

Publizierbarer Endbericht

Gilt für Studien aus der Programmlinie Forschung

A) Projektdaten

Allgemeines zum Projekt	
Kurztitel:	V2P – Vehicle to Production
Langtitel:	V2P – Integrated Energy Systems for Sustainable (Food) Production
Zitiervorschlag:	Köll, L., Kitanoski, F., Huß, A., Görg, J. und Pichler, F. (2026). <i>V2P – Integrated Energy Systems for Sustainable (Food) Production</i> . Publizierbarer Endbericht. Klima- und Energiefonds.
Programm inkl. Jahr:	Zero Emission Mobility 6. Ausschreibung 2023/01
Dauer:	01.03.2024 bis 31.03.2026
KoordinatorIn/ ProjekteinreicherIn:	Energie Ingenieure Consulting GmbH Kärntner Straße 30 6020 Innsbruck
Kontaktperson Name:	Dipl.-Ing. Lorenz Köll
Kontaktperson Adresse:	
Kontaktperson Telefon:	+43 660 8184 006
Kontaktperson E-Mail:	office@energie-ingenieure.com
Projekt- und KooperationspartnerIn (inkl. Bundesland):	Energie Ingenieure Consulting GmbH (T); PBX GmbH (NÖ); HiWiTronics (Stmk.); INEAtch GmbH (NÖ); Virtual Vehicle Research GmbH (Stmk.)
Schlagwörter:	Vehicle-to-Production; Bidirektionales Laden; Energy Center; Digital Twin; Elektromobilität; Energieeffizienz; Lastmanagement
Projektgesamtkosten:	1.129.742 €
Fördersumme:	915.731 €
Klimafonds-Nr:	K23ZM0F564292
Erstellt am:	01.07.2026

B) Projektübersicht

1 Kurzfassung

Das Projekt V2P (Vehicle-to-Production) verfolgte eine ebenso einfache wie wirkungsvolle Idee: die Traktionsbatterien elektrischer Nutzfahrzeugflotten (eLCV) als flexible Speicher für den Energiebedarf von Produktionsbetrieben nutzbar zu machen. Hierfür wurde im Projekt ein offenes, skalierbares Energiemanagement-Framework entwickelt und validiert.

Ein zentrales Ergebnis des Projekts ist das V2P Energy Center, eine modulare Forschungsplattform zur Planung, Analyse und Optimierung betrieblicher Energiesysteme. Es verknüpft Messdaten, Prognosen und Optimierungsverfahren und ermöglicht die integrierte Bewertung von Energiekosten, Eigenverbrauch, CO₂-Emissionen und Energieautonomie.

Ein wesentlicher Innovationsschritt war die erfolgreiche Kopplung des Energy Centers mit dem im Projekt entwickelten Digital Twin Ecosystem. Über Schnittstellen werden Betriebsdaten, Randbedingungen und Simulationsergebnisse ausgetauscht und für optimierungsbasierte Entscheidungen genutzt. So wurde gezeigt, dass digitale Zwillinge, Monitoringdaten und Optimierungsmodelle gemeinsam zur Steuerung komplexer industrieller Energiesysteme eingesetzt werden können.

Bei den zwei Praxispartnern, einer Großbäckerei und einem Druckereibetrieb, wurde ein Monitoring- und Datenintegrationsframework umgesetzt. Reale Betriebsdaten aus Energieversorgung, Produktion, Photovoltaik und Fahrzeugflotten wurden zusammengeführt und für Simulation und Optimierung nutzbar gemacht.

Im Hardwarebereich wurde ein Demonstrator für bidirektionale Leistungselektronik entwickelt. Damit konnte gezeigt werden, dass eLCV über eine OEM-unabhängige Nachrüstlösung mittels ePTO-Schnittstelle nicht nur geladen, sondern auch kontrolliert elektrische Energie in betriebliche Energiesysteme rückspeisen können.

Das Projekt zeigte, wie eLCV Flotten, digitale Zwillinge, Monitoringplattformen und Optimierungsverfahren gemeinsam zur Erhöhung betrieblicher Flexibilität und zur besseren Integration erneuerbarer Energien in industriellen Anwendungen beitragen können.

Insgesamt schafft V2P damit eine tragfähige Grundlage für datengetriebene Energiemanagementsysteme in Produktionsbetrieben.

2 Executive Summary

The V2P project (Vehicle-to-Production) pursued an idea that was as simple as it was effective: to make the traction batteries of electric light commercial vehicle fleets (eLCV) usable as flexible storage systems for the energy needs of production companies. The project goal was to develop and validate an open, scalable energy management framework.

A central result of the project is the V2P Energy Center, a modular research platform for the planning, analysis and optimisation of operational energy systems. It links measurement data, forecasts and optimisation methods and enables the integrated assessment of energy costs, self-consumption, CO₂ emissions and energy autonomy.

A key innovation step was the successful coupling of the Energy Center with the Digital Twin Ecosystem developed in the project. Via interfaces, operational data, boundary conditions and simulation results are exchanged and used for optimisation-based decisions. This demonstrated that digital twins, monitoring data and optimisation models can be jointly used to control complex industrial energy systems.

At the two practice partners, a large bakery and a printing company, a monitoring and data integration framework was implemented. Real operational data from energy supply, production, photovoltaics and vehicle fleets were consolidated and made usable for simulation and optimisation. This created a robust basis for the Energy Center and the Digital Twin Ecosystem.

In the hardware domain, a demonstrator for bidirectional power electronics was developed. This showed that eLCVs can not only be charged via an OEM-independent retrofit solution using an ePTO interface, but can also feed electrical energy back into operational energy systems in a controlled manner.

The project showed how eLCV fleets, digital twins, monitoring platforms and optimisation methods can jointly contribute to increasing operational flexibility and improving the integration of renewable energy in industrial applications.

Overall, V2P provides a viable foundation for data-driven energy management systems in production companies.

3 Hintergrund und Zielsetzung

Besonders städtische und stadtnahe Räume stehen vor der doppelten Herausforderung aus Verkehrsbelastung und verkehrsbedingten Emissionen. Noch immer werden rund 98 % der leichten Nutzfahrzeuge (Electric Light Commercial Vehicles - eLCV) fossil betrieben, ein großer Teil davon im innerstädtischen Güterverkehr. Dies steht im Widerspruch zu den europäischen Klimazielen. Eine disruptive Beschleunigung des emissionsfreien Güterverkehrs ist daher notwendig und erfordert mehr als nur effiziente Fahrzeuge und Komponenten.

Die Integration von Elektrofahrzeugen in ein ganzheitliches Energiesystem, das erneuerbare Energien nutzt, bringt eigene Herausforderungen mit sich: die schwankende Verfügbarkeit erneuerbarer Quellen, der Bedarf an Speicherung und Netzausgleich sowie die Zurückhaltung des produzierenden Gewerbes gegenüber Eingriffen in seine laufenden Produktionssysteme bzw. deren Energiesysteme.

Genau hier setzt V2P an.

Das Projekt soll die Basis für eine emissionsfreie Produktion und Warenlogistik schaffen, indem emissionsfreie Infrastruktur für hocheffiziente Produktionsstätten erforscht und mit emissionsfreien Fahrzeugflotten zur Energiespeicherung und -verteilung verknüpft wird. Dabei wurden folgende drei zentralen Projektziele definiert:

- Beschleunigung der Einführung elektrischer leichter Nutzfahrzeuge (eLCVs) durch Abbau technischer und wirtschaftlicher Eintrittsbarrieren.
- Maximierung der Gesamtenergieeffizienz durch Nutzung lokaler Energieüberschüsse und bislang ungenutzter Ressourcen über die gesamte Lieferkette.
- Minimierung der Gesamtenergiekosten durch datenbasierte Überwachung und Steuerung der Energiezyklen mithilfe von Sensorik und IT-Lösungen.

4 Projektinhalt und Ergebnis(se)

Das V2P-Gesamtkonzept

V2P verknüpft Produktionsprozesse, erneuerbare Erzeugung, stationäre Speicher, Ladeinfrastruktur und elektrische Fahrzeugflotten zu einem gemeinsamen, optimierten Energiesystem. Die Fahrzeugtraktionsbatterien werden dabei – abhängig von Touren- und Betriebsanforderungen – als temporäre, bidirektional nutzbare Speicher in das betriebliche Energiesystem eingebunden (Vehicle-to-Production).

V2P Energy Center – die zentrale Planungs- und Optimierungsplattform

Das V2P - Energy Center wurde unter Federführung der EIC als funktionaler Forschungsprototyp und Demonstrator konzipiert. Es folgt einer im Projekt entwickelten dreistufigen Architektur: Die strategische Ebene analysiert Standortdaten und definiert Zielgrößen (Autarkie, Kosten, CO₂, Infrastruktur), die taktische Ebene überführt diese in technische Auslegungen und Szenarien, und die operative Ebene unterstützt die datenbasierte Betriebsführung von Anlagen, Speichern und Flotten.

Bereits auf der strategischen Ebene lassen sich häufig erhebliche Energieeinsparpotenziale identifizieren.

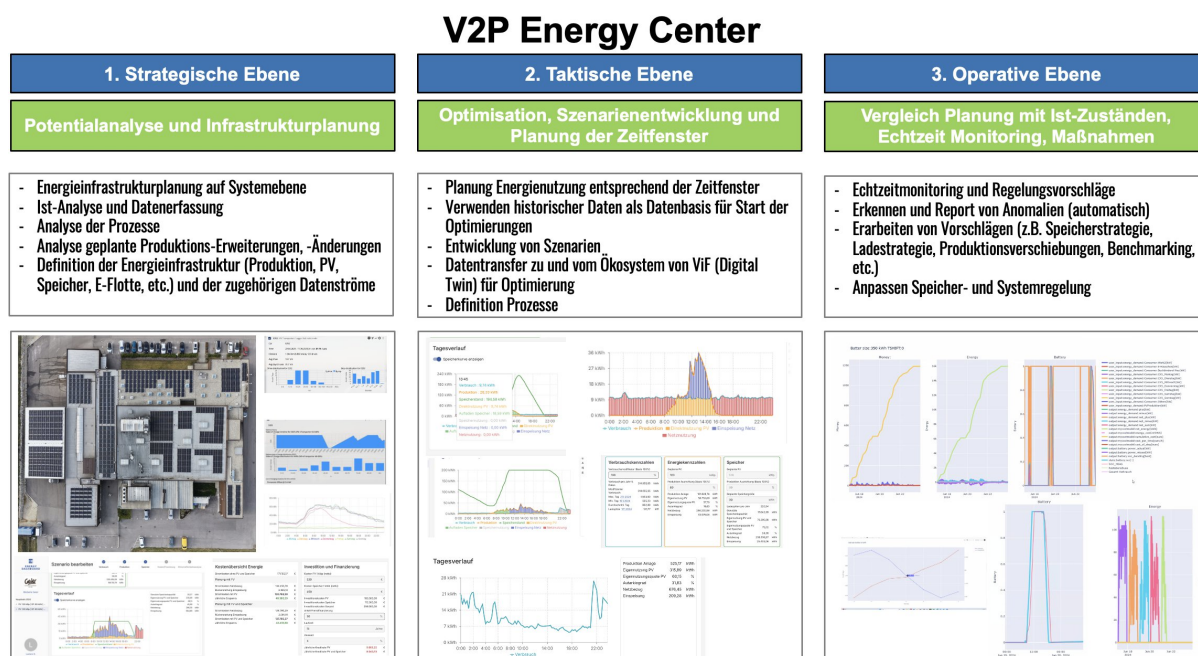


Abbildung 1: Architektur des V2P Energy Centers (Strategisch, Taktisch, Operativ).

Die dreistufige Architektur wurde in einem funktionalen Forschungsprototyp umgesetzt welcher die Simulationen, die energetischen und wirtschaftlichen Betrachtungen, die Optimierungen über die Schnittstelle zum Virtual Vehicle Digital Twin Ecosystem und die Szenarienerstellungen bis hin zur Unterstützung

bei der strategischen Planung des Energiesystems und der Integration der E-Flotte ermöglichte.

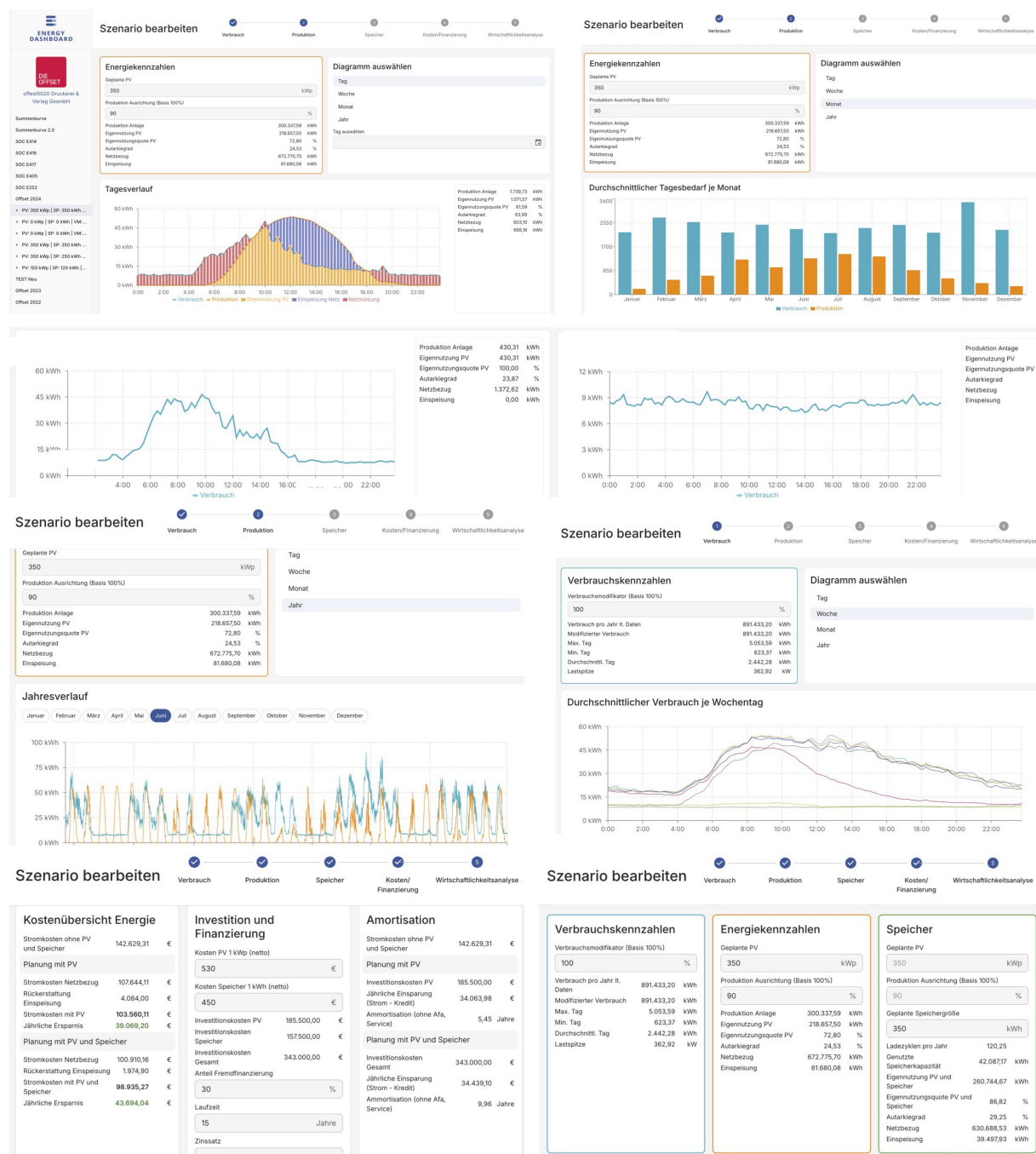


Abbildung 2: V2P Energy Center

Ein dazugehöriger nutzerorientierter und evaluierter Dashboard-Prototyp (Klickprototyp) bündelt Verbrauch, PV-Erzeugung, Speicherstatus, Netzbezug, Einspeisung und Flottenzustände, ermöglicht einen Plan-Ist-Abgleich mit Abweichungserkennung und leitet konkrete Maßnahmenvorschläge ab.

Bidirektionale Leistungselektronik – Fahrzeuge als steuerbare Speicher

Gemeinsam entwickelten HiWiTronics (Leistungselektronik) und PBX (Fahrzeugintegration) ein funktionsfähiges, herstellerunabhängiges bidirektionales Modul. Es ermöglicht kommerziellen Elektrofahrzeugen, die ursprünglich nicht für den V2L/V2G-Betrieb ausgelegt waren, als steuerbare Speicherressource zu agieren.

Beide Kernfunktionen – kontrollierte Energieabgabe in das dreiphasige Netz und Laden der Batterie – wurden unter realen Bedingungen über zwei ePTO-Spannungsniveaus (230 V AC am IVECO eMoovy, 400 V DC) verifiziert. Ergänzend integrierte PBX die energieintensive Transportkälteanlage, sodass energierelevante Daten aus Antrieb und Nebenverbrauchern erfasst und an das Energy Center bzw. das Digital Twin Eco System übertragen werden.



Abbildung 3: Anschluss an den ePTO des Fahrzeugs und Test des bidirektionalen V2P-Systems.

Digital Twin Eco System – Optimierung unter realen Randbedingungen

Das Digital Twin Eco System wurde als modulares Framework etabliert und dokumentiert. Über eine nichtlineare Optimierungs-Engine berechnet es kosten- und emissionsoptimierte Energiefahrpläne unter Berücksichtigung physikalischer und betrieblicher Randbedingungen, Produktionspläne, Flottenlogistik und

Prognosedaten. Die bidirektionale Anbindung an das Energy Center ermöglicht die automatisierte Erstellung von Tages-, Wochen- und Monatsplänen.

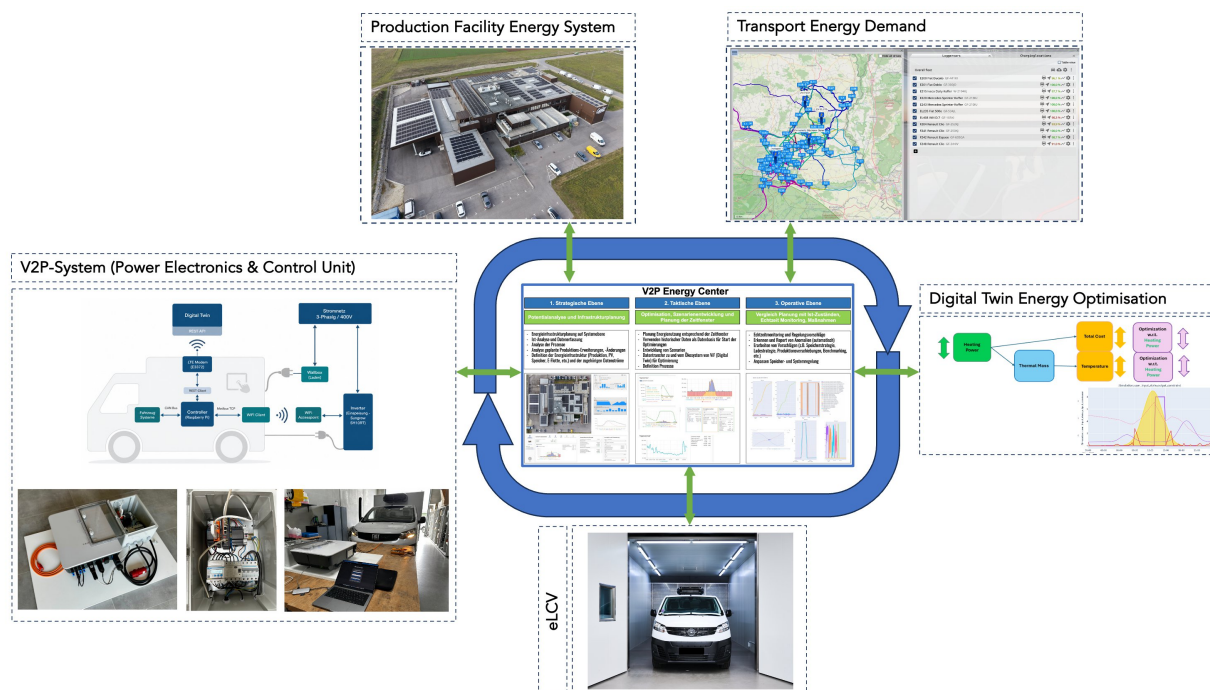


Abbildung 4: V2P-Framework – Zusammenspiel von Energy Center und Digital Twin Eco System.

In einer exemplarischen Fallstudie wurde der Einfluss der lokalen Speichergöße untersucht: Mit zunehmender Batteriegröße sinken die kumulierten Energiekosten deutlich, wobei zugleich die wirtschaftlich sinnvolle Dimensionierung sichtbar wird.

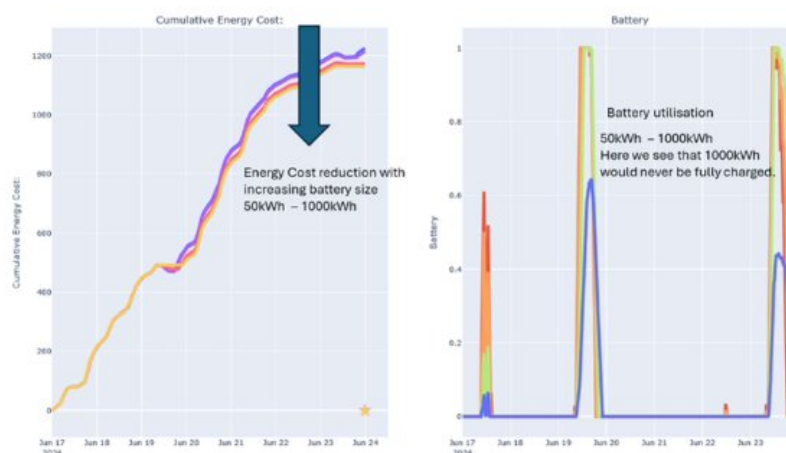


Abbildung 5: Optimierungsergebnis – kumulierte Energiekosten und Batteriewerklastung bei Variation der Speichergöße (50–1000 kWh).

Datenintegration und Monitoring

INEAtech integrierte die heterogenen Energie- und Betriebsdaten beider Use Cases in ein einheitliches Data Warehouse mit standardisierten ETL-Pipelines und einer API-Schicht. Darauf aufsetzende KI-basierte Prognosemodule (Gradient Boosting) liefern vorausschauende Bedarfsprognosen und wurden als lauffähiger Container bereitgestellt.

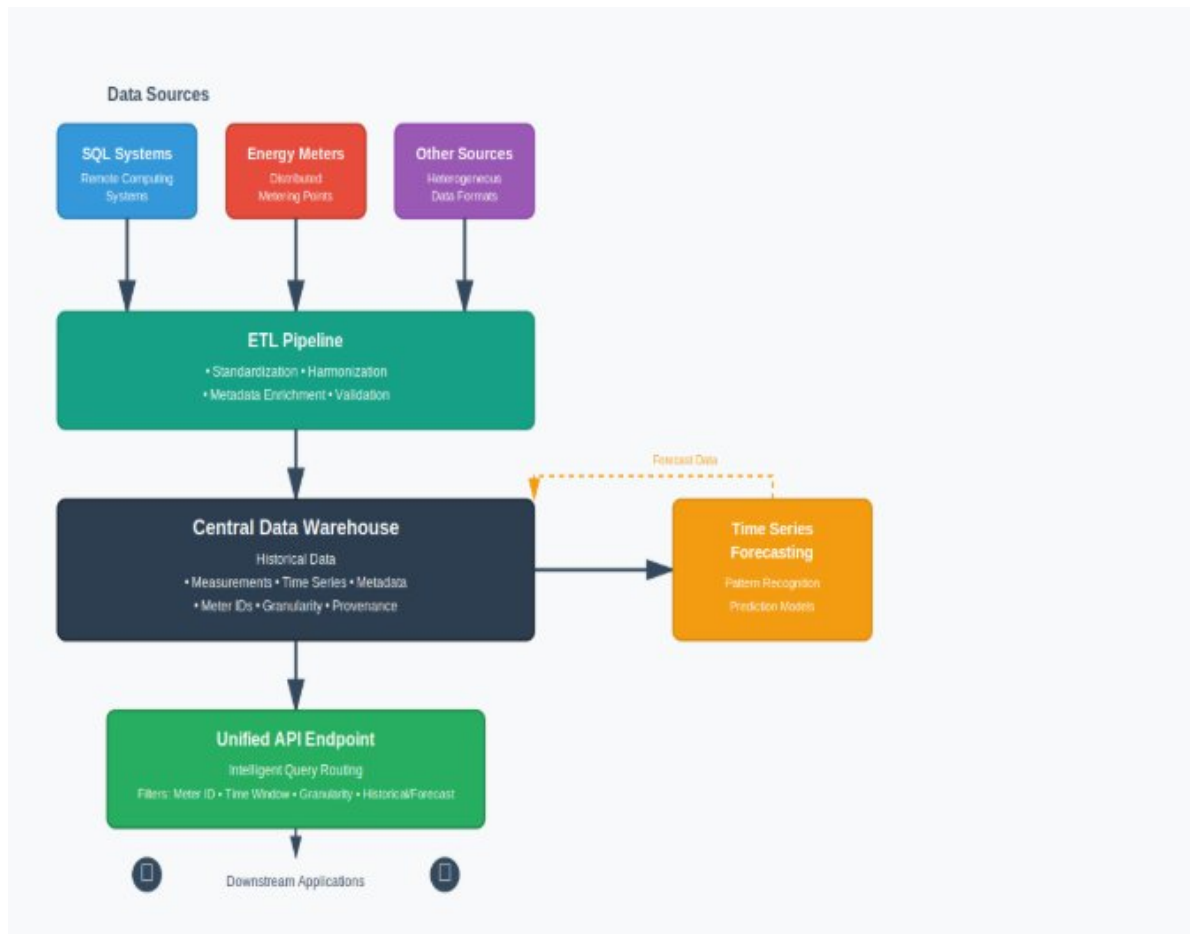


Abbildung 6: Architektur des Data Warehouse für Energiedaten (Datenquellen, KI-System, Endpunkt).

Validierung und Demonstration in der Praxis

Der Gesamtansatz wurde mit den Praxispartnern Bäckerei Geier und Druckerei Offset und mit den Daten weiteren Betriebe sowie synthetischen Datensätzen validiert und im Projektverlauf mehrmals iterativ verbessert. Den Abschluss der praktischen Arbeiten bildete eine gemeinsame Vor-Ort-Demonstration beim Praxispartner Bäckerei Geier.



Abbildung 7: Abschließende Demonstration des V2P-Konzepts vor-Ort beim Praxispartner Bäckerei Geier.

Zusammenfassung der Ergebnisse

V2P lieferte eine Reihe konkreter, prototypisch verifizierter Ergebnisse:

- **Bidirektionaler Energiefluss unter realen Bedingungen:** Kontrollierte Energieabgabe ins dreiphasige Netz und reguläres Laden wurden an zwei unterschiedlichen Fahrzeugen und Spannungsniveaus (230 VAC, 400 VDC) erfolgreich verifiziert.
- **Herstellerunabhängige Retrofit-Lösung:** Die entwickelte Leistungselektronik lässt sich prinzipiell an eLCVs nachrüsten, die ursprünglich nicht für bidirektionalen Betrieb ausgelegt waren, ein wichtiger Unterschied zu Lösungen, die an einzelne OEM-Plattformen gebunden sind.

- **Dreistufiges Energy-Center-Konzept:** Der strategisch-taktisch-operative Architekturansatz wurde nicht nur bei den beiden Praxispartnern, sondern im Austausch mit weiteren Unternehmen aus der Lebensmittel- bzw. Produktionsbranche evaluiert und im Projektverlauf iterativ verbessert.
- **Vollständiger Optimierungs-Stack:** Von nichtlinearer Optimierung über hierarchische Verfahren bis zu Reinforcement Learning wurde ein ganzes Methodenspektrum prototypisch erprobt, statt sich auf einen einzelnen Optimierungsansatz festzulegen.
- **End-to-End-Demonstration statt Insellösung:** Die Demonstration der Integration aller Systemkomponenten – Produktion, Fahrzeug, Ladeinfrastruktur, Energy Center – lieferte den Funktionsnachweis.

Die Kombination aus Hardware-Nachweis, Software-Plattform und Validierung anhand praxisrelevanter Use Cases unterscheidet V2P deutlich von einer reinen Konzeptstudie. Sie stellt zugleich die Anschlussfähigkeit an weiterführende Forschungsprojekte im Kontext der Transformation des Energiesystems sicher und schafft eine belastbare Wissensbasis für die Entwicklung zukünftiger Produkte und Dienstleistungen.

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Schlussfolgerungen

Das Projekt hat die grundsätzliche Machbarkeit der V2P-Idee nachgewiesen. Ein integriertes Ökosystem aus Produktionssystem, bidirektional eingebundenem Elektrofahrzeug, Ladestationsprototyp und Digital-Twin-Optimierung wurde konzipiert, getestet und validiert.

Besonders hervorzuheben ist, dass auch Fahrzeuge, die ursprünglich nicht für den bidirektionalen Betrieb ausgelegt waren, herstellerunabhängig nachgerüstet werden können.

Ein wesentlicher nachfolgender Entwicklungsschritt liegt in der weiteren Automatisierung der V2P-Steuerung. Ziel ist es, dass das leistungselektronische Modul künftig autonom auf Optimierungsvorgaben des Energy Centers reagieren kann. Damit eröffnen sich Perspektiven für kosteneffiziente mobile oder kabelintegrierte bidirektionale Lösungen, insbesondere für betriebliche Flottenanwendungen.

Für das V2P Energy Center ergeben sich weiterführende Entwicklungspfade in Richtung eines modularen, datengetriebenen Energiemanagementsystems für industrielle Anwendungen. Im Vordergrund stehen dabei die Erweiterung der modellierten Energiekomponenten, die Integration fortgeschrittener

Prognoseverfahren, die Abbildung mehrkriterieller Optimierungsziele wie Energiekosten, CO₂-Reduktion, Autarkie und Eigenverbrauch sowie die Umsetzung adaptiver Regelkreise mit Echtzeitfeedback. Offene und standardisierte Schnittstellen sind hierfür eine zentrale Voraussetzung, um eine Interoperabilität mit externen Energiemanagementplattformen, Vehicle-to-Grid-Controllern und industriellen Automatisierungssystemen sicherzustellen.

Das Digital Twin Ecosystem bietet darüber hinaus eine eigenständige Anschlussfähigkeit für zukünftige Forschungs- und Demonstrationsaktivitäten. Relevante Weiterentwicklungen betreffen insbesondere die Skalierung und Modularisierung digitaler Zwillinge, die Integration von Anomalieerkennung, die Kopplung mit Monitoringdaten sowie die Nutzung KI-gestützter und simulationsbasierter Optimierungsverfahren. Dadurch können komplexe industrielle Energiesysteme realitätsnah abgebildet, bewertet und perspektivisch auch automatisiert gesteuert werden.

Insgesamt schaffen die in V2P entwickelten Methoden, Datenstrukturen und Schnittstellen eine tragfähige Grundlage für weiterführende Arbeiten in den Bereichen Flexibilitätsbewertung, Energiespeicher, Elektromobilität, digitale Zwillinge, KI-gestützte Optimierung und sektorübergreifende Energiesystemintegration.

Die Grundlage für entsprechende Forschungsk Kooperationen wurde während der Projektlaufzeit bereits mit Forschungseinrichtungen und Universitäten im Rahmen der Green Energy Center Europe Codex-Partnerschaft gelegt.

Ein geeigneter Validierungsrahmen ergibt sich durch die Einbindung in anwendungsnahe Test- und Demonstrationsumgebungen, in denen die entwickelten Ansätze unter realitätsnahen Bedingungen weiter erprobt, skaliert und in Richtung höherer Automatisierungsgrade weiterentwickelt werden können. Als konkrete Validierungsumgebung hierfür wurde im Rahmen des V2P-Projekts das Living Lab des Green Energy Center Europe mit den Infrastrukturen „Power on Demand“ und „Power to Hydrogen“ identifiziert.

Mögliche Verwertungspfade, die in Form von nachfolgenden Entwicklungsprojekten umgesetzt werden können, liegen insbesondere in:

- einem Energy-Center-Softwareprodukt,
- einem Digital-Twin-Optimierungsmodul sowie
- einer interoperablen Echtzeit-Monitoring- und Datenplattform für industrielle Energiesysteme.

Empfehlungen

Aus den Projektergebnissen lassen sich folgende konkrete Empfehlungen ableiten:

- Ebene 1 – Strategisch sollte als niederschwelliger Einstieg genutzt werden. Sie zeigt schnell realisierbare Einsparpotenziale sowie notwendige Messpunkte für die Ebenen 2 – Taktisch und 3 – Operativ auf.
- Traktionsbatterien sollten konsequent als betriebliche Speicherressource genutzt werden, insbesondere bei größeren eLCV-Flotten, um zusätzliche stationäre Speicher zu reduzieren.
- Offene, standardisierte Schnittstellen und modulare digitale Zwillinge sind zentral, um betriebliche Energiesysteme in Produktionsbetrieben unterschiedlicher Branchen effizient umzubauen.
- Für die meist notwendigen Eingriffe in die laufende Produktion sind weitere Automatisierungen der Steuerung sowie zusätzliche Feedback- und Sicherheitsmechanismen erforderlich, um Umstiegshürden in den Betrieben abzubauen.

C) Projektdetails

6 Methodik

Methodisch umfasste das Projekt die folgenden Bausteine:

- Dreistufiges V2P Energy Center Modell (Strategisch, Taktisch, Operativ) als strukturierende Methodik für Analyse, Planung und Betrieb betrieblicher Energiesysteme. Das Modell wurde anhand der Use-Case Daten der beiden Praxispartner, weiterer Datensätze von Produktionsbetrieben und synthetischer Datensätze evaluiert.
- Modulares Digital Twin Eco System auf Basis einer Co-Simulation: generische Modellblöcke mit standardisierten Schnittstellen (15-Minuten-Zeitreihen, JSON-Synchronisation), kombinierbar zu Systemen und Simulationsszenarien.
- Nichtlineare Optimierung mit beliebigen Randbedingungen, ergänzt um eine explorative Untersuchung von Reinforcement Learning (im Rahmen einer Masterarbeit) als modellunabhängigen Ansatz.
- Use-Case-basierte Validierung mit realer Messtechnik an zwei Praxispartnern sowie ergänzenden Daten von Produktionsbetrieben und synthetischen Datensätzen.
- Agiles Projektmanagement (Scrum-orientiert, monatliche Konsortialmeetings, gemeinsame Datenplattform).

8 Publikationen und Disseminierungsaktivitäten

Art	Titel / Beschreibung	Ort / Datum
Publikationen		
Publikation	Poster V2P-Modellansatz am Vehicle&Grid Forum 2025	Vehicle&Grid Forum 2025, Graz, 07. – 08.05.2025
Publikation	„Vom E-Fuhrpark zur Energiezentrale: Vehicle-to-Production als Teil des datengetriebenen Energiemanagements“	Publikationsplattform des Green Energy Center Europe: https://green-energy-center.com/news/ , 07/2026
Publikation (Masterarbeit)	„Deep Reinforcement Learning for Energy Optimization of Residential Appliances“ (Amil Salihi); publiziert	TU Graz, repository.tugraz.at/publications/k4va7-58d42, 2026
Disseminierungsaktivitäten		
Workshop: Stakeholder aus dem Bereich Energiemanagement	„V2P Energiemanagement Workshop“	Virtual Vehicle, Graz, 02/2025
Workshop: Vorstellung und Diskussion Methodik V2P	„V2P Workshop - Methodik & wissenschaftliche Evaluierung“	Green Energy Center Europe, Innsbruck, 12/2025
Workshop-Beitrag: V2P-Präsentation und Diskussion	„REINFORCE-Workshop“ Präsentation und Diskussion des V2P-Projekts	Green Energy Center Europe, Innsbruck, 01/2026

Diese Projektbeschreibung wurde von der Fördernehmerin/dem Fördernehmer erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte sowie die barrierefreie Gestaltung der Projektbeschreibung, übernimmt der Klima- und Energiefonds keine Haftung.

Die Fördernehmerin/der Fördernehmer erklärt mit Übermittlung der Projektbeschreibung ausdrücklich über die Rechte am bereitgestellten Bildmaterial frei zu verfügen und dem Klima- und Energiefonds das unentgeltliche, nicht exklusive, zeitlich und örtlich unbeschränkte sowie unwiderrufliche Recht einräumen zu können, das Bildmaterial auf jede bekannte und zukünftig bekanntwerdende Verwertungsart zu nutzen. Für den Fall einer Inanspruchnahme des Klima- und Energiefonds durch Dritte, die die Rechteinhaberschaft am Bildmaterial behaupten, verpflichtet sich die Fördernehmerin/der Fördernehmer den Klima- und Energiefonds vollumfänglich schad- und klaglos zu halten.