

AUSWIRKUNGEN VON INDIVIDUELLEN HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN AUF DAS VERBRAUCHSPROFIL VON ENERGIEGEMEINSCHAFTEN

Lukas GAISBERGER¹, Tobias MÜHLBERGER²

¹FH Oberösterreich, Roseggerstraße 15 4600 Wels Austria, +43 5 0804 46914.,
lukas.gaisberger@fh-wels.at, <https://forschung.fh-ooe.at/asic/>

²+43 680 5594673, tobias@muehlberger.dev, <https://muehlberger.dev>

Kurzfassung: Das Forschungsprojekt serve-U hat ein Konzept zur Optimierung von Energiegemeinschaften validiert, das auf historischen Smart-Meter-Daten und Wechselrichter-Erzeugungsdaten basiert. Es wurde eine Funktionsvalidierung im Feld durchgeführt und die Reaktionen bzw. Lastverschiebungsmaßnahmen der Teilnehmenden auf die prognostizierten Verbrauchs- und Erzeugungsprofile projiziert. Die Analyse der Ergebnisse aus der hat ergeben, dass bei ausgeglichenen Verhältnissen zwischen Erzeugung und Verbrauch deutliche Vorteile durch die Funktion der vorgestellten Plattform erzielt werden können. Insbesondere konnte in einer Community mit 23 Teilnehmern und einem Verhältnis von Erzeugung zu Verbrauch von 0.907 eine Steigerung der Eigenverbrauchsrate von 28,7% auf 39,7% erreicht werden, was zu einer Kosteneinsparung von 9,8% führte. Bei vollständiger Umsetzung aller Empfehlungen könnte eine Eigenverbrauchsrate von 58,5% und eine Kostenersparnis von 26,6% erzielt werden. Zur Verifizierung des tatsächlichen Potentials und zur Erzielung statistisch belastbarer Ergebnisse sind weitere Analysen und größere Feldversuche notwendig.

Keywords: Energiegemeinschaft, Optimierung, Demand Side Management, Energy-Service Plattform

1 Einleitung

Im Zuge des Forschungsprojektes serve-U wurde die Funktion eines Konzeptes zur Optimierung von Energiegemeinschaften (EG) durch Berechnung von Handlungsempfehlungen anhand historischer Smart-Meter Daten der Netzbetreiber und Erzeugungsdaten der Wechselrichter in realen Testbeds validiert.

Ziel war es weg von typischen Demand Side Management Strategien [1], welche zumeist einen hohen Automatisierungsgrad, aktuelle, hoch aufgelöste Messdaten sowie Energie-Management-Hardware in jedem Haushalt benötigen, zu kommen. Stattdessen wurde eine Lösung entwickelt, welche es erlaubt, mit bereits vorhandenen Daten eine Verbrauchsoptimierung zu erzielen.

Es sollte untersucht werden welcher Effekt mit diesem Konzept in einem möglichst realen Umfeld mit echten Personen und realen Verbrauchs-, Erzeugungs- und Einspeisedaten erzielt werden kann. In der vorliegenden Arbeit soll sowohl das maximale Potential als auch das erzielte Lastverschiebungspotential bestmöglich ermittelt und diese verglichen werden.

2 Methodik

2.1 Beschreibung des Studiensettings

Die Funktionsvalidierung wurde in 2 Validierungszeiträume gegliedert. Die Teilnehmer:innen mussten im bereits im Vorfeld ihre ¼h-Strombezugs- bzw. Einspeise- und Erzeugungsdaten freigeben, damit auf Basis dieser historischen Daten das individuelle Lastprofil jedes Haushaltes prognostiziert werden konnte. Des Weiteren wurden diese Daten laufend aktualisiert. Die typische Verfügbarkeit der verschiedenen Energiedaten ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Verfügbarkeit der Energiedaten

	Auflösung	Zeitverzögerung
Netzbezug (Smart Meter)	15 Minuten	Ca. 12 – 24 h
Netzeinspeisung (Smart Meter)	15 Minuten	Ca. 12 – 24 h
Erzeugungsleistung (Wechselrichter)	5 Minuten	Aktuell – max. 1h

Es wurde bewusst nur auf bereits verfügbare Datenquellen zugegriffen (Smart Meter und Wechselrichter-Portale) um den Aufwand bei den Teilnehmenden so gering wie möglich zu halten. Die Prognosemethoden wurden bereits von Traunmüller et al [3] und Chasparis et al [2] beschrieben.

Um die Geräte bzw. das individuelle Lastverschiebungspotential der Haushalte berücksichtigen zu können, wurden die nötigen Informationen mittels Fragebogen erfasst.

Auf Basis dieser Inputdaten wurden Energieprognosen erstellt und mittels Optimierung individuelle Handlungsempfehlungen generiert, welche von den Personen manuell umgesetzt werden sollten.[4] Dazu zählen beispielsweise die Aktivierung von Geschirrspülern oder Waschmaschinen zu bestimmten Zeiten, oder auch der Start der Ladung des Elektroautos.

Die Teilnehmenden konnten im Funktionsmuster der digitalen Energieplattform ihre historischen Daten, Prognosen und Handlungsempfehlungen sehen und auf Letztere mit Rückmeldungen reagieren. Es wurden mehrere Gruppen untersucht. Darunter war sowohl eine reale EG, als auch virtuelle Zusammenschlüsse von Zählpunkten ohne realen wirtschaftlichen Benefit und örtliche Nähe. Die Gruppen waren jeweils wieder in eine Treatment- und eine Kontrollgruppe unterteilt.

2.2 Analysemethodik

Anhand der gesammelten Informationen (Energiedaten, Fragebögen und Plattformnutzung) werden neben dem theoretischen Lastverschiebungspotential im Falle einer Umsetzungsrate der Handlungsempfehlungen von 100 % auch die tatsächlich umgesetzte Lastverschiebung anhand der Rückmeldungen über die Plattform abgeschätzt. Hier muss auf Annahmen der

Gerätelastprofile zurückgegriffen werden, da deren tatsächliche Auswirkung auf das Verbrauchsprofil aus den vorhandenen Daten nicht mehr herausgefiltert werden kann. Die folgenden Auswertungen basieren auf folgenden Annahmen:

- Die prognostizierten Verbrauchs- und Erzeugungsprofile entsprechen dem tatsächlichen Basisverbrauch (ohne Optimierung).
- Die Lastprofile der Geräte zur Lastverschiebung wurden analog zu den Annahmen im Optimierungsalgorithmus angenommen.
- Für die Ermittlung der umgesetzten Lastverschiebung wurden die tatsächlichen Rückmeldungen der Plattform-Nutzer:innen auf die jeweiligen Handlungsempfehlungen herangezogen.

Das bedeutet somit, dass die vorliegenden Auswertungen von einer perfekten Prognose ausgehen und lediglich für die Rückmeldungen der Teilnehmenden auf die realen Daten aus den Validierungsphasen zurückgegriffen wird. Bei fehlenden Prognosen (zumeist aufgrund verzögerter Übermittlung der historischen Daten) werden die jeweiligen Haushalte in der vorliegenden Arbeit stets aus der Analyse ausgeschlossen.

Im Zuge dieser Arbeit werden erste Auswertungen aus dem umfangreichen Datensatz der beiden Funktionsvalidierungsphasen durchgeführt. Der Fokus liegt primär auf den möglichen finanziellen Einsparungen durch die vorgestellte Lösung. Dabei wurden folgende Tarife für alle untersuchten Communities angenommen:

- Strombezug aus dem öffentlichen Netz bzw. vom Reststromlieferanten: 25 ct
- Einspeisung in das öffentliche Stromnetz bzw. Lieferung an Stromhändler: 9 ct
- Strombezug aus der EG: 15 ct
- Einspeisung in die EG: 12 ct

Der wirtschaftliche Aspekt kann jedoch aufgrund der sehr unterschiedlichen Zusammensetzungen der Gemeinschaften (Verhältnis von Erzeugung zu Verbrauch) und wetterbedingten Erzeugungsunterschieden nicht ohne eine, zumindest oberflächliche, Betrachtung der Energieflüsse beleuchtet werden.

3 Ergebnisse

Anhand der Optimierungsergebnisse und der angenommenen Verbrauchsprofile der verschiedenen Komponenten in den Haushalten können das minimale, tatsächliche und maximale Flexibilitätspotential sowie der daraus erwachsende mögliche finanzielle Nutzen berechnet werden.

3.1 Auswertung der Community 1

In Abbildung 1 ist eine Auswertung der Eigenverbrauchsrate für *Community 1* dargestellt.

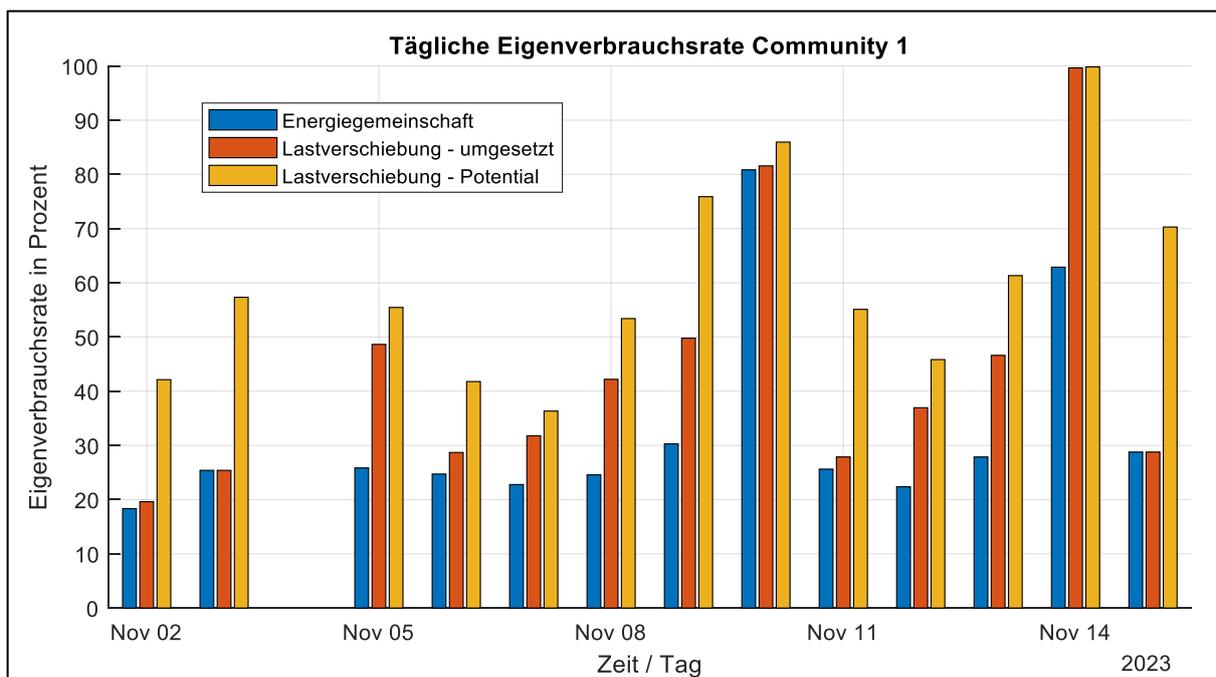


Abbildung 1: Vergleich der Eigenverbrauchsrate in Prozent bei verschiedenen Umsetzungsgraden der Handlungsempfehlungen für Community 1 (Testphase 2)

Die Eigenverbrauchsrate für eine Energiegemeinschaft ohne Verbrauchsoptimierung ist in blau dargestellt. Der orange Balken stellt die berechnete Eigenverbrauchsrate bei den tatsächlich umgesetzten Handlungsempfehlungen dar. In Gelb ist die potenzielle Eigenverbrauchsrate bei 100 % Umsetzungsgrad aufgetragen. Für 4. November liegen keine Daten vor, weshalb dieser nicht dargestellt werden konnte.

In Abbildung 1 wird deutlich, dass eine wesentliche Steigerung der Eigenverbrauchsrate vor allem an den Tagen möglich ist, an denen diese ohne Lastverschiebung ansonsten gering wäre. Dies ist auch damit zu erklären, dass ausreichend Überschuss eine Steigerung des gemeinschafts-internen Eigenverbrauchs erst ermöglicht.

Im Dargestellten Zeitraum verbraucht die Energiegemeinschaft ohne Lastverschiebung 28,7 % der erzeugten Energie selbst. Bei Erfüllung aller Handlungsempfehlungen wäre im gleichen Zeitraum eine Eigenverbrauchssteigerung auf 58,5 % (+29,8 Prozentpunkte) möglich. Mit den in der Funktionsvalidierungsphase umgesetzten Handlungsempfehlungen wird eine Eigenverbrauchsrate von 39,7 % (+11 Prozentpunkte) erreicht.

In Tabelle 2 sind die Anzahl der Haushalte mit ausreichender Datenverfügbarkeit zur Bewertung. Handlungsempfehlungen und die Anzahl der akzeptierten Handlungsempfehlungen für Community 1 im Zeitraum entsprechend Abbildung 1 ersichtlich.

Tabelle 2: Gesamtanzahl der Handlungsempfehlungen für Community 1 am jeweiligen Tag, sowie Anzahl der positiven Rückmeldungen (=akzeptierten Handlungsempfehlungen)

Datum (2023)	02.11	03.11	05.11	06.11	07.11	08.11	09.11	10.11	11.11	12.11	13.11	14.11	15.11
Berücksichtigte Haushalte	16	16	18	18	8	21	22	22	22	22	22	23	23
Anzahl	30	33	28	29	14	37	40	42	40	37	38	46	47
Akzeptiert	4	1	7	8	5	9	9	7	9	14	9	16	0

Durchschnittlich werden in dieser Community im Betrachtungszeitraum insgesamt 21 % der Handlungsempfehlungen umgesetzt. Beim Vergleich zwischen den Eigenverbrauchsraten bei tatsächlich umgesetzten Lastverschiebungen und dem Anteil der akzeptierten Handlungsempfehlungen, kann kein direkter Zusammenhang erkannt werden. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass sich die Handlungsempfehlungen in ihrem Effekt auf die Eigenverbrauchsrate deutlich unterscheiden. Es kommt jedoch auch noch hinzu, dass die betrachteten Haushalte aufgrund der zuvor erwähnten teilweise unmöglichen Prognose aufgrund fehlender oder zu spät übermittelter Messdaten nicht jeden Tag dieselben sind. Dieser Umstand muss jedoch noch in tiefergehenden Analysen untersucht werden.

Auf Basis der sich ergebenden Energieflüsse können die Kosten und Gewinne, welche im jeweiligen Szenario entstehen für die einzelnen Teilnehmer:innen sowie die gesamte Gemeinschaft berechnet werden. **Abbildung 2 Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt die Gesamtkosten für Community 1 innerhalb der Validierungsphase 2 für jeden Tag. Zum Vergleich wurden neben dem Szenario mit den tatsächlich akzeptierten Handlungsempfehlungen wiederum das Referenzszenario der Community ohne Optimierung und dem maximalen Potential mit 100 % Umsetzungsrate der berechneten Empfehlungen.

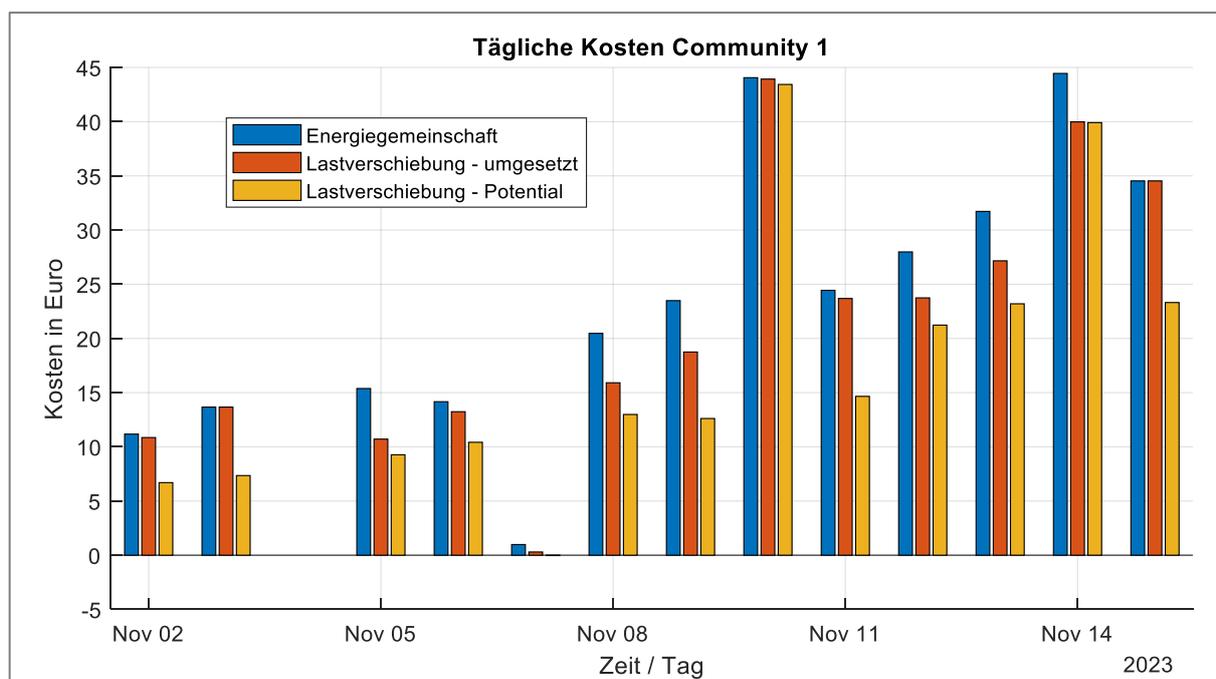


Abbildung 2: Tägliche Gesamtkosten der Community 1 in der Validierungsphase 2 für die drei verschiedenen Szenarien.

Wie zu erwarten war, korreliert die Kosteneinsparung stark mit der Steigerung der Eigenverbrauchsrate. Am 7. November konnte die Auswertung, wie auch bereits Tabelle 2 vermuten ließ, nur für eine äußerst geringe Anzahl an Haushalten durchgeführt werden, was zu den geringen Gesamtkosten führt.

Im Betrachtungszeitraum betragen die Kosten im Referenzfall insgesamt 306,50 €. Eine Umsetzung der Empfehlungen wie im Feldversuch würde zu Kosten von 276,5 € (-9,8 %) führen und eine Umsetzung aller Empfehlungen würde in Gesamtkosten in der Höhe von 225 € (-26,6 %) resultieren. Im betrachteten Zeitraum konnten in Community 1 demnach mit

einer Umsetzungsrate der Handlungsempfehlungen von 21 % insgesamt 36,8 % des Gesamtpotentials gehoben werden.

3.2 Ergebnisse weiterer Communities

Analog zu den Auswertungen für Community 1, wurden drei weitere Energiegemeinschaften untersucht. Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Untersuchungen kurz zusammengefasst.

Es wurden für alle betrachteten Energiegemeinschaften hinsichtlich des Eigenverbrauchs sowie der Kosten ausgewertet und die Ergebnisse in Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Zusammenfassung der Analyseergebnisse für die untersuchten Communities

Community	1	2	3	4
Funktionsvalidierungsphase	2	2	1	1
Anzahl Teilnehmer:innen	23	7	44	21
Verhältnis Erzeugung/Verbrauch	0.907	0.039	118.500	1.016
Umsetzungsrate	21.00%	30.00%	4.49%	5.18%
Eigenverbrauchsrate Referenz	28.70%	59.85%	0.60%	30.06%
Eigenverbrauchsrate umgesetzt	39.70%	73.47%	0.60%	30.63%
Eigenverbrauchsrate Potential	58.50%	90.20%	0.60%	38.18%
Kosten Referenz	€ 306.50	€ 100.29	-€ 83 485.00	€ 338.32
Kosten umgesetzt	€ 276.50	€ 99.98	-€ 83 485.00	€ 335.66
Kosten Potential	€ 225.00	€ 99.57	-€ 83 502.00	€ 301.64

Community 1 wurde bereits im vorangegangenen Kapitel im Detail dargestellt. Bei Community 2 handelt es sich um eine kleine, lokale Energiegemeinschaft, in der die Gesamterzeugung lediglich 3,9 % des Verbrauchs darstellt. Die Eigenverbrauchsrate ist dementsprechend mit 59,9 % bereits ohne Optimierung hoch, hätte jedoch mit der Verbrauchsoptimierung das Potential die Eigenverbrauchsrate um ca. 30 Prozentpunkte zu steigern. Mit der tatsächlichen Umsetzungsrate wird eine Steigerung um fast 14 %-Punkte erreicht. Trotz der wesentlichen Erhöhung der Eigenverbrauchsrate sind die finanziellen Einsparungen gering. Dies ist auf die geringe Erzeugungsmenge zurückzuführen. Community 3 unterscheidet sich wesentlich von den anderen Communities, da hier die Erzeugung um ein Vielfaches (118-Fach) größer ist als der Verbrauch. Die Eigenverbrauchsrate beträgt in jedem Szenario ca. 0,6 % und die Umsetzungsrate im Testbetrieb betrug nur 4,5 %. Aufgrund der großen Diskrepanz zwischen Erzeugung und Verbrauch kann auch in dieser Community kaum ein finanzieller Mehrwert erzielt werden. Community 4 hat ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen Erzeugung und Verbrauch. Mit einer Umsetzungsrate von 5,2 % kann eine Steigerung des Eigenverbrauchs von lediglich 0,57 % erreicht werden. Maximal könnte eine Steigerung von 8,1 % sowie eine Kostenersparnis von 10,8 % erreicht werden.

4 Schlussfolgerungen

Aus den durchgeführten Analysen wird deutlich ersichtlich, dass das Verhältnis zwischen Erzeugung und Verbrauch einen wesentlichen Einfluss auf die Effektivität der

Verbrauchsoptimierung hat. Bei zu hoher Erzeugung wird ohnehin bereits der Großteil des Verbrauchs gedeckt. Dennoch können die Verbraucher in dem Fall ihre mittleren Strombezugskosten positiv beeinflussen. Im Gegensatz dazu werden bei zu geringer Erzeugung bereits sehr hohe Eigenverbrauchsraten erreicht und eine weitere Steigerung aufgrund der geringen Energiemengen lässt nur einen geringen absoluten finanziellen Mehrwert zu. Bei ausgeglichenen Verhältnissen zwischen Erzeugung und Verbrauch können anhand der durchgeführten theoretischen Untersuchung deutliche Vorteile durch die Funktion der vorgestellten Plattform gegenüber einer Energiegemeinschaft ohne Optimierung hervorgehoben werden. Bereits bei Umsetzungsraten von 20 – 30 % können deutliche Eigenverbrauchssteigerungen (>10 %) erreicht werden. Je höher die Umsetzungsrate der Handlungsempfehlungen ausfällt, desto niedriger sind die Gesamtkosten für die Community. Eine der wesentlichsten Komponenten im Beschriebenen System stellt daher die Nutzer:innen-Einbindung und das Hochhalten der Motivation zur (manuellen) Durchführung der Verbrauchsoptimierung dar. Um dies zu erreichen, müssen Anreizsysteme geschaffen werden, welche die nachhaltige Plattformnutzung fördern.

Die Auswirkungen der Prognoseungenauigkeit sowie die realen Effekte der Lastverschiebungen konnten in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt und quantifiziert werden. Letztere wären nur mittels laufender Messungen an jedem Gerät, welches zur Lastverschiebung genutzt wird, möglich. Es wird vermutet, dass diese zwar einen Einfluss auf das Gesamtpotential hat, jedoch die Anzahl der umgesetzten Handlungsempfehlungen die wesentlichste Stellgröße darstellt. Das ließe die Vermutung zu, dass der negative Einfluss einer mäßigen Prognoseungenauigkeit die erzielten Ergebnisse nur geringfügig wäre.

Des Weiteren ist noch abzuklären weshalb die tägliche Steigerung der Eigenverbrauchsrate durch umgesetzte Handlungsempfehlungen nicht, oder nur bedingt, mit der Anzahl der umgesetzten Handlungsempfehlungen korreliert.

Um das tatsächliche Potential zu verifizieren sowie um statistisch belastbare Ergebnisse zu erhalten sind jedenfalls weitere Analysen und vor allem größere Feldversuche nötig.

5 Zusammenfassung

Das Forschungsprojekt serve-U hat ein Konzept zur Optimierung von Energiegemeinschaften (EG) validiert, das auf historischen Smart-Meter-Daten und Wechselrichter-Erzeugungsdaten basiert. Ziel war es, von typischen Demand Side Management Strategien wegzukommen und stattdessen eine Lösung zu entwickeln, die bereits vorhandene Daten für die Verbrauchsoptimierung nutzt.

In der vorliegenden Studie wurden das maximale Potenzial und das tatsächliche Lastverschiebungspotential ermittelt und verglichen. Die Daten wurden in realen Testbeds mit echten Personen und realen Verbrauchs-, Erzeugungs- und Einspeisedaten gesammelt. Die Teilnehmer*innen mussten ihre ¼h-Strombezugs-, Einspeise- und Erzeugungsdaten freigeben, um auf Basis dieser historischen Daten das individuelle Lastprofil jedes Haushalts prognostizieren zu können.

Die durchgeführten Analysen haben gezeigt, dass das Verhältnis zwischen Erzeugung und Verbrauch einen wesentlichen Einfluss auf die Effektivität der Verbrauchsoptimierung hat.

Bei zu hoher Erzeugung wird bereits der Großteil des Verbrauchs gedeckt, während bei zu geringer Erzeugung bereits sehr hohe Eigenverbrauchsraten erreicht werden. Bei ausgeglichenen Verhältnissen zwischen Erzeugung und Verbrauch konnten deutliche Vorteile (Eigenverbrauchssteigerung >10 %) durch die Umsetzung der berechneten Handlungsempfehlungen gegenüber einer Energiegemeinschaft ohne Optimierung erreicht werden.

6 Danksagung

Diese Arbeit wurde im Zuge des Projektes „serve U“ (FFG Nr. 881164) vom Klima- und Energiefonds gefördert.

7 Referenzen

- [1] N. Mohammad und Y. Mishra, „Demand-Side Management and Demand Response for Smart Grid“, in *Smart Grids and Their Communication Systems*, E. Kabalci und Y. Kabalci, Hrsg., in *Energy Systems in Electrical Engineering*, Singapore: Springer, 2019, S. 197–231. doi: 10.1007/978-981-13-1768-2_6.
- [2] W. Traunmüller, „Energiemeteorologie – Wetterprognosen für Energiegemeinschaften“. IEWT 2023, https://iewt2023.eeg.tuwien.ac.at/programme_text (Aufgerufen 30.11.2023).
- [3] G. Chasparis, „Predictive Modeling for Flexibility Load Forecasting in Prosumer Communities“. IEWT 2023, https://iewt2023.eeg.tuwien.ac.at/programme_text (Aufgerufen 30.11.2023).
- [4] L. Gaisberger, „Verbrauchsoptimierung in Energiegemeinschaften durch Handlungsempfehlungen“, IEWT 2023, https://iewt2023.eeg.tuwien.ac.at/programme_text (Aufgerufen 30.11.2023).