 Vision, Ziele und Vorgaben

Die Vision des Aktionsplans von Maribor ist die Entwicklung wettbewerbsfähiger, energieeffizienter und nachhaltiger öffentlicher Verkehrsdienste unter Einsatz kohlenstoffarmer Technologien und alternativer Energiequellen. Ziel ist es, Emissionen zu reduzieren, die Luftqualität zu verbessern, den Lärmpegel in städtischen Gebieten zu senken, den Energieverbrauch für Mobilität zu verringern und ein nutzerfreundliches,

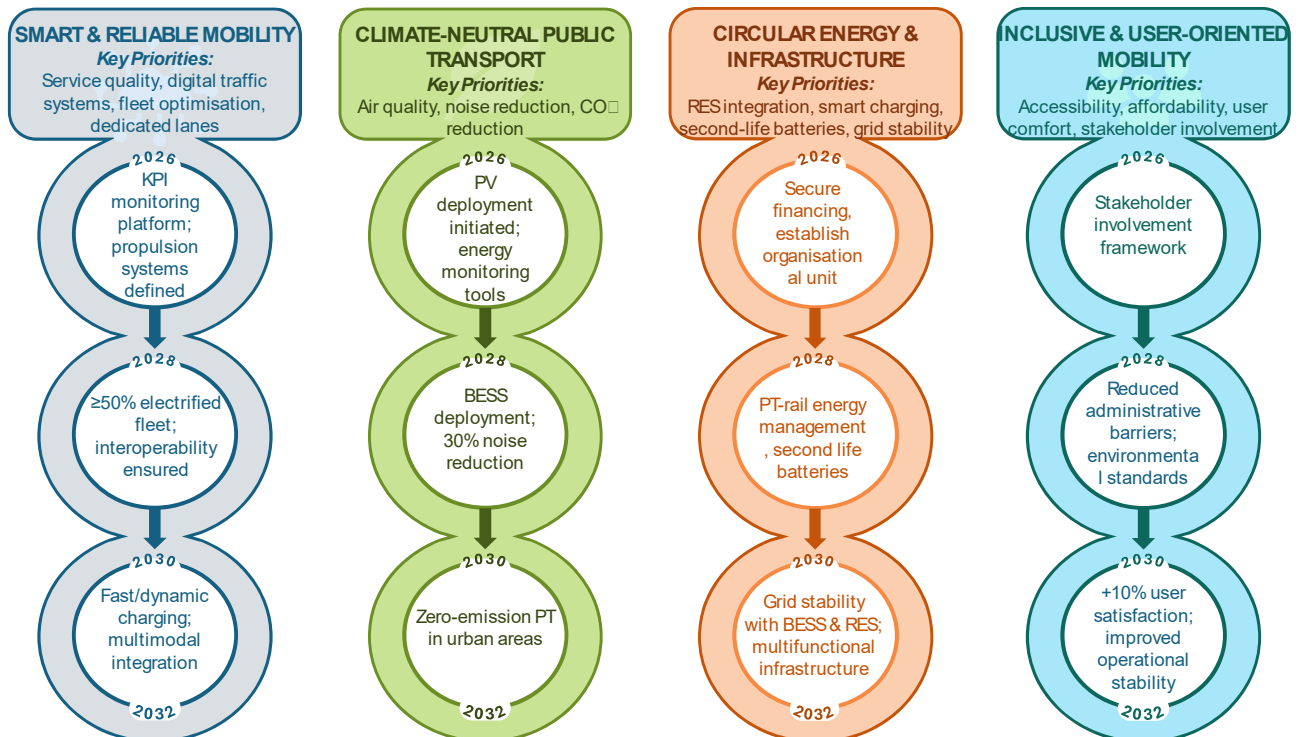


Abbildung 6. Vision und strategische Ziele des Aktionsplans von Maribor

digitales und gesellschaftlich akzeptiertes Verkehrssystem zu etablieren. Der Aktionsplan definiert einen schrittweisen Übergang zu einem emissionsarmen, energieeffizienten und nutzerorientierten öffentlichen Verkehrssystem durch strategische Dimensionen und eine Reihe von mittel- und langfristigen Umsetzungsmeilensteinen.

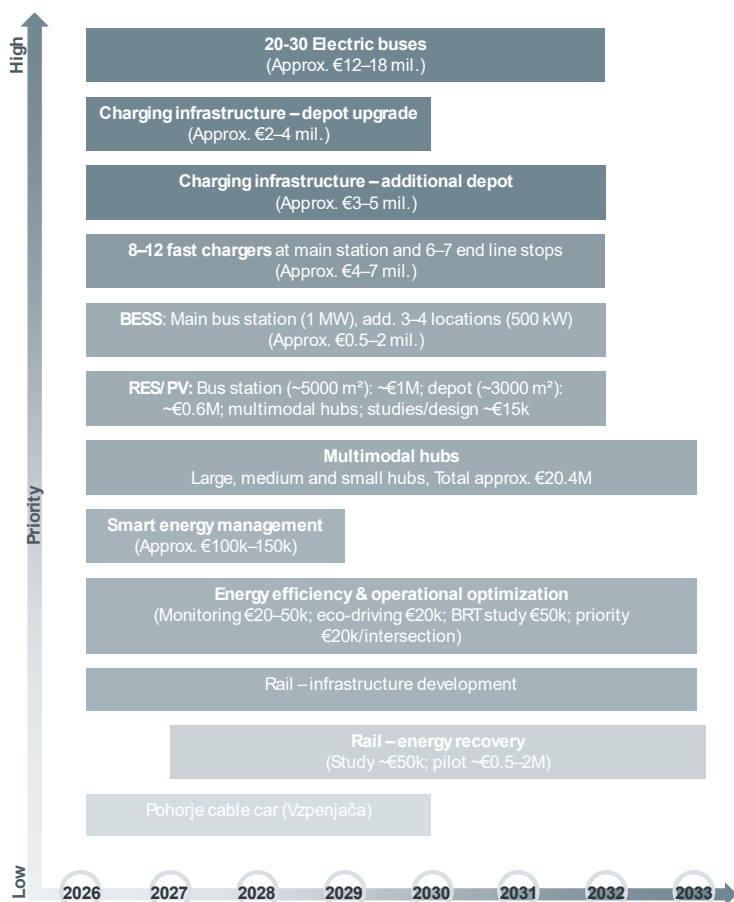


Abbildung 7. Wichtige Maßnahmen und Zeitplan für die Umsetzung in Maribor

Maßnahmen werden auf einen mittleren Investitionsbereich von etwa 0,5-7 Millionen € geschätzt.

Die Umsetzung stützt sich auf eine Kombination von Finanzierungsmechanismen, wobei zu den am häufigsten genannten Quellen lokale Mittel, EU-Förderprogramme, der „Slovenian Eco Fund“ (Slowenischer Ökofonds) sowie Beiträge des privaten Sektors gehören, insbesondere für Investitionen in erneuerbare Energien

### 3.1.4 Monitoring- und Bewertungsaspekte

Die Monitoring des Aktionsplans von Maribor wird an den jährlichen Monitorings- und Berichtsrahmen des SUMP von Maribor angepasst, jedoch um Indikatoren für Energie und Kreislaufwirtschaft erweitert. Die Stadtverwaltung von Maribor wird die Datenerhebung und -verarbeitung gemeinsam mit den wichtigsten Akteuren - Marprom, Public Holdings Maribor, der Energieagentur, Elektro Maribor und der Universität Maribor - koordinieren.

Das Monitoringsystem wird KPIs verwenden, die die Bereiche Mobilität, Umwelt, Energie, Infrastruktur, Betrieb und nutzerbezogene Aspekte abdecken. Zu den Mobilitätsindikatoren gehören der Anteil der Fahrten mit öffentlichen Verkehrsmitteln, Pünktlichkeit und Zuverlässigkeit, Fahrgastzahlen und Fahrzeugauslastung. Zu den Umweltindikatoren gehören CO<sub>2</sub>-Emissionen, Luftschadstoffe wie NO<sub>x</sub> und PM (sofern verfügbar) sowie städtische Lärmpegel. Zu den Energieindikatoren gehören der Energie

### 3.1.3 Wichtige Maßnahmen

Der Aktionsplan sieht ein Paket von Maßnahmen in den Bereichen Infrastruktur, Energie, Betrieb und Governance vor. Zu den vorgeschlagenen Maßnahmen gehören der Einsatz von Elektrobussen, der Ausbau der Ladeinfrastruktur, Batterie-Energiespeichersysteme (BESS) sowie die Integration erneuerbarer Energien durch Photovoltaikanlagen (PV). Zusammen zielen diese Maßnahmen darauf ab, die Betriebsleistung zu verbessern, Emissionen zu reduzieren und die langfristige Energieversorgungssicherheit zu stärken.

Die geschätzten Investitionen variieren je nach Maßnahme erheblich und reichen von etwa 15.000 € für vorbereitende Studien bis zu rund 12-18 Millionen € für die Beschaffung von Elektrobussen in großem Maßstab. Die meisten infrastrukturbezogenen

Die Daten stammen aus Flottenmanagementsystemen, Energiemonitoringstools, Daten zur Ladeinfrastruktur, Verkehrsanalysen, Umfragen, Infrastrukturüberwachung und externen Datensätzen von Energieversorgern. Die Bewertung wird alle 2-3 Jahre durchgeführt und vergleicht die erzielten Ergebnisse mit den geplanten Zielen, bewertet die Kosteneffizienz, identifiziert Umsetzungshindernisse und Erfolgsfaktoren, analysiert Auswirkungen auf Systemebene und bezieht Rückmeldungen von Interessengruppen und Nutzern ein. Die Ergebnisse werden genutzt, um Maßnahmen zu überarbeiten, Investitionsprioritäten zu verfeinern und die Übereinstimmung mit dem SUMP aufrechtzuerhalten.

### 3.1.5 Einbindung der Interessengruppen in den Vorbereitungs- und Umsetzungsprozess

Die Einbindung der Interessengruppen erfolgte durch lokale Workshops, Expertenkonsultationen und im Rahmen der vom CE4CE-Projekt angebotenen Zusammenarbeit und gemeinsamen Entwicklung. An dem Prozess waren Akteure aus den Bereichen Kommunalverwaltung, Region, Wissenschaft, Energie, Verkehr und Privatwirtschaft sowie die Projektpartner beteiligt. Auf kommunaler Ebene gehörten zu den Hauptteilnehmern die Stadtverwaltung von Maribor, Marprom als Betreiber des öffentlichen Nahverkehrs, Akteure aus den Bereichen kommunale Infrastruktur und öffentliche Bauvorhaben, der lokale Energie- und Fernwärmeversorger sowie das öffentliche Abfallentsorgungsunternehmen. Zu den regionalen Akteuren zählten die Regionalentwicklungsagentur für Podravje-Maribor und die regionale Energieagentur. Die Universität Maribor wirkte als wichtigster akademischer und Forschungspartner mit. Beiträge aus den Bereichen Technologie und Privatwirtschaft kamen von Anbietern von Schnellladeinfrastruktur und Elektrobus-Händlern.

Der Beteiligungsprozess konzentrierte sich auf die Ermittlung von Herausforderungen

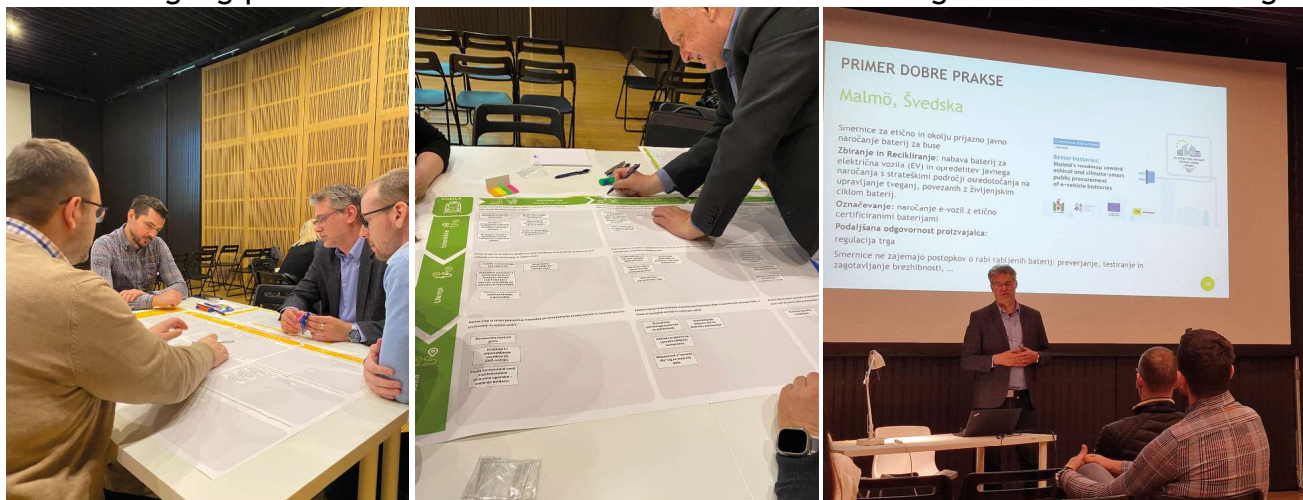


Abbildung 8. Workshop für Interessengruppen zu Kreislaufwirtschaft und Energie im öffentlichen Verkehr. Bildnachweis: Stadt Maribor, CE4CE

und Bedürfnissen bei der Anwendung von Prinzipien der Kreislaufwirtschaft im öffentlichen Verkehr, insbesondere in Bezug auf Energieverbrauch, erneuerbare Energien, Energiespeicherung und Wiederverwendung. Die Interessengruppen bewerteten Hindernisse wie die schwache Integration erneuerbarer Energien, das Fehlen intelligenter Ladesysteme, unzureichende Monitoring, regulatorische Einschränkungen, komplexe Genehmigungsverfahren, eine schwache Koordination zwischen Raum-, Verkehrs- und Energieplanung sowie unterentwickelte Systeme zur Wiederverwendung von Komponenten und Batterien.

Der Prozess trug dazu bei, die Prioritäten des Aktionsplans festzulegen, darunter den

Einsatz von BESS, intelligentes Laden, die Integration von PV, die Nutzung regenerativer Energie im Schienenverkehr, multimodale Energiehubs und eine verbesserte Governance. Er stärkte zudem die Zusammenarbeit zwischen Akteuren aus den Bereichen Verkehr und Energie, die als wesentlich für die Umsetzung identifiziert wurde.

### 3.1.6 Erkenntnisse aus dem Prozess zur Entwicklung des Aktionsplans

Die Entwicklung des Aktionsplans für Maribor lieferte wichtige strategische und organisatorische Erkenntnisse für den Übergang zu einem nachhaltigeren, energieeffizienteren und kreislaufwirtschaftlichen öffentlichen Verkehrssystem. Der Prozess hob mehrere wichtige Aspekte hervor, die für die künftige Umsetzung und die langfristige Stadtverkehrsplanung relevant sind:



#### WICHTIGSTE ERKENNTNISSE

**Enge Verzahnung mit dem SUMP-Prozess:** Die enge Abstimmung mit dem Plan für nachhaltige urbane Mobilität (SUMP) stellt sicher, dass die vorgeschlagenen Maßnahmen in den langfristigen Rahmen für Mobilität, Investitionen und **Überwachung in Maribor eingebettet sind.**

**Schrittweise und flexible Umsetzung:** Angesichts sich weiterentwickelnder Technologien, regulatorischer Rahmenbedingungen und finanzieller Unsicherheiten werden kontinuierliche Überwachung, Bewertung und adaptives Management unerlässlich sein, um die langfristige Wirksamkeit und Widerstandsfähigkeit der vorgeschlagenen Maßnahmen sicherzustellen.

**Integrierter Systemansatz:** Die Elektrifizierung muss Perspektiven aus den Bereichen Verkehr, Energie und Raumplanung miteinander verbinden. Der Prozess bestätigte, dass die Flottenelektrifizierung durch eine koordinierte Planung der Ladeinfrastruktur, der Integration erneuerbarer Energien, von Speichersystemen und Energiemanagementlösungen unterstützt werden muss.

**Sektorübergreifende Zusammenarbeit:** Eine engere Zusammenarbeit zwischen Verkehrsbetreibern, kommunalen Ämtern, Energieversorgern, Infrastrukturakteuren und Forschungseinrichtungen erwies sich während des Entwicklungsprozesses als entscheidender Erfolgsfaktor.

**Digitalisierung und datengestütztes Management:** Langfristige Planung erfordert Überwachungssysteme, KPI-Rahmenwerke und Optimierungstools. Diese Elemente sind unerlässlich für eine adaptive, effiziente und evidenzbasierte Entscheidungsfindung bei Energiemanagementlösungen.

**Die Bedeutung von Pilot- und Demonstrationsaktivitäten:** Die Erfahrungen aus CE4CE haben gezeigt, wie wichtig es ist, Technologien und organisatorische Ansätze zu testen, bevor sie in größerem Maßstab oder flächendeckend eingesetzt werden.

**Institutionelle Kapazitäten und Governance-Strukturen:** Der Prozess hat deutlich gemacht, dass neben technischen Lösungen auch klare Zuständigkeiten, eine langfristige Einbindung der Interessengruppen und organisatorische Bereitschaft erforderlich sind.

Abbildung 9. Wichtigste Erkenntnisse aus Maribor

## 3.2. Action plan zur Optimierung der Infrastrukturversorgung durch minimalinvasive Instandhaltungsmaßnahmen in Leipzig, Deutschland maintenance work in Leipzig, Germany

### 3.2.1 Strategischer Hintergrund und Kontext für die Entwicklung des Action Plans

Der Leipzig-Aktionsplan wurde von der Leipziger Verkehrsbetriebe GmbH (LVB) im Rahmen des CE4CE-Projekts entwickelt, um Möglichkeiten zur Verbesserung der Infrastrukturinstandhaltung durch minimalinvasive, vorausschauende und datengestützte Ansätze zu untersuchen. Die Initiative reagiert auf die Grenzen traditioneller Instandhaltungspraktiken, die sich nach wie vor stark auf Sichtprüfungen, feste Erneuerungszyklen und reaktive Eingriffe stützen.

Der Bedarf an fortschrittlicheren Instandhaltungsansätzen ist für die LVB besonders relevant, da sie eines der größten Straßenbahnnetze Deutschlands mit mehr als 300 km Gleislänge und hoher Taktfrequenz betreibt. Steigende Fahrgastzahlen, Bevölkerungswachstum, Maßnahmen zur Mobilitätswende und ein ausgebauter Nachtverkehr üben zunehmenden Druck auf die Verfügbarkeit der Infrastruktur und die Effizienz der Instandhaltung aus. Gleichzeitig werden Instandhaltungsmaßnahmen durch Herausforderungen wie Fachkräftemangel, demografischen Wandel, sinkende Verfügbarkeit von Beton und fundiertem Fachwissen, begrenzte Instandhaltungsfenster sowie unvollständige Zustandsdaten beeinträchtigt.

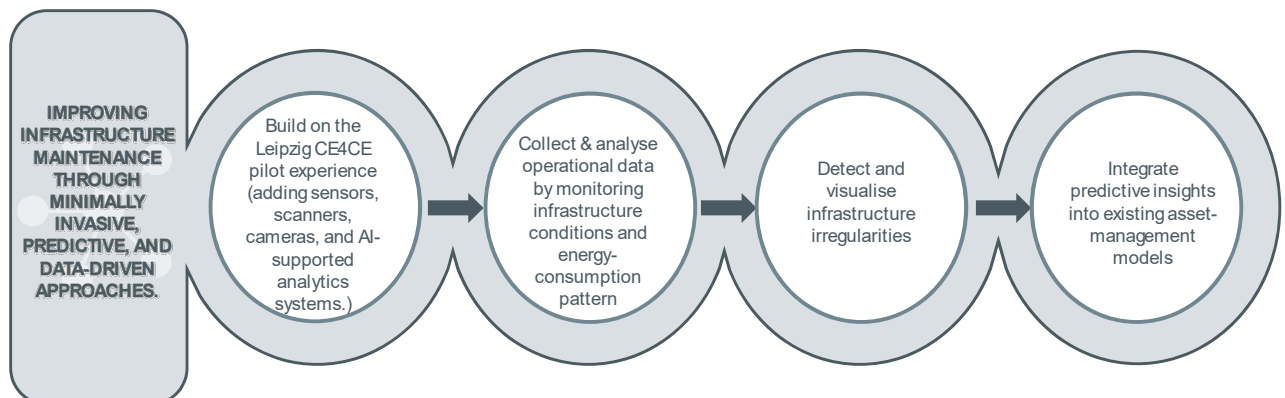


Abbildung 10. Vision und strategische Ziele des LVB-Aktionsplans

Vor diesem Hintergrund zielt der Aktionsplan darauf ab, einen schrittweisen Übergang von reaktiven zu vorausschauenden Verfahren im Anlagenmanagement und in der Instandhaltung zu unterstützen. Der Ansatz baut auf Erfahrungen aus den CE4CE-Pilotversuchen in Leipzig auf, bei denen drei Straßenbahnfahrzeuge mit Schwingungssensoren, Kameras, Laserscannern, Energieflussmesssystemen, Edge-Computing-Geräten und KI-gestützten Analyseplattformen ausgestattet wurden. Die Pilotaktivitäten zeigten das Potenzial dieser Technologien zur Unterstützung der Früherkennung und Visualisierung von Gleisfehlern, Unregelmäßigkeiten an der Oberleitung und Energieverbrauchsverläufen unter realen Betriebsbedingungen.

Der vorgeschlagene Ansatz soll zudem die bestehenden Lebenszykluskostenmodelle (LCC) der LVB ergänzen. Während LCC-Methoden in erster Linie die langfristige Finanzplanung unterstützen, können vorausschauende Instandhaltungsansätze durch die Nutzung aktueller Messdaten, Zustandstrends und Prognosen zur Infrastrukturleistung eine zusätzliche operative und taktische Perspektive bieten.

### 3.2.2 Vision, Ziele und Vorgaben

Die Vision des Leipzig-Aktionsplans ist die Etablierung eines skalierbaren Ansatzes zur vorausschauenden Instandhaltung, der die Verfügbarkeit der Infrastruktur, eine effizientere Ressourcennutzung und die schrittweise Angleichung der Asset-Management-Praktiken an die ISO 55001-Grundsätze des Unternehmens unterstützt. Der Aktionsplan zielt darauf ab, frühzeitigere, gezieltere und weniger invasive Instandhaltungsmaßnahmen zu ermöglichen und gleichzeitig die Verbindung zwischen operativen Instandhaltungsaktivitäten und der strategischen Investitionsplanung zu stärken.

Ein zentrales Ziel ist es, den Übergang von der intervallbasierten und reaktiven Instandhaltung hin zu einem stärker datengestützten System zu unterstützen, das Sensoren, KI-gestützte Analysen, Dashboards und Parametermodelle nutzt. Dieser Ansatz soll die Erkennung potenzieller Schadensmuster verbessern, eine risikobasierte Priorisierung von Maßnahmen unterstützen und dazu beitragen, unnötige Erneuerungsarbeiten zu reduzieren.

Der Aktionsplan zielt ferner darauf ab, einen digitalen Schadenskatalog zu erstellen, ein Parametermodell für die Szenario- und Investitionssteuerung zu entwickeln, Überwachungsdaten in Systeme wie MR.pro®, GIS und ZEDAS zu integrieren und den Einsatz von Dashboards bei operativen Entscheidungen zu unterstützen. Darüber hinaus untersucht der Plan Möglichkeiten zur Verbesserung der Energieeffizienz durch die Analyse des Energieverbrauchs pro Fahrzeugkilometer und der Fahrverhaltensmuster.

Ein weiteres wichtiges Ziel betrifft die organisatorische Zusammenarbeit. Der Aktionsplan fördert eine engere Zusammenarbeit zwischen Instandhaltung, Anlagenmanagement, Digitalisierung, Betrieb, Controlling und externen Partnern durch gemeinsame

#### MEASURES

- **Digital damage catalogue:** Records and classifies recurring defects such as rail corrugation, rail breaks, and contact wire defects.
- **Automated fault detection:** Uses sensor data, video inspections, and conventional inspections to identify infrastructure problems.
- **Risk-based prioritisation:** Supports more systematic assessment and ranking of defects based on urgency and impact.
- **Parameter model for scenario analysis:** Combines condition data, lifecycle forecasts, operational impacts, and cost indicators to compare maintenance strategies.
- **Integration of monitoring data:** Connects monitoring outputs with systems such as GIS, MR.pro®, and ZEDAS through interoperable interfaces.
- **Central data platform and dashboards:** Brings together measurement data, images, and fault classifications in map-based visualisations.
- **Organisational development and change management:** Promotes user participation, competence development, interdisciplinary cooperation, and continuous learning.
- **Workshops and stakeholder exchanges:** Gathers user requirements and supports acceptance of new systems and workflows.

Abbildung 11. Schlüsselmaßnahmen in Leipzig

Datenstrukturen und klarere Entscheidungswege. Er zielt zudem darauf ab, Ansätze zu entwickeln, die auf weitere Straßenbahnlinien, andere Anlageklassen und die Businfrastruktur in Leipzig übertragbar sind. Der Wissens- und Erfahrungsaustausch sowie die gemeinsame Entwicklung von Bewertungs- und Prognosemethoden können auf andere öffentliche Verkehrsbetriebe übertragen werden.

### 3.2.3 Wichtige Maßnahmen

Der Leipziger Aktionsplan schlägt ein strukturiertes Maßnahmenpaket vor, um die Integration der vorausschauenden Instandhaltung in die Anlagenverwaltungsprozesse zu unterstützen und gleichzeitig die strategische Steuerung der Infrastrukturentwicklung zu verbessern.

Eine der Schlüsselmaßnahmen ist die Entwicklung eines digitalen Schadenskatalogs, der wiederkehrende Infrastrukturdefekte wie Schienenwellen, Schienenbrüche und Fahrleitungsdefekte systematisch erfasst und klassifiziert. Durch die Kombination von Sensormessungen, Videoinspektionen und konventionellen Inspektionsmethoden soll der Katalog die automatisierte Fehlererkennung, die risikobasierte Priorisierung und standardisiertere Bewertungsverfahren unterstützen. Erfahrungen aus dem CE4CE-Pilotprojekt, in dem KI-gestützte Analysen typischer Schadensmuster getestet wurden, fließen in die Entwicklung dieses Ansatzes ein.

Eine weitere wichtige Maßnahme ist die Entwicklung eines Parametermodells für die Szenarioanalyse und Investitionssteuerung. Das Modell kombiniert Zustandsdaten, Lebenszyklusprognosen, betriebliche Auswirkungen und Kostenindikatoren, um die Bewertung verschiedener Instandhaltungsstrategien und langfristiger Investitionsoptionen zu unterstützen. Die Methodik basiert auf drei sich ergänzenden Informationsquellen: präzisen Einzelmessungen, strukturierten Sichtprüfungen und kontinuierlichen Überwachungsdatenströmen. Zusammen sollen diese Elemente eine robustere Grundlage für die Prognose des Infrastrukturzustands und die Analyse potenzieller Instandhaltungsszenarien bieten.

Der Aktionsplan sieht zudem die Einbindung von Überwachungsdaten in bestehende Systeme wie GIS, MR.pro® und ZEDAS über interoperable Schnittstellen und eine zentrale Datenplattform vor. Diese Integration soll einen ganzheitlicheren Überblick über den Zustand der Infrastruktur ermöglichen, indem Messdaten, Bilder und Störungsklassifizierungen in Dashboards und kartenbasierten Visualisierungen zusammengeführt werden. Offene und standardisierte Schnittstellen werden als wichtig erachtet, um künftige Systemerweiterungen und die Übertragbarkeit auf andere öffentliche Verkehrsbetriebe zu ermöglichen.

Neben technischen Maßnahmen hebt der Aktionsplan die Bedeutung der Organisationsentwicklung und des Veränderungsmanagements hervor. Der vorgeschlagene Ansatz legt den Schwerpunkt auf Nutzerbeteiligung, Kompetenzentwicklung, interdisziplinäre Zusammenarbeit und kontinuierliche Lernprozesse. Workshops und der Austausch mit Interessengruppen im Rahmen des CE4CE-Pilotprojekts trugen dazu bei, Nutzeranforderungen zu erfassen und die Akzeptanz neuer Systeme und Arbeitsabläufe zu fördern.

### 3.2.4 Monitoring- und Bewertungsaspekte

Die Monitoringsaktivitäten im Rahmen des Leipziger Aktionsplans konzentrieren sich darauf, zu bewerten, ob vorausschauende Instandhaltungsansätze zu Verbesserungen der technischen Zuverlässigkeit, der betrieblichen Prozesse und der strategischen

Entscheidungen im Anlagenmanagement beitragen. Der vorgeschlagene Monitoringsrahmen umfasst mehrere Leistungskennzahlen (KPIs), die auch im Kontext der Leistungsbewertung nach ISO 55001 relevant sind.

Zu den vorgeschlagenen Indikatoren gehören die frühzeitige Erkennung von Mängeln, bevor diese kritisch werden, die Reduzierung ungeplanter Instandhaltungsmaßnahmen, die Verfügbarkeit der Infrastruktur, die Energieeffizienz sowie Indikatoren zur Datenqualität wie die Betriebszeit der Sensoren und die Zuverlässigkeit der Datenübertragung. Weitere Indikatoren können die Reaktionszeiten zwischen Fehlererkennung und Korrekturmaßnahmen sowie potenzielle Kosteneinsparungen durch vermiedene Reparaturen und verlängerte Anlagenlebensdauern umfassen.

Die Datenerfassung soll auf automatisierten Sensorsystemen und Datenplattformen basieren und durch Vergleiche mit MR.pro®-Daten, Vor-Ort-Inspektionen, Befragungen und bestehenden Bewertungsmethoden ergänzt werden. Die Bewertungsmaßnahmen sollen automatisierte Analysen mit Expertenfeedback und regelmäßigen Koordinationssitzungen zwischen den Teams für Anlagenmanagement, Instandhaltung und Digitalisierung kombinieren. Die Ergebnisse der Pilotaktivitäten und Einführungsphasen sollen zur kontinuierlichen Verbesserung von Algorithmen, Systemanpassungen und Instandhaltungsplanungsprozessen beitragen. Langfristig sollen die Monitoringsmaßnahmen das Investitionscontrolling und die Instandhaltungsplanung durch datengestützte Entscheidungsfindung unterstützen.

### 3.2.5 Einbindung der Stakeholder in den Vorbereitungs- und Umsetzungsprozess

Der Leipziger Aktionsplan basiert auf der engen Zusammenarbeit zwischen internen LVB-Abteilungen, externen technischen Partnern und den anderen kommunalen Unternehmen, die Teil der von der Stadt Leipzig geführten „L“-Gruppe sind. Innerhalb der LVB spielt das Anlagenmanagement eine führende Rolle bei der Integration prädiktiver Instandhaltungsansätze in das strategische Infrastrukturmanagement. IFTEC (verantwortlich für einen Großteil der technischen Instandhaltungs- und Ingenieurdienstleistungen im Zusammenhang mit dem öffentlichen Nahverkehrssystem von Leipzig) trägt zur technischen Umsetzung, zu Kalibrierungsmaßnahmen sowie zu Rückmeldungen bezüglich Schadensmustern und Instandhaltungsmaßnahmen bei. Das Digitalisierungsteam unterstützt die Entwicklung von Datenplattformen, Dashboards und Schnittstellen, während das Betriebspersonal und die Fahrer operatives Feedback zu Fahrkomfort und Betriebsstörungen liefern. Controlling- und Investitionsplanungsstellen sind an der Nutzung von Parametermodellen für die Budgetierung und Szenarioentwicklung beteiligt.

Externe Partner stellen Hardwarelösungen, Edge-Computing-Technologien, Monitoringssysteme, KI-gestützte Analysen und Tools zur Energieverbrauchsanalyse bereit. Das CE4CE-Pilotprojekt umfasste die Zusammenarbeit mit Organisationen wie IFTEC, Kruch Railways (ebenfalls ein CE4CE-Partner), CI4RAIL, CEMIT und PantoHealth. Universitäten und Forschungseinrichtungen leisteten technische und methodische Unterstützung, während kommunale Akteure Verbindungen zu Smart-City- und städtischen Datenplattform-Initiativen herstellten.

Zu den Aktivitäten zur Einbindung der Interessengruppen gehörten Workshops zur Anforderungsdefinition und Systemauswahl, regelmäßige Koordinierungstreffen, Schulungen sowie Formate zur Überprüfung durch die Interessengruppen. Während der Pilotphase unterstützten diese Aktivitäten die Erfassung von Nutzerfeedback, insbesondere von Fahrpersonal, die Prüfung der Systemakzeptanz sowie die gemeinsame Entwicklung von Dashboards und Schnittstellen.

### 3.2.6 Wichtigste Erkenntnisse aus dem Prozess der Entwicklung des Action Plans

Der Entwicklungsprozess des Leipziger Aktionsplans legt nahe, dass Ansätze der vorausschauenden Instandhaltung ein erhebliches Potenzial bieten können, wenn sie in die täglichen Instandhaltungsaktivitäten und strategischen Anlagenverwaltungsprozesse integriert werden. Erfahrungen aus dem CE4CE-Pilotprojekt zeigten, dass Technologien wie Sensoren, Überwachungssysteme und KI-gestützte Analysen dazu beitragen können, kritische Gleisabschnitte, Schienenmängel, Unregelmäßigkeiten an der Oberleitung und andere infrastrukturbezogene Probleme unter Betriebsbedingungen zu identifizieren.

Eine wichtige Erkenntnis ist der Mehrwert einer kontinuierlichen Überwachung als Ergänzung bestehender Anlagenmanagementansätze. Die Kombination aktueller Messdaten mit visuellen Inspektionsverfahren und Lebenszykluskostenmodellen kann im Vergleich zu festen Erneuerungszyklen allein eine dynamischere und fundiertere Entscheidungsfindung unterstützen.

Der Prozess hat zudem deutlich gemacht, dass die Digitalisierung nicht nur eine technische, sondern auch eine organisatorische Herausforderung darstellt. Schulungsmaßnahmen, die Akzeptanz bei den Anwendern, Datenkompetenz, neu definierte Zuständigkeiten und langfristige Change-Management-Prozesse scheinen unerlässlich zu sein, um sicherzustellen, dass Dashboards und KI-gestützte Analysen effektiv in die betriebliche Praxis integriert werden können.



#### WICHTIGSTE ERKENNTNISSE

**Potenzial der vorausschauenden Instandhaltung:** Vorausschauende Instandhaltung kann einen erheblichen Mehrwert schaffen, wenn sie in die tägliche Instandhaltung und das strategische Anlagenmanagement eingebettet wird.

**Schrittweise und flexible Umsetzung:** Angesichts sich weiterentwickelnder Technologien, regulatorischer Rahmenbedingungen und finanzieller Unsicherheiten sind kontinuierliche Monitoring, Bewertung und adaptives Management unerlässlich, um die langfristige Wirksamkeit und Widerstandsfähigkeit der vorgeschlagenen Maßnahmen sicherzustellen.

**Wert der kontinuierlichen Monitoring:** Die kontinuierliche Monitoring ergänzt Sichtprüfungen und Lebenszykluskostenmodelle, indem sie dynamischere, datengestützte Entscheidungen ermöglicht.

**Über feste Erneuerungszyklen hinaus:** Die Kombination von Echtzeitdaten mit bestehenden Anlagenmanagementmethoden kann zu einer besseren zeitlichen Abstimmung von Wartung und Erneuerungen beitragen.

**Anforderungen an organisatorische Veränderungen:** Eine erfolgreiche Digitalisierung erfordert Schulungen, Akzeptanz bei den Anwendern, Datenkompetenz, neu definierte Zuständigkeiten und ein langfristiges Change Management.

**Übertragungsmöglichkeiten:** Das modulare, bahngecertifizierte System könnte auf andere Straßenbahnlinien, Infrastrukturanlagen und busbezogene Anwendungen ausgeweitet werden.

**Langfristige Institutionalisierung:** Eine nachhaltige Nutzung hängt von einer stabilen Finanzierung, der Systemintegration, den personellen Kapazitäten und der Abstimmung mit den Anlagenverwaltungsprozessen der LVB ab.

Abbildung 12. Wichtigste Erkenntnisse aus Leipzig

Schließlich zeigt der Aktionsplan ein Übertragungspotenzial über die Pilotumgebung hinaus auf. Das Pilotprojekt stützte sich auf bahngesertifizierte Komponenten, die den Normen EN 50155 und EN 45545 entsprechen, während die modulare Systemarchitektur eine zukünftige Ausweitung auf weitere Straßenbahnlinien, andere Infrastrukturobjekte und potenziell busbezogene Anwendungen wie Ladeinfrastruktur unterstützen könnte. Gleichzeitig dürfte die langfristige Institutionalisierung von Ansätzen zur vorausschauenden Instandhaltung von einer stabilen Finanzierung, der Systemintegration, den personellen Kapazitäten und deren fortlaufender Einbindung in die übergeordneten Anlagenverwaltungsprozesse der LVB abhängen.

### 3.3. Action plan zur Optimierung der Infrastrukturbereitstellung durch Zusammenarbeit und gemeinsame Nutzung zwischen öffentlichen Anbietern als Aktualisierung der kommunalen Strategie für Elektromobilität in Gdynia, Polen

#### 3.3.1 Strategischer Hintergrund und Kontext für die Entwicklung des Action Plans



Abbildung 13. Photovoltaikanlage zur Stromversorgung der Oberleitungsbusse von Gdynia im Depot. Bildnachweis: CE4CE

Der Aktionsplan von Gdynia aktualisiert den kommunalen Ansatz zur Elektromobilität, indem er den Schwerpunkt auf zirkuläre Elektrifizierung, gemeinsame Nutzung von Infrastruktur und Zusammenarbeit zwischen den öffentlichen Dienstleistern PKA - dem städtischen Busbetreiber und CE4CE-Projektpartner - und PKT - dem städtischen Oberleitungsbusbetreiber - legt. Der Plan baut auf den bestehenden Stärken von Gdynia auf: dem seit langem bestehenden Oberleitungsbussystem, der Erfahrung mit der Ladung während der Fahrt und den 2022 eingeführten Elektrobussen.

Der Aktionsplan reagiert auf fünf konkrete Herausforderungen, die von PKA und seinen Partnern identifiziert wurden: alternde Anlagen, steigende Strom- und Lebenszykluskosten, die Notwendigkeit einer zirkulären Beschaffung, begrenzte Entscheidungshilfen für die Investitionsplanung sowie die Notwendigkeit, die Elektromobilität besser auf die Klima- und Mobilitätsziele der Stadt abzustimmen. Er befasst sich zudem mit Risiken, die im Rahmen des in Gdynia durchgeführten Pilotprojekts im Rahmen des CE4CE-Projekts identifiziert wurden, darunter der durch Staus bedingte Energiebedarf, überdimensionierte Batterien und Ladeinfrastruktur, fragmentierte Daten zwischen den Institutionen, unsichere zukünftige Finanzierung und die Möglichkeit, dass die Stadt für 12-30 Jahre an ineffiziente Lösungen gebunden wird.

Strategisch ist der Plan mit der Entwicklungsstrategie der Stadt Gdynia 2030, dem Plan für nachhaltige urbane Mobilität von Gdynia sowie den SUMP's der für und der BSR im Bereich Monitoring und Evaluierung verknüpft. Auf nationaler Ebene orientiert er sich am polnischen Gesetz über Elektromobilität und alternative Kraftstoffe. Auf EU-Ebene steht er im Einklang mit dem aktuellen Rechtsrahmen, der durch die folgenden Rahmenstrategien und Richtlinien gebildet wird: Europäischer Green Deal, Richtlinie über saubere Fahrzeuge, Verordnung über die Infrastruktur für alternative Kraftstoffe, Energieeffizienzrichtlinie, Richtlinie über erneuerbare Energien und Batterieverordnung.

### 3.3.2 Vision, Ziele und Vorgaben

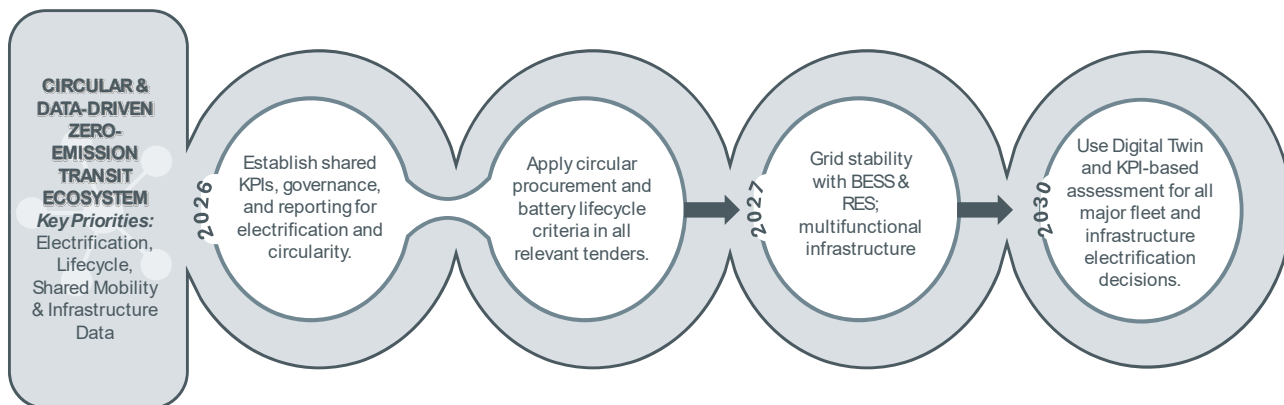


Abbildung 14. Vision und strategische Ziele des Aktionsplans von Gdynia

Die Vision sieht vor, dass PKA Gdynia bis 2030 zu einem kreislaufforientierteren, emissionsärmeren und investitionsbereiten Anbieter öffentlicher Verkehrsmittel wird. Der Aktionsplan zielt darauf ab, die Elektromobilität durch Datenaustausch, Lebenszyklusdenken und eine stärkere Zusammenarbeit zwischen PKA, der Stadt und anderen öffentlichen Anbietern auszubauen und gleichzeitig unnötigen Material- und Energieverbrauch zu vermeiden.

Der Plan legt mehrere konkrete Ziele fest. Bis 2026 soll Gdynia einen gemeinsamen Satz von Leistungskennzahlen (KPIs), ein Zuständigkeitsmodell und eine jährliche Berichtsroutine für Entscheidungen in den Bereichen Kreislaufwirtschaft und Elektrifizierung institutionalisieren. Bis 2027 soll das erste Umsetzungspaket vorbereitet und auf den Weg gebracht werden, beginnend mit der Elektrifizierung der Linie 194, vorbehaltlich der Finanzierung. Ebenfalls bis 2027 soll ein Investitionspaket zur Ökoeffizienz der Depots und zur Photovoltaik fertiggestellt werden, das intelligentes Laden und eine speicherfähige Konzeption umfasst. Ab 2026 sollen bei entsprechenden Ausschreibungen Kriterien für eine kreislaufforientierte Beschaffung sowie Anforderungen an den Batterie-Lebenszyklus angewendet werden. Bis 2030 sollen der „Digital Twin“ und die KPI-Bewertung bei allen wichtigen Entscheidungen der PKA zur Elektrifizierung der Flotte und der Infrastruktur zum Einsatz kommen.

Die Ziele vereinen somit Emissionsminderung, höhere Betriebssicherheit, niedrigere Lebenszykluskosten, einen geringeren Batterie- und Materialbedarf, eine verbesserte Finanzierungsbereitschaft sowie eine klarere Steuerung der kreislaufforientierten Elektromobilität.

#### 3.3.3 Wichtige Maßnahmen

Der Aktionsplan stützt sich auf fünf vorrangige Maßnahmen.

Die erste ist die Elektrifizierung der Bus -Linie 194, die als vorrangiges Demonstrationsprojekt für den datengestützten und kreislauffwirtschaftlichen Ausbau emissionsfreier Verkehrsdienste zwischen 2026 und 2028 geplant ist.

Die zweite ist die Institutionalisierung des Digital-Twin-Pilotprojekts und des Circular-Geschäftsplanungstools für elektrifizierte öffentliche Verkehrsflotten und -infrastruktur ab 2026, damit Szenariotests und die Verantwortung für KPIs Teil der Investitions- und Berichtsroutinen werden.

Die dritte Maßnahme betrifft die Ökoeffizienz des Depots, die ebenfalls für den Zeitraum 2026-2028 hohe Priorität hat. Dazu gehören eine verbesserte Messtechnik, eine

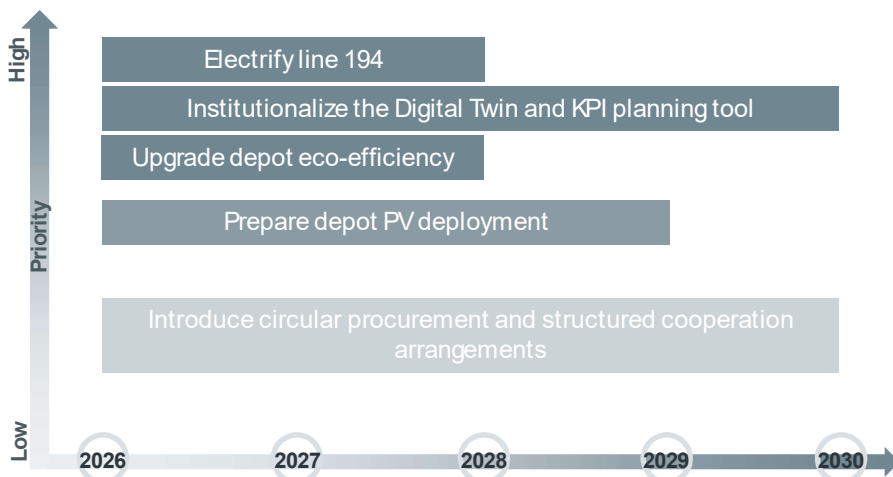


Abbildung 15. Wichtige Maßnahmen und Umsetzungszeitplan für Gdynia

intelligente Ladelogik, Spitzenlastmanagement und technische Nachrüstungen.

Die vierte Maßnahme ist der Einsatz von Photovoltaik im Depot zwischen 2026 und 2029, mit speicherfähiger Auslegung und der potenziellen zukünftigen Nutzung von Second-Life-Batterien, wo dies machbar ist.

Die fünfte Maßnahme umfasst eine kreislauforientierte Beschaffung und strukturierte Kooperationsvereinbarungen für Beschaffungsprozesse, die bereits 2026 beginnen und als fortlaufende Maßnahme geplant sind. Dazu gehören das Batteriemangement über den gesamten Lebenszyklus, wiederverwendbare technische Spezifikationen, Klauseln für kreislauforientierte Ausschreibungen und ein verbesserter Datenaustausch mit kommunalen Anbietern und städtischen Einrichtungen.

Die Maßnahmen sind als stufenweises Paket und nicht als einmalige Großinvestition konzipiert, sodass Gdynia die Investitionen testen, anpassen und skalieren kann. Die Kostenschätzungen sind noch nicht detailliert, jedoch besteht ein starkes Engagement der beiden kommunalen Nahverkehrsbetreiber, die Maßnahmen wie geplant umzusetzen und die Finanzierung aus verschiedenen Quellen sicherzustellen. Der Plan definiert den Bedarf in Größenordnungen: hohe Ausgaben für die Elektrifizierung der Linie 194, geringe bis mittlere Ausgaben für den Digital Twin und das kreislaufwirtschaftliche Planungsinstrument für elektrifizierte ÖPNV-Flotten und -Infrastruktur, mittlere Ausgaben für die Ökoeffizienz der Depots, mittlere bis hohe Ausgaben für PV- und speicherfähige Infrastruktur sowie vor allem organisatorischen Aufwand für die Verbesserung der kreislaufwirtschaftlichen Beschaffung.

### 3.3.4 Monitoring- und Bewertungsaspekte

Das Überwachungssystem basiert auf einem kompakten KPI-Satz, der mit dem „Circular“-Geschäftsplanungstool für elektrifizierte ÖPNV-Flotten und -Infrastruktur sowie, soweit relevant, mit der SUMP- und Stadtknotenpunkt-Berichterstattung im Rahmen der EU-Anforderungen auf der Grundlage der überarbeiteten TEN-V-Verordnung (verabschiedet im Jahr 2025) verknüpft ist. Zu den vorgeschlagenen Indikatoren gehören der Anteil emissionsfreier Fahrzeugkilometer, der jährliche Stromverbrauch pro Fahrzeugkilometer, die durchschnittliche Batteriekapazität der beschafften Fahrzeuge, der Anteil selbst erzeugten Stroms, der Umsetzungsstand vorrangiger Maßnahmen sowie der Anteil relevanter Beschaffungen, die Kreislauf- und Lebenszyklus klauseln enthalten.

Die Datenerhebung soll vierteljährlich erfolgen und jährlich konsolidiert werden. Die Betriebsdaten stammen aus der Fahrzeugtelematik, den Ladestationen in den Depots, den Energiezählern und den Fahrplansystemen. Informationen zu Investitionen und Beschaffungen stammen aus Projektakten und Vertragsregistern, während ESG- und Governance-Daten aus der Managementberichterstattung entnommen werden. Die PKA sollte das zentrale KPI-Register führen, wobei die ZKM Gdynia (Öffentlicher Nahverkehrsbetrieb in Gdynia) und städtische Abteilungen zusätzliche Beiträge liefern, sofern sich Indikatoren mit der Berichterstattung auf Stadtebene überschneiden.

Die Bewertung sollte eine Prozess- und Ergebnisbewertung kombinieren. Bei der Prozessbewertung wird geprüft, ob Maßnahmen eingeleitet, finanziert, Verantwortlichen zugewiesen und in Beschaffung und Betrieb verankert wurden. Bei der Ergebnisbewertung werden die Ergebnisse mit der Basislinie für 2025/2026 und den „Digital Twin“-Szenarien verglichen, insbesondere hinsichtlich Energieverbrauch, Batteriebedarf, Infrastruktureffizienz, Betriebssicherheit, Hebelwirkung der Finanzierung und Kreislaufwirtschaftseffekten. Eine Zwischenbewertung wird für 2028 und eine umfassendere Überprüfung für 2030 empfohlen.

### 3.3.5 Einbindung der Interessengruppen in den Vorbereitungs- und Umsetzungsprozess

Der Stakeholder-Prozess wurde um ein Kernentwicklungsteam und ein breiteres institutionelles Netzwerk herum organisiert. Zum Kernteam gehörten PKA Gdynia, die Universität Danzig und KRUCH Railways, die an der technischen Evidenzbasis, der lokalen Anwendbarkeit und der Maßnahmenkonzeption arbeiteten. Das breitere Stakeholder-Netzwerk umfasste die Stadtverwaltung von Gdynia, ZKM Gdynia, PKT Gdynia sowie weitere öffentliche Anbieter und städtische Stellen, die für Mobilität, Energie, Beschaffung und Strategie zuständig sind.

Im Mittelpunkt der Diskussionen standen praktische Fragen der Umsetzung: Korridorauswahl, Infrastrukturoptionen, Zuständigkeiten für die Leistungskennzahlen, Finanzierungslogik und betriebliche Rahmenbedingungen. Ab September 2023 durchlief der Prozess die Phasen der gemeinsamen Problemdefinition, der Szenariotests und der internen Überprüfung. Bis März 2026 waren der Entwurf des Aktionsplans, die Stakeholder-Kartierung und das Rahmenwerk für die Leistungskennzahlen fertiggestellt.

Die Einbindung der Interessengruppen trug dazu bei, den Aktionsplan von einem rein technischen Elektrifizierungsprojekt hin zu einem Rahmenwerk für Governance und Zusammenarbeit zu entwickeln. Dabei wurde deutlich, dass zirkuläre Elektromobilität nicht nur von Fahrzeugen und Ladestationen abhängt, sondern auch von gemeinsamen Standards, Datenaustausch, Beschaffungsregeln, der Vorbereitung der Finanzierung sowie der Koordination zwischen PKA, der Stadtverwaltung und anderen öffentlichen Anbietern.

### 3.3.6 Wichtigste Erkenntnisse aus dem Prozess zur Entwicklung des Action Plans

Der Prozess in Gdynia hat gezeigt, dass eine erfolgreiche Elektrifizierung des öffentlichen Nahverkehrs mehr erfordert als nur den Austausch von Dieselnissen durch Elektrobusse. Das CE4CE-Pilotprojekt, das die Grundlage für den Aktionsplan bildet, hat gezeigt, wie wichtig es ist, Infrastrukturplanung, Lebenszyklusdenken, digitale Entscheidungshilfetools und abteilungsübergreifende Zusammenarbeit in eine langfristige Umstellungsstrategie zu integrieren. Die Erfahrung hat zudem gezeigt, dass eine schrittweise Umsetzung und klare Governance-Strukturen unerlässlich sind, um die Elektromobilität effizient auszubauen und gleichzeitig unnötigen Material- und Energieverbrauch zu vermeiden.

Der Gdynia-Prozess hat gezeigt, dass die künftige Elektrifizierung infrastruktur- und lebenszyklusorientiert sein sollte und nicht einfach auf dem schrittweisen Austausch der Fahrzeuge basieren darf. Das CE4CE-Pilotprojekt hat gezeigt, dass das Laden während der Fahrt und das Gelegenheitsladen den Batteriebedarf im Vergleich zu reinen Nachtladekonzepten erheblich senken können. So sinkt beispielsweise auf der Buslinie 141 v der Batteriebedarf von etwa 700 kWh bei einer Nachtladeoption auf etwa 60 kWh bei IMC plus Gelegenheitsladen.

Eine zweite Erkenntnis ist, dass digitale Tools nur dann einen Mehrwert schaffen, wenn sie in die Entscheidungsfindung eingebettet sind. Der Digital Twin und der KPI-Workflow

erfordern klare Zuständigkeiten, eine jährliche Berichterstattung sowie die Einbindung in Beschaffungs- und Förderanträge. Datenqualität und -management sind daher ebenso wichtig wie die Technologie selbst.

Der Prozess bestätigte zudem, dass Kreislaufwirtschaft nicht nur in einer Abteilung angesiedelt sein kann. Betrieb, technische Teams, Beschaffung, Finanzen, Strategie und



#### WICHTIGE ERKENNTNISSE

**Bei der Elektrifizierung müssen die Auswirkungen auf die Infrastruktur und den Lebenszyklus berücksichtigt werden:** Der Prozess in Gdynia hat gezeigt, dass die Elektrifizierung nicht einfach nur den Eins-zu-eins-Ersatz von Dieselnissen bedeuten sollte. Stattdessen sollte die Planung die Ladeinfrastruktur, die betrieblichen Anforderungen und die langfristige Fahrzeugleistung berücksichtigen.

**Laden während der Fahrt und Gelegenheitsladen reduzieren den Batteriebedarf:** Das CE4CE-Pilotprojekt hat gezeigt, dass die Kombination von Laden während der Fahrt (IMC) mit Gelegenheitsladen den Batteriebedarf drastisch senken kann. Auf der Linie 141 sank die erforderliche Batteriegröße von rund 700 kWh bei Nachladung auf etwa 60 kWh.

**Digitale Tools sind nur dann wirksam, wenn sie in die Entscheidungsfindung integriert werden:** Digital-Twin- und KPI-Systeme schaffen nur dann einen Mehrwert, wenn sie aktiv in Managementprozessen, der Beschaffung, der Jahresberichterstattung und bei Förderanträgen genutzt werden. Zuverlässige und qualitativ hochwertige Daten sind daher von entscheidender Bedeutung.

**Kreislaufwirtschaft erfordert abteilungsübergreifende Zusammenarbeit:** Der Prozess bestätigte, dass Kreislaufwirtschaft nicht von einer einzigen Abteilung gesteuert werden kann. Betrieb, technische Teams, Beschaffung, Finanzen, Strategieeinheiten und kommunale Partner benötigen gemeinsame Verantwortlichkeiten und eine starke interne Koordination.

**Die Unterstützung durch die Führungsebene ist für langfristige Fortschritte unerlässlich:** Selbst technisch fundierte Maßnahmen können ohne klare Zuständigkeiten und sichtbare Unterstützung durch die Führungsebene an Schwung verlieren. Interne Akzeptanz ist notwendig, um die Umsetzungsbemühungen aufrechtzuerhalten.

**Eine schrittweise Umsetzung verringert Risiken und fördert den Lernprozess:** Der Start mit kleineren Maßnahmen wie der Linie 194, Ökoeffizienzmaßnahmen im Depot und der Steuerung über KPIs ermöglicht es Gdynia, Ansätze zu testen, aus Erfahrungen zu lernen und schrittweise zu skalieren.

Abbildung 16. Wichtigste Erkenntnisse aus Gdynia

kommunale Partner müssen alle gemeinsame Verantwortung übernehmen. Die interne Unterstützung durch die Führungskräfte ist unerlässlich, da selbst technisch fundierte Maßnahmen ohne sichtbare Eigenverantwortung an Schwung verlieren können.

Schließlich unterstreicht der Plan den Wert einer schrittweisen Umsetzung. Ausgehend von Zeile 194 - Ökoeffizienz im Depot und KPI-Steuerung - ermöglicht die Bewertung der Maßnahmen der Stadt Gdynia, zunächst Erfahrungen zu sammeln, bevor die Maßnahmen

in größerem Umfang umgesetzt werden. Eine derzeitige Einschränkung besteht darin, dass der Plan noch der endgültigen Genehmigung, der Bestätigung der Finanzierung und der formellen Zuweisung von Zuständigkeiten bedarf, bevor mit der Umsetzung in vollem Umfang begonnen werden kann.

### 3.4. Action plan zur Wertschöpfung in der Lieferkette und zur Optimierung der Fahrzeugauslieferung durch zirkuläre Beschaffung in Bergamo, Italien

#### 3.4.1 Strategischer Hintergrund und Kontext für die Entwicklung des Action Plans



Abbildung 17. ATB Mobility Bergamo

Der ATB Mobility Bergamo-Aktionsplan wurde innerhalb eines mehrstufigen strategischen Rahmens entwickelt, der lokale, nationale und europäische Mobilitäts-, Klima- und Kreislaufwirtschaftspolitiken miteinander verknüpft. Auf lokaler Ebene ist der Aktionsplan auf den Aktionsplan für nachhaltige Energie und Klimaschutz (SECAP) von Bergamo, den Climate City Contract (CCC) und den Plan für nachhaltige urbane Mobilität (SUMP) der Stadt abgestimmt, wodurch sichergestellt wird, dass die Prinzipien der Kreislaufwirtschaft zu einem integralen Bestandteil der langfristigen Verkehrsplanung werden und nicht nur eine Einzelinitiative bleiben

Auf nationaler Ebene wird der Aktionsplan durch Investitionsmöglichkeiten im Rahmen des italienischen Konjunktur- und Resilienzplans (PNRR) unterstützt, insbesondere für die Modernisierung der Infrastruktur, die Elektrifizierung und innovative Verkehrssysteme wie eBRT. Auf europäischer Ebene baut der Aktionsplan auf dem Interreg-Projekt CE4CE auf und nutzt Synergien mit anderen Projekten wie Interreg Euro-MED E-MED und Interreg Alpine Space Degree4Alps, um die Erprobung und Skalierung von Kreislaufösungen im öffentlichen Verkehr zu unterstützen

Der Aktionsplan reagiert auf mehrere zentrale Herausforderungen, die von ATB Mobility identifiziert wurden:

- hoher Energie- und Materialverbrauch im öffentlichen Nahverkehr,
- begrenztes Lebenszyklusmanagement von Fahrzeugen und Infrastruktur,
- steigende Betriebskosten und zunehmende regulatorische Anforderungen,
- die Notwendigkeit, erneuerbare Energien und Speicherlösungen zu integrieren,
- die unzureichende Einbeziehung von Kreislaufwirtschaftsprinzipien in Beschaffungs- und Instandhaltungspraktiken.



Abbildung 18. Vision und strategische Ziele des Bergamo-Action Plans

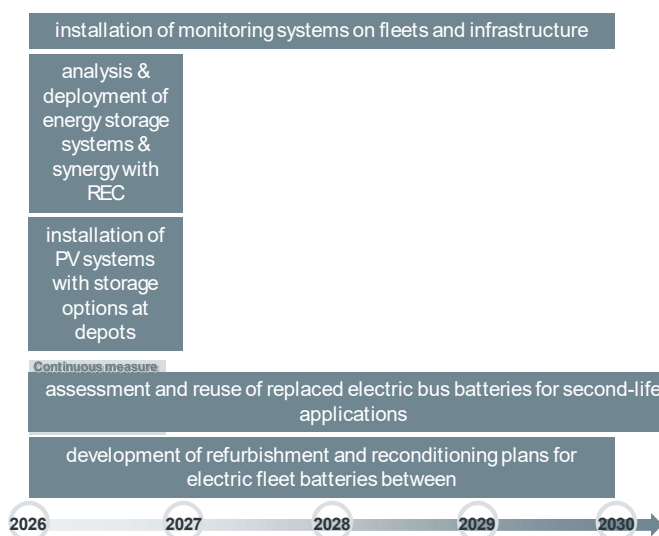


Abbildung 19. Schlüsselmaßnahmen in Bergamo

### 3.4.2 Vision, targets and objectives

Die Vision des Aktionsplans besteht darin, ATB zu einem zirkulären öffentlichen Verkehrsunternehmen zu machen, indem Prinzipien der Kreislaufwirtschaft in alle operativen, infrastrukturellen und strategischen Aktivitäten integriert werden.

### 3.4.3 Wichtige Maßnahmen

Der Aktionsplan definiert ein Maßnahmenpaket in den Bereichen Betrieb, Energie, Instandhaltung und Beschaffung, um den Übergang zu einem kreislaforientierten öffentlichen Nahverkehr zu unterstützen:

- installation of monitoring systems on Installation von Überwachungssystemen in den Fahrzeugflotten und an der Infrastruktur zur Optimierung des Energieverbrauchs und zur vorausschauenden Instandhaltung bis 2030,
- Analyse und Einsatz von Energiespeichersystemen sowie Synergien mit „Renewable Energy Communities“ (REC) bis 2027,
- Installation von Photovoltaikanlagen mit Speichermöglichkeiten in den Depots bis 2027,
- Bewertung und Wiederverwendung ausgetauschter Elektrobussbatterien für Second-Life-Anwendungen ab 2026,
- Entwicklung von Sanierungs- und Aufarbeitungsplänen für Batterien der Elektrofahrzeugflotte im Zeitraum 2026-2030,
- Erstellung einer unternehmensweiten Kreislaufstrategie, die operative Aktivitäten und Governance-Prozesse abdeckt,
- die Integration von Prinzipien der kreislaforientierten Beschaffung in die Beschaffungsverfahren für Fahrzeuge und die Lieferkette.

### 3.4.4 Monitoring- und Bewertungsaspekte

Der Aktionsplan legt einen strukturierten Monitorings- und Bewertungsrahmen fest, der darauf ausgelegt ist, sowohl die Umsetzungsfortschritte als auch die langfristigen Auswirkungen der Maßnahmen zur Kreislaufwirtschaft innerhalb von ATB Mobility zu verfolgen. Das Monitoringssystem gliedert sich in drei sich ergänzende Dimensionen: die Umsetzung konkreter Maßnahmen, die Entwicklung strategischer und organisatorischer Ergebnisse sowie die Integration von Praktiken der kreislauforientierten Beschaffung.

Die Monitoring der physischen Maßnahmen konzentriert sich auf operative Aspekte wie den Anteil der überwachten Flotte und Infrastruktur, die installierte Kapazität an erneuerbaren Energien, den Einsatz von Energiespeichersystemen und die Anzahl der Anlagen, die durch vorausschauende Instandhaltungsansätze verwaltet werden. Parallel dazu werden strategische Indikatoren verwendet, um die Entwicklung und Umsetzung von Plänen, Strategien und Pilotmaßnahmen im Zusammenhang mit Kreislaufwirtschaft sowie den Grad der Integration von Kreislaufprinzipien in Unternehmensprozesse und Führungsstrukturen zu bewerten. Die beschaffungsbezogene Monitoring bewertet die schrittweise Einbeziehung von Kreislaufwirtschaftskriterien in Beschaffungsverfahren, einschließlich des Anteils und des Wertes von Beschaffungsprozessen, bei denen Lebenszyklus- und Nachhaltigkeitsanforderungen zur Anwendung kommen.

Der Aktionsplan sieht zudem eine umfassendere Wirkungsmonitoring vor, die sich auf die Erzeugung erneuerbarer Energien und den Eigenverbrauch, die Verlängerung der Lebensdauer von Anlagen, Einsparungen bei der Instandhaltung, die Senkung der Lebenszykluskosten und aufgeschobene Kapitalinvestitionen bezieht.

Die Bewertungsmethodik kombiniert die automatisierte Erfassung von Betriebsdaten mit strukturierten internen Berichtsprozessen. Zu den Datenquellen gehören Flottenmanagementsysteme, Wartungsdatenbanken, Energiemanagementsysteme, Beschaffungsunterlagen und Projektdokumentation. Die operativen Indikatoren sollen vierteljährlich überprüft werden, während strategische und finanzielle Indikatoren in längeren Abständen bewertet werden, um die mittel- und langfristige Entscheidungsfindung zu unterstützen.

### 3.4.5 Einbeziehung der Interessengruppen in den Vorbereitungs- und Umsetzungsprozess

Die Einbindung der Interessengruppen spielte während der gesamten Entwicklung des Aktionsplans eine zentrale Rolle und wurde als kontinuierlicher Prozess und nicht als einmalige Konsultationsmaßnahme integriert. Zu Beginn konzentrierten sich die Aktivitäten darauf, Lieferanten und technische Interessengruppen durch Workshops, Umfragen und Diskussionen über Ansätze der kreislauforientierten Beschaffung und Kriterien für umweltfreundliche Beschaffung sowohl auf EU- als auch auf nationaler Ebene einzubeziehen. Dieser Austausch trug dazu bei, praktische Chancen und Hindernisse im Zusammenhang mit kreislauforientierten Lieferketten und Beschaffungspraktiken zu identifizieren. Der Vorbereitungsprozess umfasste eine umfassende interne Koordination zwischen ATB Mobility und ihren Tochtergesellschaften, darunter TEB und ATB Servizi, um sicherzustellen, dass operative, technische und strategische Perspektiven in die Festlegung der Maßnahmen einfließen. Extern spielte die Stadt Bergamo sowohl als Anteilseigner als auch als institutioneller Partner eine Schlüsselrolle und unterstützte die Abstimmung des Aktionsplans auf übergreifende Ziele in den Bereichen städtische Mobilität, Klima und Nachhaltigkeit (vom Wissensaustausch im Rahmen europäischer Kooperationsprojekte und internationaler Expertennetzwerke. Insbesondere die

Zusammenarbeit im Rahmen von Projekten wie Interreg Alpine Space „Degree4Alps“ und Interreg Euro-MED „E-MED“ unterstützte die Bewertung der Skalierbarkeit, Übertragbarkeit und des Innovationspotenzials der vorgeschlagenen Maßnahmen. Bei der Umsetzung soll ATB Mobility den gesamten Durchführungs- und Monitoringsprozess koordinieren, während Tochtergesellschaften, technische Partner und externe Interessengruppen zur operativen Umsetzung, Datenbereitstellung, technischen Expertise und zu Evaluierungsaktivitäten beitragen.

### 3.4.6 Wichtigste Erkenntnisse aus dem Prozess zur Entwicklung des Action Plans

Der Entwicklungsprozess hat gezeigt, dass sich die Prinzipien der Kreislaufwirtschaft durch eine Kombination aus technischen, organisatorischen und Steuerungsmaßnahmen systematisch in die Planung und den Betrieb des öffentlichen Nahverkehrs integriert werden können.

Der Prozess unterstrich zudem die Bedeutung der Einbindung von kreislauforientierter Beschaffung, vorausschauender Instandhaltung, Systemen für erneuerbare Energien und Lebenszyklusmanagement in die langfristige Planung des öffentlichen Nahverkehrs. Insgesamt bietet der Aktionsplan einen praktischen Rahmen zur Unterstützung des Übergangs der ATB zu einem nachhaltigeren, widerstandsfähigeren und kreislauforientierten öffentlichen Nahverkehrssystem.



#### WICHTIGSTE ERKENNTNISSE

**Ganzheitlicher und strategisch abgestimmter Ansatz:** Die Integration von Kreislaufwirtschaft in öffentliche Verkehrssysteme funktioniert am besten, wenn sie abteilungsübergreifend angegangen und auf umfassendere Mobilitäts- und Klimastrategien abgestimmt wird, insbesondere auf den Plan für nachhaltige urbane Mobilität (SUMP).

**Interne Koordination:** Eine frühzeitige und kontinuierliche Zusammenarbeit innerhalb der Organisation trägt dazu bei, dass die vorgeschlagenen Maßnahmen realisierbar und praktikabel sind und von den für die Umsetzung zuständigen Teams unterstützt werden.

**Externe Einbindung:** Die Zusammenarbeit mit externen Interessengruppen hilft dabei, Kreislaufwirtschaftsmaßnahmen mit übergeordneten politischen Zielen, Förderprioritäten und regulatorischen Erwartungen zu verknüpfen.

**Pilotmaßnahmen unterstützen fundierte Entscheidungsfindung:** Pilotprojekte sind wertvoll, um innovative Lösungen zu testen, Herausforderungen zu identifizieren und Erkenntnisse zu gewinnen, bevor sie in größerem Maßstab umgesetzt werden.

**Flexibilität im Umgang mit Unsicherheiten:** Die Kreislaufwirtschaftsplanung muss anpassungsfähig bleiben gegenüber sich ändernden Bedingungen in Bezug auf Finanzierung, Technologie und Regulierung.

**Daten und Monitoring für eine evidenzbasierte Planung:** Zuverlässige Daten und Monitoringssysteme sind notwendig, um Fortschritte zu verfolgen, Ergebnisse zu bewerten und bessere strategische Entscheidungen zu unterstützen.

Abbildung 20. Wichtigste Erkenntnisse aus Bergamo

## 4. Erkenntnisse und Empfehlungen

Die Entwicklung der CE4CE-Strategien und Aktionspläne hat gezeigt, dass die Prinzipien der Kreislaufwirtschaft öffentliche Verkehrsbehörden und -betreiber dabei unterstützen können, von isolierten Kreislaufmaßnahmen zu systemischen, lebenszyklusbasierten Ansätzen überzugehen. Die Strategien unterstrichen die Bedeutung der Abfallreduzierung, der Ressourcenoptimierung und der Schaffung langfristiger Werte in Energiesystemen, Infrastruktur und Rollmaterial.

### 4.1. Erfahrungen aus dem Entwicklungsprozess der Strategien und Action Plans

Eine der wichtigsten Erkenntnisse ist, dass Kreislaufwirtschaft eine Lebenszyklusperspektive über Planung, Betrieb, Instandhaltung und Entsorgung hinweg erfordert. Das Dokument betont, dass Recycling allein nicht ausreicht, wenn es nur am Ende des Lebenszyklus angewendet wird, und dass der Wert stattdessen über die gesamte Lebensdauer von Anlagen hinweg durch die Reduzierung des Materialbedarfs, die Verlängerung der Lebensdauer, Wiederverwendung, Aufarbeitung und Recycling erhalten und regeneriert werden muss.

Eine weitere wichtige Erkenntnis betrifft die Rolle der Digitalisierung und des Datenmanagements. Die Strategien identifizieren die Digitalisierung als eine zentrale Voraussetzung für Kreislaufwirtschaft, einschließlich des Einsatzes von Energiemanagementsystemen, Echtzeit-Monitoring, Datenanalyse, digitalen Modellen und Simulationen zur Unterstützung von Planung, Instandhaltung und Betriebsoptimierung.

Die CE4CE-Aktionspläne und -Strategien haben zudem die Bedeutung der Zusammenarbeit zwischen den Akteuren aufgezeigt. Die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft hängt von der Zusammenarbeit zwischen Verkehrsbehörden, Verkehrsbetrieben, Kommunen, Zulieferern, Forschungseinrichtungen, Energieversorgern und anderen Akteuren entlang der gesamten Wertschöpfungskette ab. Die Strategien betonen wiederholt, dass Koordination, Wissensaustausch und die Einbindung der Akteure wichtige Voraussetzungen für die Umsetzung sind.

Eine weitere Erkenntnis ist, dass die Verlängerung der Lebensdauer von Anlagen eine wichtige Möglichkeit darstellt, den Ressourcenverbrauch zu senken und den eingebetteten Wert zu erhalten. Die Strategien heben vorbeugende und vorausschauende Instandhaltung, Sanierung, Second-Life-Anwendungen und die Wiederverwendung von Infrastrukturkomponenten und Materialien als wichtige Ansätze zur Erreichung der Kreislaufwirtschaftsziele hervor.

Die Strategien unterstreichen zudem, wie wichtig es ist, die Prinzipien der Kreislaufwirtschaft in Beschaffungs- und Steuerungsprozesse zu integrieren. Sie heben hervor, dass Vergabeverfahren, Verträge und Leistungsanforderungen das Verhalten der Lieferanten beeinflussen und Innovationen entlang der Wertschöpfungskette fördern können.

Schließlich zeigten die Strategien und Aktionspläne, dass Pilotaktivitäten und praktische Versuche wichtig sind, um Umsetzungsrisiken zu verringern, innovative Lösungen zu testen und die Übertragung auf andere Kontexte des öffentlichen Verkehrs zu unterstützen.

## 4.2. Empfehlungen für die Maßnahmenumsetzungs

Die folgenden Schlüsselaspekte wurden in den CE4CE-Strategien und Aktionsplänen als wichtige Empfehlungen und Voraussetzungen für die Umsetzung von Kreislaufwirtschaftsansätzen in öffentlichen Verkehrssystemen identifiziert.

### Strategische und planerische Aspekte

- Anwendung des Lebenszyklusdenkens in Planung, Betrieb, Instandhaltung und Entsorgungsmanagement.
- Integration von Kreislaufwirtschaftszielen in Verkehrs-, Energie- und Nachhaltigkeitsstrategien.
- Die lokale Umsetzung an den europäischen und nationalen Zielen für Kreislaufwirtschaft und Klimaschutz ausrichten.

### Digitalisierung und Monitoring

- Energiemanagementsysteme einsetzen, um Energieflüsse zu überwachen und zu optimieren.
- Einsatz von EchtzeitMonitoring und Datenanalyse zur Verbesserung der Energieeffizienz und zur Erkennung von Verlusten.
- Digitale Instrumente zur Überwachung der Batterieleistung und des Leistungsabfalls nutzen.
- Entwicklung digitaler Modelle und Simulationen, um die Planung von Ladeinfrastruktur, Energiespeichern und der Integration erneuerbarer Energien zu unterstützen.
- Integration von Energiedaten in übergeordnete Flotten- und Betriebsmanagementsysteme.

### Governance und Zusammenarbeit mit Interessengruppen

- Aufbau von langfristigen Partnerschaften mit Energieversorgern, Netzbetreibern und anderen Interessengruppen.
- Klare Rollenverteilung und Verantwortlichkeiten für das Energie- und Anlagenmanagement.
- Förderung der Zusammenarbeit zwischen öffentlichen Verkehrsbehörden, Betreibern, Lieferanten und Forschungseinrichtungen.
- Unterstützung der Teilnahme an Brancheninitiativen und Plattformen zum Wissensaustausch.
- Sicherstellung der Einbindung der Interessengruppen während der Vorbereitungs- und Umsetzungsprozesse.

### Technische und betriebliche Aspekte

- Präventive und vorausschauende Instandhaltungsansätze priorisieren.
- Wiederverwendung, Aufarbeitung und Zweitverwendung von Infrastruktur und Schienenfahrzeugen fördern.
- Einführung von regenerativen Brems- und Energierückgewinnungssysteme.
- Einsatz von Technologien für erneuerbare Energien und Energiespeichersysteme.
- Einsatz von ausgereiften und effizienten Energieversorgungslösungen.

### Finanzielle und organisatorische Aspekte

- Den Zugang zu Fördermitteln und Finanzierungsinstrumenten für Investitionen in erneuerbare Energien und Speichersysteme unterstützen.
- Förderung des Kapazitätsaufbaus bei öffentlichen Verkehrsbehörden und Betreibern.
- Nutzung von Pilotprojekten als Lernumgebungen, die die Übertragung und Umsetzung unterstützen.
- Überwachung der Energieeffizienz und der Ergebnisse im Bereich Kreislaufwirtschaft anhand definierter Indikatoren und Rahmenwerken.

## 5. Schlussfolgerungen

Die CE4CE-Strategien und Aktionspläne zeigen auf, wie Prinzipien der Kreislaufwirtschaft ressourceneffizientere und nachhaltigere öffentliche Verkehrssysteme unterstützen können. Durch die Anwendung des AVOID-EXTEND-TRANSFORM-ENABLE (AETE)-Rahmenwerks auf Energiesysteme, Infrastruktur und Fahrzeuge fördern diese strategischen Dokumente einen lebenszyklusbasierten Ansatz, der auf Abfallvermeidung, Werterhaltung und die Optimierung der Ressourcennutzung ausgerichtet ist.

Die Strategien zeigen, dass Kreislaufwirtschaft im öffentlichen Verkehr von der Kombination technischer, organisatorischer und steuerungsbezogener Ansätze abhängt. Digitalisierung, Zusammenarbeit der Interessengruppen, Innovation, Beschaffungspraktiken und langfristige Planung werden als wichtige Rahmenbedingungen dargestellt, die die Umsetzung und Skalierbarkeit kreislaufwirtschaftlicher Lösungen unterstützen.

Die CE4CE-Aktionspläne unterstreichen zudem die Bedeutung von Pilotprojekten, Experimenten und Wissensaustausch für die Unterstützung der Umsetzung, der Skalierung und der Übertragbarkeit. Durch praktische Tests und die Zusammenarbeit zwischen den Akteuren sowie auf der Grundlage einer soliden strategischen Evidenzbasis haben die Projektpartner Aktionspläne erarbeitet, die dazu beitragen, Hindernisse abzubauen und den Übergang zu kreislaufwirtschaftlichen öffentlichen Verkehrssystemen in ihrem lokalen und regionalen Kontext zu unterstützen.

Mit Blick auf die Zukunft bieten die Strategien eine Grundlage für die weitere Entwicklung von Praktiken der Kreislaufwirtschaft im öffentlichen Nahverkehr. Die fortgesetzte Zusammenarbeit, der Kapazitätsaufbau, die Digitalisierung und die Integration von Kreislaufprinzipien in Planungs- und Beschaffungsprozesse werden weiterhin wichtig sein, um die langfristige Umsetzung und die Ausrichtung auf europäische Nachhaltigkeitsziele zu unterstützen.

Weitere Einzelheiten zu den Strategien und Aktionsplänen sowie zu den im Rahmen von CE4CE entwickelten Pilotprojekten und Lösungen finden sich auf der Projektwebsite: <https://www.interreg-central.eu/projects/ce4ce/>

## 6. Quellenangaben

### Auf der Projektwebsite veröffentlichte Ergebnisse des CE4CE-Projekts

- Ergebnis D.2.1.1 Bericht über die gemeinsame Entwicklung einer Kreislaufstrategie zur besseren Nutzung von Abfallenergie und erneuerbaren Energiequellen im öffentlichen Nahverkehr
- Ergebnis D.2.2.1: Bericht über die gemeinsame Entwicklung einer Kreislaufstrategie zur Werterhaltung und zur Reduzierung von Infrastrukturabfällen
- Ergebnis D.2.3.1: Bericht über die gemeinsame Entwicklung einer Kreislaufstrategie zur Werterhaltung und zur Reduzierung von Abfall bei Fahrzeugen und rollendem Material des öffentlichen Nahverkehrs
- Ergebnis D.2.1.2 Aktionsplan Maribor, Slowenien
- Ergebnis D.2.2.2 - Teil 1: Aktionsplan Verkehrsbetriebe Leipzig, Deutschland
- Ergebnis D.2.2.2 - Teil 2 Aktionsplan Gdynia, Polen
- Ergebnis D.2.3.2 Aktionsplan ATB Mobility, Bergamo, Italien

### Strategischer und regulatorischer Rahmen

- Verordnung über die Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (AFIR): [https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/clean-transport/alternative-fuels-sustainable-mobility-europe/alternative-fuels-infrastructure\\_en](https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/clean-transport/alternative-fuels-sustainable-mobility-europe/alternative-fuels-infrastructure_en)
- Batterieverordnung: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1542/oj/eng>
- Bergamos Aktionsplan für nachhaltige Energie und Klimaschutz: <https://www.terraria.com/en/case-studies/secap-of-the-municipality-of-bergamo/>
- Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft: [https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy\\_en?prefLang=de](https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy_en?prefLang=de)
- Richtlinie über saubere Fahrzeuge: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2019/1161/oj/eng>
- Richtlinie zur Energieeffizienz: [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive_en)
- Europäischer Green Deal: [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF)
- Interreg Alpine Space Degree4Alps: <https://www.alpine-space.eu/project/degree4alps/>
- Interreg Euro-MED: <https://interreg-euro-med.eu/en/>
- Italienischer Wiederaufbau- und Resilienzplan (PNRR): [https://reforms-investments.ec.europa.eu/recovery-and-resilience-facility-1/country-pages/italys-recovery-and-resilience-plan\\_en](https://reforms-investments.ec.europa.eu/recovery-and-resilience-facility-1/country-pages/italys-recovery-and-resilience-plan_en)
- Polnisches Gesetz über Elektromobilität und alternative Kraftstoffe: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20180000317>
- Richtlinie über erneuerbare Energien: [https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en)
- Überarbeitete TENT-Verordnung: [https://urban-mobility-observatory.transport.ec.europa.eu/news-events/news/revise-ten-t-regulation-adopted-sustainable-and-resilient-transport-network-bringing-europe-closer-2024-06-25\\_en](https://urban-mobility-observatory.transport.ec.europa.eu/news-events/news/revise-ten-t-regulation-adopted-sustainable-and-resilient-transport-network-bringing-europe-closer-2024-06-25_en)

- Slowenischer Ökofonds: <https://www.ekosklad.si/english>
- Smart City: Smart City Lab Leipzig - Stadt Leipzig
- Entwicklungsstrategie der Stadt Gdynia 2030: [strategia rozwoju miasta gdyni 2030\\_folder.pdf](#)
- SUMP Bergamo: <https://www.trt.it/en/progetti/sump-of-bergamo/>
- SUMP Gdynia: <https://www.climatehub.si/en/sustainable-mobility-good-practice-1/>
- SUMP Maribor: [OCPS-MOM-brosura-05.pdf](#)
- SUMPs für den Ostseeraum: <https://interreg-baltic.eu/project/sumpsforbsr/>
- Strategie der Stadt Maribor für den Übergang zur Kreislaufwirtschaft 2024-2030: [https://circularcitiesdeclaration.eu/fileadmin/user\\_upload/Materials/SKG\\_MOM\\_2024%E2%80%932030\\_\\_1\\_.pdf](https://circularcitiesdeclaration.eu/fileadmin/user_upload/Materials/SKG_MOM_2024%E2%80%932030__1_.pdf)
- Der Klimastadtvertrag von Bergamo: <https://netzerocities.app/resource-4432>
- Stadtdatenplattform: Willkommen - Connected Urban Twins

### Unterstützung durch Akteure und Experten

- CEMIT - Zentrum für Überwachung, Informationstechnologien und Verkehrssysteme: <https://cemit.com/>
- CI4RAIL - Condition Intelligence for Rail: <https://www.ci4rail.com/>
- IFTEC GmbH & Co. KG: <https://www.iftec.de/index.html>
- ZENIT GmbH - Zentrum für Innovation und Technik in Nordrhein-Westfalen: <https://www.zenit.de/english/>
- PKT Gdynia - Oberleitungsbusbetreiber Gdynia: <https://pktgdynia.pl/en/firm/>
- ZKM Gdynia - Verkehrsbetriebe Gdynia: <https://zkmgdynia.pl/>
- ICLEI Europe - Kommunalverbund für Nachhaltigkeit: <https://iclei-europe.org/>
- UITP - Internationaler Verband für den öffentlichen Nahverkehr: <https://www.uitp.org/>
- EIT Urban Mobility - Hub East: <https://www.eiturbanmobility.eu/>
- PantoHealth - PANTOhealth: <https://pantohealth.com/>
- Marprom - Marprom, öffentliches Verkehrsunternehmen Maribor: <https://www.marprom.si/>
- Public Holdings Maribor - Javni holding Maribor: <https://www.jhmb.si/>
- Energieagentur / ENERGAP - Energie- und Klimaagentur für Podravje / Energetska podnebna agencija za Podravje: <https://www.energap.si/homepage>
- Elektro Maribor d.d.: <https://elektro-maribor.si/>
- RRA Podravje-Maribor - Regionalentwicklungsagentur für Podravje-Maribor: <https://rra-podravje.si/>
- Smart City Lab Leipzig - Stadt Leipzig: <https://www.leipzig.de/leipzig-strategie/digitale-stadt/smart-city-lab-leipzig>
- Connected Urban Twins - Connected Urban Twins / Initiative für städtische Datenplattformen: <https://www.connectedurbantwins.de/>
- MR.pro® - MR.pro® Infra-Datenmanagement-Software: <https://www.mr-pro.deen/indexEN.php>

- ZEDAS - ZEDAS GmbH / zedas@asset: <https://www.zedas.com/en/>
- TEB - Tramvie Elettriche Bergamasche: <https://www.teb.bergamo.it/en>
- NetZeroCities - Plattform für Klimastadtverträge: <https://netzerocities.app/>



Scan me for the project website

Copyright: Szeged Transport Company

The CE4CE project (Public Transport Infrastructure in Central Europe - facilitate transitioning to circular economy) empowers circular economy system thinking for public transport actors in Central Europe to reduce waste and create value along new life cycles of infrastructure and rolling stock.

## CONTACT US

Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB) GmbH/ Leipzig Public Transport Company

Project coordinator: Mr. Stefan Röll

Email: [CE4CE.Verkehrsbetriebe@L.de](mailto:CE4CE.Verkehrsbetriebe@L.de)

Project website: <https://www.interreg-central.eu/projects/ce4ce/>

LinkedIn: <https://www.linkedin.com/company/interreg-ce4ce/>

YouTube: <https://www.youtube.com/@InterregCE4CE>

Project knowledge platform: <https://circularity4publictransport.eu/>

