

RAUM-ZEITLICHE OPTIMIERUNG DES BIDIREKTIONALEN EV-LADENS DURCH VERKEHRSFLUSSANALYSE UND STOCHASTISCHE ENERGIEMODELLIERUNG

Paul BAUER^{1*}, Benedikt HEROLD^{1*}, Stefan WILKER¹, Thilo SAUTER¹

Einleitung

Die zunehmende Verbreitung von Elektrofahrzeugen (EVs) führt zu einem steigenden Bedarf an größeren Batteriekapazitäten und höheren Ladeleistungen, um Unterbrechungen insbesondere auf Langstreckenfahrten zu minimieren. Moderne EVs sind daher inzwischen mit sehr leistungsfähigen Batterien ausgestattet, die mehrere Haushalte über mehrere Tage hinweg versorgen könnten [1]. Da sowohl Verteilnetzbetreiber als auch Energieversorger laufend vor der Herausforderung stehen, diese wachsende Leistungsanfrage zu bewältigen, steigen Netzentgelte und Leistungspreise. Der Ausbau der Energiespeicherinfrastruktur ist mit hohen Kosten verbunden, weshalb es naheliegt, die beträchtliche Speicherkapazität von EVs in das Stromnetz zu integrieren sie durch bidirektionales Laden (Vehicle-to-Grid, V2G) als Batteriespeicher zu nutzen [2]. Der Großteil der bisherigen wissenschaftlichen Arbeiten konzentriert sich darauf, Leistungsspitzen durch netzdienliches Laden und Entladen zu reduzieren und damit zur Resilienz des Stromnetzes sowie zur Minderung von CO₂-Emissionen beizutragen. Allerdings basieren viele dieser Studien auf statischen Annahmen, wie nächtlichem Laden zu Hause oder tagsüber am Arbeitsplatz, und verlassen sich zu stark auf tägliche Routinen.

In der vorliegenden Arbeit werden zusätzlich zeitliche und räumliche Komponenten einbezogen, indem Verkehrsströme als einzelne Autos mittels Kameras verfolgt werden. Durch die Analyse von Echtzeit-Videodaten durch *Vehicle Re-Identification* werden Vorhersagen darüber, wann einzelne Fahrzeuge eines von mehreren möglichen Zielen erreichen, verbessert. Die analysierten Verkehrsdaten dienen als Methode zur realistischen Prognose aggregierter Lastprofile, die durch EVs in urbanen Szenarien verursacht werden [3]. Solche realitätsnahen Lastprofile werden anschließend genutzt, um Strategien zur Reduktion von Leistungsspitzen zu untersuchen [4].

Methoden

Es wurde gezeigt, dass Fahrzeuge mittels Machine Vision hinreichend zuverlässig erkannt werden können [5]. Die Fahrzeugverfolgung erfolgt über Echtzeit-Objekterkennungsmodelle wie YOLO (You Only Look Once) und RT-DETR (Real-Time DEtection TRansformer), die Fahrzeuge im Kamerabild kontinuierlich und präzise detektieren. Nach der Objekterkennung erhält jedes Fahrzeug eine eindeutige ID und seine Route wird nachverfolgt.

Auf Basis Fahrzeugverfolgung erfolgt eine Prädiktion an möglichen erreichbaren Orten innerhalb eines Prädiktionszeitraums. Dadurch kann sowohl die Flexibilität als auch der Ladebedarf von EVs in Abhängigkeit der Ankunfts wahrscheinlichkeit und -zeitpunkt stochastisch beschrieben werden. Aus diesen Daten erstellt ein Energiemanagementsystem Empfehlungen für das bidirektionale Laden, um Netzstabilität sicherzustellen und Lastspitzen zu vermeiden.

Ergebnisse & Diskussion

Es wurde eine stochastische Modellierungsumgebung auf Basis von Pyomo [6] aufgebaut, um verschiedene Wetter-, Verkehrs- und PV-Erzeugungsszenarien abzubilden. Die stochastischen Komponenten werden über das Pyomo-Plugin MPI-SPPY [7] integriert. Entscheidungen zu Lade- und Entladeprozessen stationärer Batteriespeicher sowie dynamische Energiepreise für Verbrauch und Rückspeisung werden als nichtlineares, konkav-exponentielles Optimierungsproblem formuliert und mithilfe des Solvers IPOPT [8] gelöst. Mögliche PV-Erzeugungs- und Lastverläufe werden in Szenarien kategorisiert, nach ihren Eintrittswahrscheinlichkeiten gewichtet und anschließend wird die optimale

¹ TU Wien Institut für Computertechnik, Energy&IT Group, Gußhausstraße 27-29 / E384 1040 Wien, {vorname}.{nachname}@tuwien.ac.at, <https://www.tuwien.at/etit/ict/sis/energyit-group>

Zuordnung der Entscheidungsvariablen über alle gewichteten Szenarien bestimmt. Erste Optimierungsergebnisse zeigen sowohl eine Verbesserung der kumulierten Energiekosten als auch eine Glättung des Lastprofils an der Verteilnetzstation.

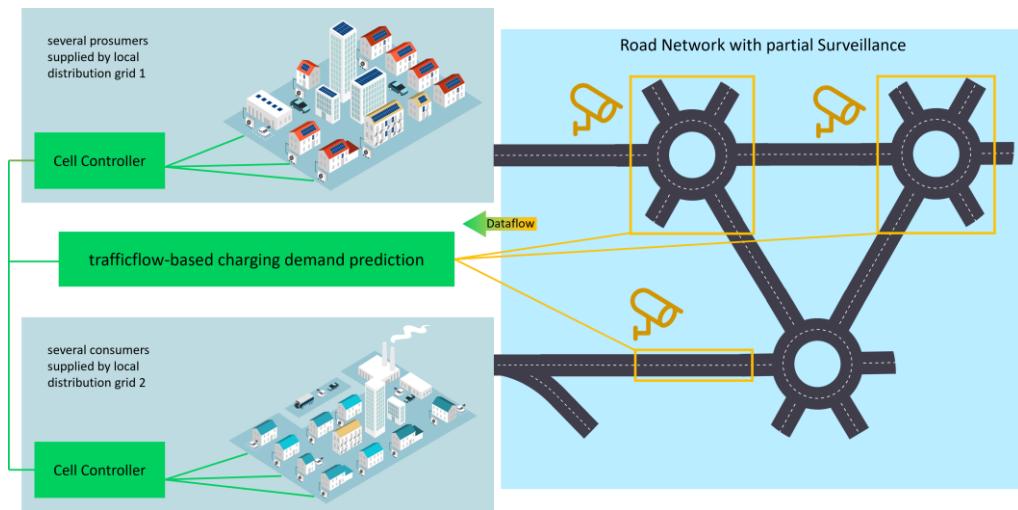


Abbildung 1: Konzeptskizze von aktiver Steuerung mehrerer lokaler Energiegemeinschaften unter Einbeziehung von partieller Verkehrsüberwachung und Verfolgung von EVs

Acknowledgement

Diese Arbeit wird im Rahmen des Projekts ProSeCO unterstützt, das durch die CETPartnership (<https://cetpartnership.eu>), die europäische Partnerschaft unter dem Joint Call 2022 für Forschungsprojekte, kofinanziert durch die Europäische Kommission (GA Nr. 101069750) sowie die auf der CETPartnership-Website gelisteten Förderorganisationen, finanziert wird.

Referenzen

- [1] IEA, Global EV Outlook 2023, Aberufen: 25. November 2025, IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>
- [2] Cenex UK, Final Report EV-Elocity, June 2022. Aberufen: 25. November 2025. UK, 2022. url: https://www.cenex.co.uk/app/uploads/2022/06/EV-elocity-Final-Report_published.pdf
- [3] P. Bauer et al. „Bidirektionales Laden von Elektrofahrzeugen: Netzdienliche und Ökonomische Vorteile in Realwelt-Demonstrationen“, 14. Internationale Energiewirtschaftstagung (IEWT), Wien, Österreich, 2025.
- [4] S. Wilker et al. „Development of AI agents for cellular energy systems to increase flexibilities provided by sector coupling and distributed storage,“ ComForEn 2024: 13. Symposium Communications for Energy Systems, Österreichischer Verband für Elektrotechnik, 2024, pp. 74–82.
- [5] J. Choi et al. „Vehicle Tracking System in Drone Imagery with YOLOv5 and Histogram,“ 62nd Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers (SICE), Tsu, Japan, 2023, pp. 778–783, doi: 10.23919/SICE59929.2023.10354163.
- [6] M. L. Bynum et al. „Pyomo - Optimization Modeling in Python“. Third Edition Vol. 67. Springer, 2021.
- [7] B. Knueven et al. „A parallel hub-and-spoke system for large-scale scenario-based optimization under uncertainty“. Math. Prog. Comp. 15, 591–619 (2023). <https://doi.org/10.1007/s12532-023-00247-3>
- [8] A. Wächter and L.T. Biegler. „On the implementation of a primal-dual interior point filter line search algorithm for large-scale nonlinear programming“. Mathematical Programming, 106(1):25–57, 2006. preprint at http://www.optimization-online.org/DB_HTML/2004/03/836.html.