



Zwischenbericht vom 31.07.2025

ESIT

Entlastung im Stromnetz durch innovative Netztarife

**Dynamische
Stromtarife**

energie thun

EW HÖFE ewl

iwb regio energie
S O L O T H U R N

STADTWERK SiL
W I N T E R T H U R

swisspower

zhaw School of
Management and Law

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE

Quelle: @Swisspower 2025



Datum: 31.07.2025

Ort: Bern



Subventionsgeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Subventionsempfänger/innen:

Swisspower AG
Schweizerhofpassage
CH-3011 Bern

ZHAW
Gertrudstrasse 8
CH-8400 Winterthur

Energie Thun AG
Industriestrasse 6
3607 Thun

ewl energie wasser luzern
Industriestrasse 6
6002 Luzern

EW Höfe AG
Schwerzistrasse 37
8807 Freienbach

Industrielle Werke Basel IWB
Margarethenstrasse 40
4002 Basel

Regio Energie Solothurn
Rötistrasse 17
4502 Solothurn

SIL Services industriels de Lausanne
Pl. Chauderon 23
1003 Lausanne

Stadt Winterthur h. d. Stadtwerk Winterthur
Untere Schöntalstrasse 12
8406 Winterthur

Autoren:

Gabriel Chavanne, Swisspower AG, gabriel.chavanne@swisspower.ch
Christian Winzer, ZHAW, winc@zhaw.ch
Colin Michel, Swisspower AG, colin.michel@swisspower.ch
Patrick Frey, Swisspower AG, patrick.frey@swisspower.ch
Christian Rubin, Swisspower AG, christian.rubin@swisspower.ch

BFE-Projektbegleitung:

Karin Söderström, karin.soederstroem@bfe.admin.ch
Michael Moser, michael.moser@bfe.admin.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/502691-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Zusammenfassung

Die fortschreitende Elektrifizierung in den Bereichen Mobilität und Gebäudetechnik sowie der rasante Zubau dezentraler Solaranlagen stellen die Energieversorger vor neue Herausforderungen beim Betrieb ihrer Stromnetze. Sowohl die steigende Stromnachfrage als auch die zunehmend dezentrale und variable Stromerzeugung können zu lokalen Netzengpässen führen, die ohne alternative Lösungen einen kostspieligen Ausbau der Netzinfrastruktur erfordern würden. Um einen solchen Ausbau zu minimieren, untersucht das Pilotprojekt „Entlastung im Stromnetz durch innovative Netztarife (ESIT)“ der Swisspower AG in Zusammenarbeit mit der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) und sechs Netzbetreibern den Nutzen dynamischer Preissignale und deren Umsetzung in der Praxis. Dabei wird untersucht, wie sich dynamische Tarifsignale auf den Lastverlauf von Testkunden auswirken, die ein Home Energy Management System (HEMS) mit automatischer Laststeuerung einsetzen.

Für die Einführung von dynamischen Tarifen in verschiedenen Netzgebieten hat Swisspower das InnoStrom-Tool entwickelt, welches dynamische Tarifstrukturen generiert und an die HEMS der Endkunden übermittelt. Die Tarifberechnung basiert auf den Netzlastprognosen der jeweiligen Netzbetreiber. Im Rahmen des Pilotprojekts werden verschiedene Tarifstrukturen getestet und evaluiert, wobei der Fokus auf einem 15-Minuten-Day-Ahead-Tarif liegt. Dieser Tarif basiert auf einer Preiskurve mit 15-Minuten-Intervallen, die den Kunden jeweils für den Folgetag übermittelt wird. Zur Übermittlung der Preissignale wurde eine Web-API entwickelt, die es den HEMS ermöglicht, die dynamischen Tarife automatisch abzufragen. Daraufhin optimieren diese den Verbrauch und steuern die Geräte so, dass die Gesamtkosten minimiert werden. Durch die direkte Anbindung an die HEMS, wird eine automatische Anpassung des Verbrauchs ermöglicht, ohne Verhaltensänderung des Kunden. Smart Meter messen den 15-Minuten Lastgang, der dann mit der Preiskurve multipliziert wird, um die Netznutzungskosten zu ermitteln.

Die Aufbauphase wurde abgeschlossen und das Projekt befindet sich nun in der Testphase. Studien- und Tarifdesign wurden festgelegt, sämtliche Projektpartner eingebunden, die Swisspower Web-API für die Übermittlung dynamischer Tarife produktiv gesetzt und das Verfahren zur Rekrutierung der Testkundinnen und -kunden umgesetzt. In der ersten Testrunde wurden die vorgesehenen Tarife erfolgreich an die angeschlossenen HEMS übertragen, die technischen Abläufe verifiziert und erste Mess- sowie Befragungsdaten erhoben. Derzeit werden diese Zwischenergebnisse ausgewertet, Tarife und Prozesse auf Basis der Erkenntnisse verfeinert und die zweite, längere Testreihe vorbereitet. Dort sollen optimierte Preissignale und zusätzliche Tarifmodelle unter realen Betriebsbedingungen validiert werden, um belastbare Handlungsempfehlungen für die breite Einführung dynamischer Netznutzungstarife zu entwickeln.



Résumé

L'électrification grandissante dans les domaines de la mobilité et de la domotique, ainsi que la croissance rapide des installations solaires décentralisées, posent de nouveaux défis aux fournisseurs d'énergie pour l'exploitation de leurs réseaux électriques. L'augmentation de la demande d'électricité ainsi que la production d'électricité de plus en plus décentralisée et variable peuvent entraîner des congestions locales du réseau qui, sans solutions alternatives, nécessiteraient une extension coûteuse de l'infrastructure du réseau. Afin de minimiser une telle extension, le projet pilote « Réduction de la congestion du réseau électrique grâce à des tarifs réseau innovants (ESIT) » de Swisspower SA, en collaboration avec la Haute école des sciences appliquées de Zurich (ZHAW) et six gestionnaires de réseau, étudie l'utilité des prix dynamiques et leur mise en œuvre dans la pratique. Il s'agit d'étudier l'impact des signaux tarifaires dynamiques sur la courbe de charge de clients tests utilisant un système de gestion de l'énergie domestique (HEMS) avec contrôle automatique de la consommation.

Pour l'introduction de tarifs dynamiques dans différentes zones de réseau, Swisspower a développé l'outil InnoStrom, qui permet de générer des structures tarifaires dynamiques et de les transmettre aux HEMS des clients finaux. Le calcul des tarifs est basé sur les pronostics de charge de réseau des gestionnaires de réseau respectifs. Dans le cadre du projet pilote, différentes structures tarifaires seront testées et évaluées, avec une attention particulière portée à un tarif day-ahead de 15 minutes. Ce tarif est basé sur une courbe de prix avec des intervalles de 15 minutes, qui est transmise aux clients pour le jour suivant. Une interface de programmation d'applications (API) web a été développée pour transmettre les signaux de prix et permettre aux HEMS d'interroger automatiquement les tarifs dynamiques. Ils optimisent alors la consommation et gèrent les appareils de manière à minimiser les coûts totaux. En se connectant directement aux HEMS, il est possible d'ajuster automatiquement la consommation sans modifier le comportement du client. Les compteurs intelligents mesurent la courbe de charge sur 15 minutes, qui est ensuite multipliée par la courbe de prix afin de déterminer les coûts d'utilisation du réseau.

La phase de mise en place est terminée et le projet est désormais en phase de test. La conception de l'étude et des tarifs a été définie, tous les partenaires du projet ont été impliqués, l'API web Swisspower pour la transmission des tarifs dynamiques a été mise en service et la procédure de recrutement des clients test a été mise en œuvre. Lors de la première phase de test, les tarifs prévus ont été transmis avec succès aux HEMS connectés, les processus techniques ont été vérifiés et les premières données de mesure et d'enquête ont été collectées. Ces résultats intermédiaires sont actuellement en cours d'évaluation, les tarifs et les processus sont affinés sur la base des conclusions et la deuxième série de tests, plus longue, est en cours de préparation. Celle-ci permettra de valider des signaux tarifaires optimisés et des modèles supplémentaires dans des conditions réelles d'exploitation, afin d'élaborer des recommandations fiables pour la mise en place à grande échelle de tarifs d'utilisation du réseau dynamiques.

Summary

Due to the ongoing electrification of the mobility and heating sectors, as well as the rapid expansion of decentralized solar PV installations, energy utilities are faced with new challenges in the operation of their power grids. The increasing demand for electricity as well as its increasingly decentralized and fluctuating generation have the potential to cause local grid bottlenecks, the alleviation of which can require a costly expansion of the grid infrastructure. In order to minimize these costs, the pilot project “Entlastung im Stromnetz durch innovative Netztarife (ESIT)”, led by Swisspower AG in cooperation with the Zurich University of Applied Sciences (ZHAW) and six grid operators, evaluates the impacts of dynamic grid tariffs and their implementation in practice. To achieve this, the project investigates how dynamic price signals affect the load profile of customers employing a home energy management system (HEMS) with automatic load control.

For the introduction of dynamic tariffs in various grid areas, Swisspower has developed the “InnoStrom” tool, which generates dynamic tariff structures based on the load forecasts of the grid operators and transmits them to the customers' HEMS. As part of the pilot project, various tariff structures are tested and evaluated, focusing mainly on a 15-minute day-ahead tariff. This tariff is based on a price curve with 15-minute intervals and is transmitted to the customer one day in advance. For the transmission of the price signal, a dedicated Web-API has been developed, enabling the HEMS to automatically query the dynamic tariffs. The system then optimizes the customer's power consumption to minimize electricity costs. The direct communication with the HEMS enables the automatic adjustment of power consumption without the need for the customers to adjust their behaviour. To determine the grid tariff, the price curve is multiplied by the 15-minute load profile measured by smart meters.

The development phase has been completed and the project is now in the test phase. The study and tariff design have been defined, all project partners have been involved, the Swisspower Web API for the transmission of dynamic tariffs has been put into production and the procedure for recruiting test customers has been implemented. In the first test round, the planned tariffs were successfully transferred to the connected HEMS, the technical processes were verified, and initial measurement and survey data was collected. These interim results are currently being evaluated, tariffs and processes are being refined based on the findings, and the second, longer test series is being prepared. There, optimised price signals and additional tariff models will be validated under real operating conditions to develop robust recommendations for action for the widespread introduction of dynamic grid usage tariffs.



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Résumé	4
Summary	5
Inhaltsverzeichnis	6
Abkürzungsverzeichnis	7
1 Einleitung	8
1.1 Ausgangslage und Hintergrund	8
1.2 Motivation des Projektes	9
1.3 Projektziele	9
2 Vorgehen und Methode	10
2.1 Vorgehen	10
2.2 Phase 1: Aufbau	10
2.3 Phase 2: Testrunde 1	11
2.4 Phase 3: Testrunde 2	11
2.5 Phase 4: Ergebnisse	11
3 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	12
3.1 AP1: Studiendesign	12
3.1.1 Testphasen	12
3.1.2 Testgruppen	13
3.1.3 Daten und Erhebung	13
3.1.4 Erfolgsmessung anhand von KPIs	14
3.2 AP2: Tarifdesign	14
3.3 AP3: HEMS	16
3.4 AP4: Schnittstelle	17
3.5 Testkunden	18
4 Bewertung der bisherigen Ergebnisse	19
4.1 Deskriptive Analysen	19
4.2 Schlussfolgerung	23
5 Weiteres Vorgehen	24
6 Nationale Zusammenarbeit	24
7 Veröffentlichungen und Kommunikation	24
8 Literaturverzeichnis	25
9 Anhang	25

Abkürzungsverzeichnis

ESIT	Entlastung im Stromnetz durch innovative Netztarife
EMS	Energy Management System
HDT	Handbuch dynamische Tarife
HEMS	Home Energy Management System
KPI	Key Performance Indicator
StromVG	Stromversorgungsgesetz
StromVV	Stromversorgungsverordnung
ToU	Time-of-Use
VNB	Verteilnetzbetreiber
ZEV	Zusammenschluss zum Eigenverbrauch
ZHAW	Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften



1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Hintergrund

Die fortschreitende Dekarbonisierung des Energiesystems führt zu einer steigenden Stromnachfrage, beispielsweise durch den vermehrten Einsatz von Elektroautos und Wärmepumpen. Zudem führt der rasche Ausbau von kleinen Photovoltaikanlagen zu einer zunehmend dezentralen und variablen Stromerzeugung. Diese Entwicklungen stellen das Stromnetz vor grosse Herausforderungen, da sowohl die Menge als auch die Variabilität der Stromflüsse zunehmen. Insbesondere in Zeiten hoher Netzauslastung, den sogenannten Lastspitzen, steigt das Risiko von Netzengpässen. Um einen kostspieligen Netzausbau zu vermeiden, sollen die vorhandenen Netzkapazitäten effizienter genutzt werden.

Die Reduktion von Lastspitzen kann durch die Förderung von netzdienlichem Verhalten seitens der Endkundinnen und Endkunden erreicht werden. Dazu werden sowohl Ansätze der direkten und indirekten Laststeuerung eingesetzt (VSE, 2024).

Bei der direkten Laststeuerung werden flexible Lasten der Endkundinnen und Endkunden direkt durch den Netzbetreiber gesteuert. Solche Systemdienstleistungen stellen teils hohe technische Anforderungen an die jeweiligen Prozesse, da eine konstante Kommunikationsverbindung zu den steuerbaren Lasten sowie eine vertragliche Übereinkunft mit dem Endkunden bestehen muss. Der Vorteil solcher Massnahmen ist die garantierte Verfügbarkeit für den Netzbetreiber, jedoch sind sie vergleichsweise teuer und haben eine tiefe Akzeptanz bei den Endkunden.

Bei der indirekten Laststeuerung handelt es sich um freiwillige Anpassungen des Verbrauchs von Endkunden, als Reaktion auf Anreize durch die Netzbetreiber. Hierzu werden beispielsweise dynamische Netznutzungstarife eingesetzt, welche flexible Tarifstrukturen enthalten, die sich in kurzen Intervallen (z.B. alle 15 Minuten) an die aktuellen oder prognostizierten Gegebenheiten im Stromnetz anpassen. Damit bieten sie den Verbrauchern Anreize, Strom in Zeiten niedriger Netzbelastung zu nutzen, womit der Stromverbrauch geglättet und die Notwendigkeit für kostspielige Netzausbauten reduziert werden kann.

Der Strompreis in der Schweiz setzt sich zusammen aus dem Energietarif, welcher für die gelieferte elektrische Energie bezahlt wird und dem Netznutzungstarif, der die Kosten für den Transport des Stroms vom Kraftwerk zum Verbraucher abdeckt. Hinzu kommen weitere Komponenten, zum Beispiel Abgaben an das Gemeinwesen oder der Netzzuschlag. Verrechnet werden die Komponenten nach Arbeit in Rappen pro kWh, nach Leistung in CHF pro kW oder mit einem Grundpreis in CHF pro Monat. Heute wird für die Arbeitspreise je nach Stromversorger und -produkt entweder ein konstanter Einheitstarif oder ein bedingt variabler Time-of-Use (ToU) Tarif verwendet, welcher zwischen einem Hoch- und einem Niedertarif unterscheidet (siehe Abbildung 1).

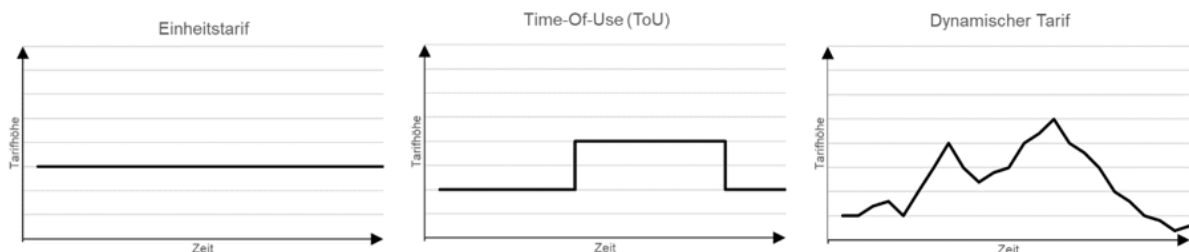


Abbildung 1: Beispielhafte Abbildungen eines Einheits-, Time-of-Use und dynamischen Tarifs (VSE, 2024).

Mit dem per 01.01.2025 in Kraft getretenen Stromversorgungsgesetz (StromVG) müssen Netznutzungstarife den Zielen einer effizienten Netzinfrastruktur und Elektrizitätsverwendung Rechnung tragen und neu explizit Anreize für einen stabilen und sicheren Netzbetrieb setzen. Mit der ab Januar 2026 gültigen Fassung der Stromversorgungsverordnung (StromVV) wird die Einführung dynamischer Netznutzungstarife vereinfacht. Damit eröffnen sich für Schweizer Energieversorger neue Möglichkeiten in der Tarifaufgestaltung.

1.2 Motivation des Projektes

Das Anwendungspotenzial von dynamischen Netznutzungstarifen ist enorm. Aufgrund des Smart Meter Rollouts, werden bis 2027 die Mehrheit der Kunden in der Schweiz über eine entsprechende Messinfrastruktur verfügen, die deren Einsatz ermöglicht. Darüber hinaus prognostizieren die Energieperspektiven 2050+ einen massiven Ausbau von flexiblen Lasten wie Wärmepumpen und Elektroautos (BFE, 2022). Sowohl in der Schweiz als auch im Ausland gibt es eine wachsende Zahl von Anbietern von Home Energy Management Systemen (HEMS), die darauf spezialisiert sind, bestimmte flexible Lasten unter Berücksichtigung verschiedener Preissignalen oder Eigenverbrauchszielsetzungen optimal zu steuern.

Im vorliegenden Pilotprojekt «Entlastung im Stromnetz durch innovative Netztarife (ESIT)» wollen 6 Netzbetreiber zusammen mit der Swisspower AG und der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) herausfinden, welchen netzdienlichen Effekt die Verwendung von dynamischen Preissignalen hat und wie dabei die konkrete Umsetzung erfolgt. Im Rahmen des Projekts soll getestet werden, wie sich die dynamischen Tarifsignale auf den Lastverlauf von Testkunden, die ein HEMS mit der automatischen Steuerung von Lasten im Einsatz haben, auswirkt.

Die Ergebnisse des Projekts sollen zeigen, wie dynamische Tarife als Instrument zur Netzentlastung mit indirekter Laststeuerung optimal eingesetzt werden können. Dies bildet die Grundlage für die Argumentation und damit die Einführung von dynamischen Netznutzungstarifen bei weiteren Schweizer Stromversorgern. Innerhalb der Schweiz kann über die Teilnahme verschiedener VNB und die Einbindung in die Swisspower Kooperationen eine gute Kommunikation der Projektergebnisse erzielt und weitere Stromversorger zur Umsetzung animiert werden.

1.3 Projektziele

Ziel des Projektes ist die Beantwortung der folgenden Fragestellungen:

- F1: Wie verändert sich die Netzlast bei Kunden mit dynamischen tariflichen Anreizen?
- F2: Wie reagieren Kunden auf die Kommunikation? Wie ist die Akzeptanz von unterschiedlichen Netznutzungstarifen / Anreizen?
- F3: Wie erfolgt die technische Umsetzung (Kundenkontakt, WebAPI, HEMS)?
- F4: Welche Erfahrung machen städtische Netzbetreiber in der Einführung von innovativen Netznutzungstarifen?
- F5: Wo/Wann macht das Zusammenspiel des präventiven Preissignals mit direkter Steuerung von Flexibilitäten Sinn?



2 Vorgehen und Methode

2.1 Vorgehen

Der Ablauf des Projekts gestaltet sich in vier Phasen, resp. zwei Testrunden (siehe Abbildung 2). Vor den beiden Testphasen werden in der Aufbauphase alle vorbereitenden Arbeiten durchgeführt. Dies schliesst die Entwicklung und Implementierung der notwendigen Plattformen, die Akquise von Testkunden sowie die Anbindung der beteiligten HEMS-Systeme ein. In der ersten Testrunde besteht das Ziel, die technische Umsetzung zu gewährleisten und erste Ergebnisse zu ermitteln. Ab der zweiten Runde werden weitere dynamische Tarife getestet und damit nach einer verbesserten Wirksamkeit gesucht. In der Schlussphase werden die Abschlussarbeiten durchgeführt, zu denen die umfassende Auswertung der Resultate, die Erstellung eines Abschlussberichts und die Vorbereitung auf eine mögliche Implementierung der getesteten Tarife gehören. Im Folgenden werden die einzelnen Arbeitsschritte der Phasen erläutert.



Abbildung 2: Strukturierung und Ablauf des ESIT-Projekts.

2.2 Phase 1: Aufbau

In der Aufbauphase werden alle vorbereitenden Arbeiten zur erfolgreichen Anbindung von Testkunden und Übermittlung des Preissignals durchgeführt. Diese Phase konnte mehrheitlich abgeschlossen werden. Die durchgeführten Arbeiten werden im Kapitel 3 ausgeführt. In AP1 und AP2 werden gemeinsam mit allen Projektbeteiligten das genaue Studien- und Tarifdesign festgelegt (siehe Kapitel 3.1 und 3.2). Um eine breite Abstützung der Projektergebnisse zu gewährleisten ist die Einbindung von möglichst vielen HEMS-Anbietern essenziell. Das Ziel des Projekts ist es, Anbieter-Offen zu bleiben und allen HEMS-Anbietern die Möglichkeit zur Teilnahme am Projekt zu geben. Die Rekrutierung und das Onboarding der HEMS-Anbieter ist Bestandteil des AP3 (siehe Kapitel 3.3). In AP4 erfolgt unter Einbezug der HEMS-Anbieter die Entwicklung einer Swisspower Web-API, über welche die dynamischen Preissignale an die teilnehmenden Testkunden übermittelt werden (siehe Kapitel 3.4). Da die VNB in der Regel nicht wissen, welche HEMS in ihrem Netzgebiet im Einsatz sind, werden die Testkunden als Teil von AP5 über die an der Studie teilnehmenden HEMS-Anbieter akquiriert (siehe Kapitel 3.5).

2.3 Phase 2: Testrunde 1

In der ersten Testrunde besteht das primäre Ziel, die technische Umsetzung mit ersten Preissignalen erfolgreich durchzuführen, genügend Testkunden einzubinden und erste Ergebnisse zu erhalten. Die erste Testphase erfolgt während einer zuvor definierten Zeitperiode in drei Schritten:

- Übermittlung Preissignal an Kunden
- Übermittlung Messdaten und Tarifdaten
- Abrechnung Differenz zu Basistarif

Das dynamische Preissignal wird über die entwickelte Web-API jeweils spätestens am Vortag bereitgestellt. Die HEMS rufen diese ab und optimieren daraufhin die gekoppelten Flexibilitäten im Objekt. Parallel zur Testphase wird eine Befragung als Begleitung durchgeführt. Sie charakterisiert die Testkunden und ihre ans HEMS gekoppelten Lasten. Zudem sollen Erkenntnisse zum Investitionsentscheid für die Installation eines HEMS sowie zur Akzeptanz von dynamischen Tarifen gesammelt werden.

Im Nachgang zur Testperiode wird der Lastgang anhand der erarbeiteten Auswertungscodes ausgewertet und die virtuelle Abrechnung vorgenommen. So wird ersichtlich, wie viel der Kunde mit der Optimierung der an das HEMS gekoppelten Flexibilitäten hätte einsparen können. Die Zwischenergebnisse liefern erste Erkenntnisse über die Wirksamkeit der angewendeten dynamischen Tarife. Anhand dieser Erkenntnisse wird ein Erfahrungsaustausch mit den teilnehmenden Projektpartnern vorgenommen. Nebst Umsetzungserfahrungen soll hier die Optimierung des Tarifs, die weitere Testkundenakquise, sowie die Optimierung des Prozesses diskutiert werden.

2.4 Phase 3: Testrunde 2

Die zweite Testrunde erfolgt nach demselben Ablauf wie die erste Testrunde, allerdings über eine längere Zeitperiode. Um eine bessere Wirkung auf die Netzlast zu erzielen, werden die dynamische Preissignale optimiert. Je nach Machbarkeit, werden zudem neue Konzepte, wie z.B. flexible Leistungstarife, getestet. Wichtig für die Umsetzung dieser Themen ist, dass die erste Testrunde technisch einwandfrei funktioniert hat. Die Auswertung der Daten sowie die Aufbereitung erfolgt analog zur ersten Testrunde.

2.5 Phase 4: Ergebnisse

In der Schlussphase des Projekts werden alle abschliessenden Arbeiten durchgeführt, um die Ergebnisse der beiden Testrunden umfassend auszuwerten und zu dokumentieren. Zunächst erfolgt eine finale Datenanalyse, bei der die gesammelten Daten geprüft und die Wirksamkeit der getesteten dynamischen Tarife sowie die Optimierungspotenziale identifiziert werden. Die Ergebnisse aus den Messdaten und Befragungen werden detailliert aufbereitet und interpretiert, um fundierte Aussagen über die Netzlastreduktion und die Akzeptanz der dynamischen Tarife zu treffen.

Auf Basis dieser Analysen wird Swissspower einen umfassenden Abschlussbericht erstellen, der alle wesentlichen Ergebnisse, Erkenntnisse und Empfehlungen des Projekts zusammenfasst. Dieser Bericht enthält eine detaillierte Beschreibung der durchgeführten Aktivitäten, die Analyse der Daten, die Bewertung der Wirksamkeit der dynamischen Tarife und die Schlussfolgerungen zur möglichen flächendeckenden Einführung dieser Tarife. Zudem werden Best Practices und Lessons Learned dokumentiert. Darüber hinaus werden konkrete Vorschläge für die flächendeckende Implementierung der dynamischen Tarife erarbeitet. Dies umfasst die Anpassung der technischen Infrastruktur, die Schulung der beteiligten Partner und die Entwicklung von Kommunikationsstrategien, um die Endkunden über die neuen Tarife zu informieren und deren Akzeptanz zu fördern.



3 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

In folgendem Kapitel werden die durchgeführten Arbeiten und die erzielten Resultate anhand der bestehenden Arbeitspakete ausgeführt.

3.1 AP1: Studiendesign

Das Studiendesign des ESIT-Projekts entspricht einer randomisierten Kontrollstudie, bei der die Kunden nach dem Zufallsprinzip in eine Kontroll- und eine Behandlungsgruppe eingeteilt werden. Damit wird anschliessend die statistische Signifikanz der Unterschiede zwischen den Gruppen für verschiedene Key Performance Indicators (KPIs) analysiert. Das Studiendesign wurde am 05.04.2024 vom Ethikausschuss der ZHAW für gut befunden. Somit wurde sichergestellt, dass alle ethischen Richtlinien und Standards eingehalten werden.

Nachfolgend sind die Rahmenbedingungen des Studiendesigns in Unterkapiteln beschrieben.

3.1.1 Testphasen

Die geplanten Testphasen im Projekt sind in Abbildung 3 dargestellt. Die zugehörigen Tarifdesigns wurden in AP2 erarbeitet und werden in Kapitel 3.2 erläutert. Die Anzahl der in jeder Phase parallel getesteten Tarife wird auf der Grundlage registrierter Testkunden bestimmt.

Phase:	Begründung:	Design:	Netztarif:	Energietarif:	Preissymmetrie (E/A):
1 Herbst 24	<i>Prä-test der Effektgrösse und nötigen Gruppengrösse.</i>	d0	Einheitstarif	Einheitstarif	nein
		d1	Proportional zu Netzlastprognose	Einheitstarif	nein
2 Q1 & Q2 25	<i>Test von Tarifsätzen, die einfach umsetzbar sind</i>	d2	Proportional zu Netzlastprognose	Einheitstarif	ja
		d3	Stufenfunktion der Netzlastprognose	Proportional zu D-1 Marktpreis	ja
3 Q3 25 – Q2 26	<i>Test von Tarifsätzen, die ggf. Anpassungen bei HEMS Anbietern erfordern.</i>	d4	Zeitabhängiger Leistungstarif	Einheitstarif	nein
		d5	Stufenfunktion der Netzlast	Proportional zu Spot Marktpreis	ja

Abbildung 3: Testphasen im ESIT-Projekt.

In der Onboarding-Phase (Phase 1 in Abbildung 3) erfolgte die fortlaufende Anbindung an Testkunden, denen ein erster dynamischer Tarif (d1) übermittelt wird. Mit Abschluss der ersten Akquise an Testkunden wurde die Gruppeneinteilung der Testkunden für die weiteren Phasen anhand der Auswertungen aus der qualitativen Befragung vorgenommen. Phase 1 wurde mit einer ersten Auswertung abgeschlossen, um die Effektgrösse und Signifikanz einzuschätzen und allenfalls Anpassungen vorzunehmen. Während Phase 2 werden die Auswirkungen der derzeit möglichen Tarife d1 bis d3 an den eingeteilten Gruppen getestet. Schlussendlich werden in Phase 3 die Auswirkungen komplexerer Tarife geprüft, welche möglicherweise Anpassungen an den Steueralgorithmen der HEMS-Anbieter erfordern. Diese Anpassungen werden im weiteren Projektverlauf mit den HEMS-Anbietern diskutiert und umgesetzt.

3.1.2 Testgruppen

Am Ende der Onboarding-Phase, nach Abschluss der ersten Testkundenakquise, wurden die Testkunden in Gruppen eingeteilt. Die Gruppenzuteilung erfolgt mittels geschichteter Zufallsstichproben, um sicherzustellen, dass die verschiedenen Gruppen in Bezug auf relevante Faktoren wie den HEMS-Betreiber, die Anzahl und Art der vom HEMS gesteuerten Geräte und gegebenenfalls andere Merkmale der Haushalte (z. B. Haushaltsgröße, Einkommen usw.) so ausgewogen wie möglich sind.

Zu Beginn der Testphasen wird jeder Gruppe ein Tarif zugewiesen. Die zugewiesenen Tarife werden im Laufe der Phase rotiert, so dass:

- Jeder Tarif zu jedem Zeitpunkt von mindestens einer Gruppe getestet wird
- Jede Gruppe bis zum Ende der Studienphase jeden Tarif über einen ähnlichen Zeitraum hinweg getestet haben wird

Für die ersten Monate der Tests ergab sich somit der folgende Testplan

Gruppe	Dec'24	Jan '25	Feb '25	Mar '25
g0	d0	d1	d2	d0
g1	d1	d2	d0	d1
g2	d2	d0	d1	d2
g3	d0	d2	d1	d0

Tabelle 1: Testplan von Dec'24 bis Mrz'25.

3.1.3 Daten und Erhebung

Im Rahmen des Projekts werden die folgenden Rohdaten erhoben:

- **Last des Kunden [kW]:** Stromverbrauch eines jeden Endkunden während jeder 15-minütigen Messperiode während des eingestellten Versuchszeitraums. Die Daten werden von den beteiligten Netzbetreibern erhoben und für die Auswertung aufbereitet.
- **Netzlast [kW]:** Effektive historische Netzlast der teilnehmenden Verteilnetzgebiete während jeder 15-minütigen Messperiode.
- **Elektrizitätspreis [CHF/kWh]:** Preis für die Schweiz aus der Day-Ahead-Auktion der EPEX-SPOT, der in jeder 15-minütigen Messperiode gültig ist.

Die Rohdaten werden den folgenden Analysen unterzogen:

a) **Deskriptive Analysen:** Dazu werden die Rohdaten anhand von deskriptiven Statistiken wie der Anzahl der „Nullwerte“ pro Zeitreihe und ggf. weitere Statistiken des täglichen Stromverbrauchs derselben Nutzer innerhalb eines Monats im Vergleich zum Vormonat auf Vollständigkeit, Datenlücken oder Strukturbrüche geprüft.

b) **Erfolgsanalyse:** Hierzu werden aus den Rohdaten die unten beschriebenen Key Performance Indicators (KPIs) berechnet. Die unter „Erfolgsanalyse“ beschriebenen Tests untersuchen, ob/welche Tarifgestaltungen zu statistisch signifikanten Verbesserungen der KPIs führen.



3.1.4 Erfolgsmessung anhand von KPIs

Da nur ein Bruchteil aller Kunden in den verschiedenen Netzgebieten an der Feldstudie teilnimmt, wird die Netzlast ein Vielfaches der Gesamtlast der teilnehmenden Kunden betragen. Um die Netzlast mit der Kundenlast der verschiedenen Gruppen vergleichbar zu machen, werden die absoluten Werte (kW) der Netzlast und die Gesamtlast der einzelnen Kundengruppen normalisiert, indem sie durch die jeweilige Jahresdurchschnittslast des Vorjahres dividiert werden. Die folgenden KPIs werden anhand der synthetischen Gesamtlast berechnet:

- **KPI 1 (Netzüberlastung):** Die Netztarife sollten Anreize für die Verbraucher schaffen, Netzüberlastungen zu vermeiden. Derzeit sind die meisten Verteilungsnetze so dimensioniert, dass das Netz fast nie überlastet wird. Um zu beurteilen, ob Tarife Netzüberlastungen vermeiden können, gehen wir in der Studie davon aus, dass die Netzkapazität auf ein bestimmtes Vielfaches der für diesen Tag erwarteten Netzspitzenlast begrenzt ist (= künstliche Verknappung der Netzkapazität). Damit kann evaluiert werden, wie sich die eingeführten Tarife in Zeiten unterschiedlich hoher Netzauslastung auf den Verbrauch auswirken. Der erste KPI misst, wie hoch die maximale tägliche Gesamtlast im Vergleich zu dieser Netzkapazität ist.
- **KPI 2 (Strombeschaffungskosten):** Es wird angenommen, dass eine Korrelation zwischen Netzlastoptimierung und Strompreisen besteht. Dieser KPI zeigt, welchen positiven Effekt auf die Strombeschaffungskosten des EVU erzielt wird, wenn dynamische Netznutzungstarife eingeführt werden. Der zweite KPI misst, wie viel niedriger die Beschaffungskosten pro kWh für das gesamte Lastprofil sind, im Vergleich zu den Beschaffungskosten pro kWh, wenn die gleiche Energiemenge gemäss dem aktuellen Netzlastprofil beschafft wird.
- **KPI 3 und KPI 4 (Kostensenkungspotenzial):** Die Tarife sollten den Verbrauchern einen Anreiz bieten, die Gesamtkosten für die Strombeschaffung und des Netzausbau und Wartung zu senken. Das Netz macht derzeit rund 50% der Gesamtkosten in der Schweiz aus. Es wird angenommen, dass rund 40% der Netzkosten proportional zur jährlichen Netzspitzenlast sind, während die restlichen 60% der Netzkosten unabhängig davon anfallen. Basierend auf diesen Annahmen messen KPI 3 und 4 das Potenzial zur Reduktion der Netzkosten und Gesamtkosten.
- **KPI 5 (Kundeneinsparung):** Ein letzter KPI soll zeigen, welche Kosten die Endkunden mit der Verwendung des Preissignals und der damit verbundenen Optimierung einsparen.

Um die Erfolgsmessung vorzubereiten, werden die oben genannten KPIs aus den Rohdaten für verschiedene Gewichtungsfaktoren für jeden Tag des Messzeitraums und für jede der Gruppen berechnet. Der Effekt der Tarifgestaltung auf die verschiedenen KPIs wird mit Hilfe einer Regression ermittelt.

3.2 AP2: Tarifdesign

Die Berechnung der verschiedenen Tarifstrukturen orientieren sich so weit wie möglich an den postulierten Grundprinzipien von C. Winzer (2023). Es ist wichtig anzumerken, dass diese Prinzipien auf theoretischen Grundüberlegungen basieren und nicht deckungsgleich mit den Prinzipien der geltenden Gesetzgebung sind. Sie stellen vielmehr eine Idealbeschreibung tariflicher Anreize dar.

- **Kostenverursacher-Prinzip:** Die Netzentgelte sollten sicherstellen, dass jeder Kunde die von ihm verursachten Netzkosten trägt. Kunden sollten das Netz nur nutzen, wenn der durch die Nutzung erzielte Nutzen, wie z.B. erhöhter Komfort oder Markteinnahmen, die Netzkosten übersteigt.
- **Netzdienlichkeit:** Netzentgelte sollten die Netzkosten minimieren, indem sie schnelle und zuverlässige Lastbeschränkungen bei Netzüberlastung ermöglichen.
- **Angemessenheit:** Die Gestaltung der Netzentgelte sollte die Transaktionskosten berücksichtigen. Granulare Tarifstrukturen sollten nur verwendet werden, wenn die Vorteile die Kosten übersteigen.

- **Ausreichend:** Netzentgelte sollten die Netzkosten über die Lebensdauer der Vermögenswerte decken.
- **Symmetrie:** Die Netzentgelte für Einspeisungen sollten ebenso steigen, wenn die Einspeisungen die Kapazitätsgrenze erreichen, wie die Netzentgelte für Entnahmen.
- **Regionale Differenzierung:** Die regionale Granularität der Netzentgelte sollte erhöht werden, um Fehlanreize zu verhindern. Knappheitspreise könnten für jeden Verteilnetzknoten gewichtet werden, um die Effizienz zu maximieren.

Als Basistarif (d0) für den Vergleich wurden die heutigen Hoch-Niedertarife der Netzbetreiber gewählt. Die meisten der Teilnehmer an der Feldstudie werden aktuell über einen Hoch- Niedertarif ihres Netzbetreibers abgerechnet. Die Wahl dieses Tarifes als Basistarif ermöglicht somit eine Bestimmung der Tarifwirkung im Vergleich zu dem aktuellen «Status-Quo». Darüber hinaus können so auch allfällige Mehrkosten aus der Teilnahme an der Studie genauer bestimmt werden.

Nach bisheriger Entwicklung werden im Swisstopower InnoStrom-Tool die in Tabelle 2 dargestellten Tarifdesigns abgebildet. Alle Tarife wurden so kalibriert, dass die im Fall eines Referenzlastprofils resultierenden Kosten bei allen Tarifansätzen gleich hoch ausfallen und den Kosten des jeweiligen Stromversorgers entsprechen. Im Rahmen der ersten Studienphase wurde zunächst die Netzlastprognose als Referenzlastprofil verwendet. Die Netzlastprognose für die teilnehmenden Netzgebiete wird aus den effektiven historische Bruttonetzlastgängen berechnet. Zur besseren Vergleichbarkeit wird für die Tarifkalibrierung in allen Netzgebieten dieselbe Netzlastprognose verwendet. Dabei wird wöchentlich rotiert, aus welchem Netzgebiet die für die Kalibrierung verwendete Netzlastprognose stammt.

Tabelle 2: Tarifdesigns während der ersten Studienphase.

Tarifkomponente	D0	D1	D2	D3
Ausspeisung, Netz	Hoch- Niedertarif	Proportional zu Netzlast-Prognose	Proportional zu Netzlast-Prognose	Stufenfunktion der Netzlast-Prognose
Ausspeisung, Energie	Hoch- Niedertarif	Einheitstarif	Einheitstarif	Proportional zu Spotpreis
Einspeisevergütung	Einheitstarif	Einheitstarif	Symmetrisch	Symmetrisch

Im Fall des ersten Tarifdesigns (d1) ist der Ausspeisetarif für die Netznutzung proportional zu der prognostizierten Netzauslastung. Dies motiviert die Kunden, ihre Lasten von Zeiten hoher in Zeiten niedriger prognostizierter Netzauslastung zu verlagern und somit die Netzstabilität präventiv zu verbessern. Kombiniert wird dieser Netznutzungstarif mit einem statischen Energietarif, sowie einem statischen Einspeisetarif.

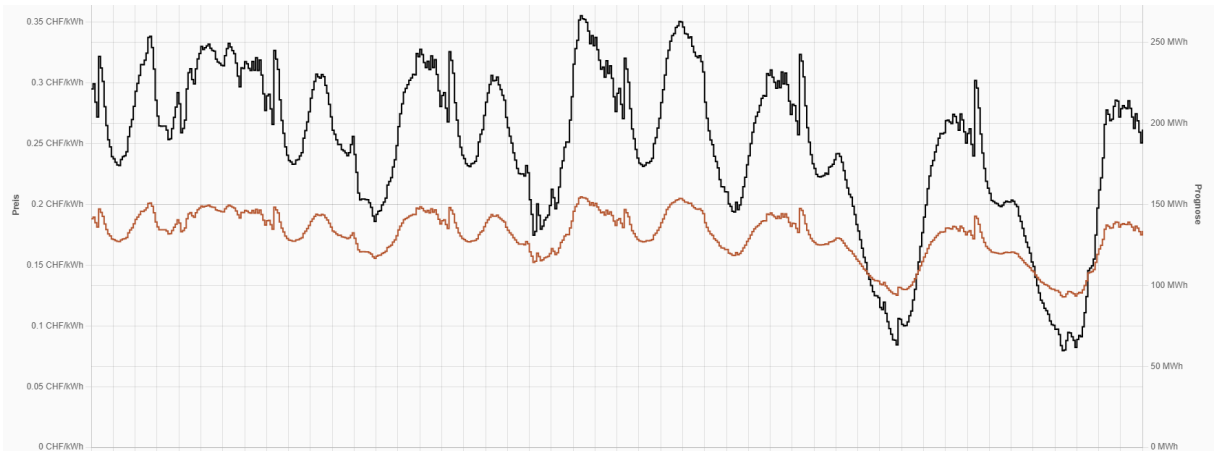


Abbildung 4: Mögliche Ausprägung des Ausspeisetarifs d1 (Braun) mit einer linearen Abhängigkeit der Netzlast-Prognose (Schwarz). Darstellung einer ganzen Woche von Montag bis Sonntag.

Im Fall des zweiten Tarifdesigns (d2) werden Einspeisungen und Ausspeisung symmetrisch behandelt. Während der Ausspeisetarif sich im Vergleich zu d1 nicht ändert, entspricht die Entschädigung für allfällige Einspeisungen im Fall von d2 dem Preis für die Ausspeisungen. So wird ein Anreiz zur lokalen Produktion in Zeiten von hohem Verbrauch gesetzt. Der Energietarif bleibt konstant.

Im Fall des dritten Tarifdesigns (d3) wird der Tarif für die Netznutzung über eine Stufenfunktion in Abhängigkeit von der prognostizierten Netzlast bestimmt. Der Netznutzungstarif bleibt zunächst konstant, solange das Netz nicht überlastet ist. Bei einer drohenden Netzüberlastung wird jedoch eine Überlastungsgebühr aufgeschlagen, die proportional zu der erwarteten Überschreitung der «Engpassschwelle» ist. Kombiniert wird dieser Ansatz mit einem dynamischen Energietarif, der proportional zu dem Spotpreis in der Vortagsauktion am Grosshandelsmarkt ist. Darüber hinaus entspricht die Einspeisevergütung auch im Fall von d3 dem Ausspeisetarif. Diese Kombination erlaubt eine gesamtheitliche systemdienliche Optimierung mit beide Perspektiven «Netz» wie auch «Energie».

Die weiteren Tarifdesigns, welche in der zweiten Testphase zum Einsatz kommen, sind in der nächsten Projektphase zu definieren. Angestrebt wird die Umsetzung eines mehrstufigen Leistungstarifs sowie einer praxistauglichen Kombination der Elemente Arbeitstarif und Leistungstarif.

3.3 AP3: HEMS

Zur Identifikation von geeigneten HEMS-Anbietern als Projektpartner in diesem Projekt wurde eine umfassende Analyse vorhandener Anbieter in der Schweiz durchgeführt. Dabei wurde nach dem Grundsatz der Anbieter-Offenheit vorgegangen, um einen breit abgestützten Standard zu erreichen als auch um möglichst viele Testkunden rekrutieren.

Insgesamt wurden mit ca. 30 verschiedenen Anbietern von HEMS Vorgespräche geführt. Basierend auf relevanten Kriterien wie der Möglichkeit des Systems zur Einbindung dynamischer Tarife, dem Interesse an einer Mitwirkung im Projekt, als auch der Anzahl Testkunden in den Einzugsgebieten teilnehmender VNB wurde eine Kerngruppe aus 13 HEMS-Anbietern identifiziert, mit welchen in einer ersten Phase eng zusammengearbeitet wird. Diese sind SolarManager, Helion, SolEco, Lynus, Invisia, Fenecon/Climacure, Zerofy, Mybn, Clemap, Kiwigrid, Loxone (über deren Installateure Smarterr und Heinz-Schmid) und SmartFox. Die Kerngruppe ist jedoch nicht abschliessend und wird nach Möglichkeit fortlaufend erweitert.

Mit dieser Kerngruppe wurde die Anbindung an die entwickelte API geprüft. Das Feedback hierzu viel durchgehend positiv aus. Zudem wurde ein Prozess für die Akquise von Testkunden definiert. Diese werden hierfür direkt von ihren HEMS-Anbietern kontaktiert und können sich bei Interesse direkt über die ESIT-Landingpage (www.dynamische-stromtarife.ch) für die Studie anmelden. Danach werden sie

von Swisspower bzw. der ZHAW für die Erstumfrage kontaktiert. Im Hintergrund wird der Abruf des dynamischen Preissignals von den HEMS-Anbietern eingerichtet.

3.4 AP4: Schnittstelle

Zur Einführung von dynamischen Tarifen hat Swisspower das InnoStrom-Tool entwickelt. Im Pilotprojekt ESIT wird das Tool mit verschiedenen Tarifstrukturen verwendet und deren Wirkung auf die Netzlast gemessen. Basierend auf einer Netzlast-Prognose des Energieversorgers werden im InnoStrom-Tool mit Algorithmen die jeweiligen Preissignale berechnet und auf einer Schnittstelle zum Abruf bereitgestellt. Bis um 16:00 Uhr wird für mindestens den Folgetag das Preissignal, bestehend aus 15-min-Werten, publiziert. Die HEMS rufen das Preissignal einmal täglich automatisiert ab und planen die flexiblen Lasten für den Folgetag mit dem Ziel, möglichst wenig Kosten zu verursachen. Endverbraucher müssen ihr Verhalten damit nicht verändern – dies erfolgt im Hintergrund durch das HEMS, ohne dass der Endverbraucher die Auswirkungen bemerkt.

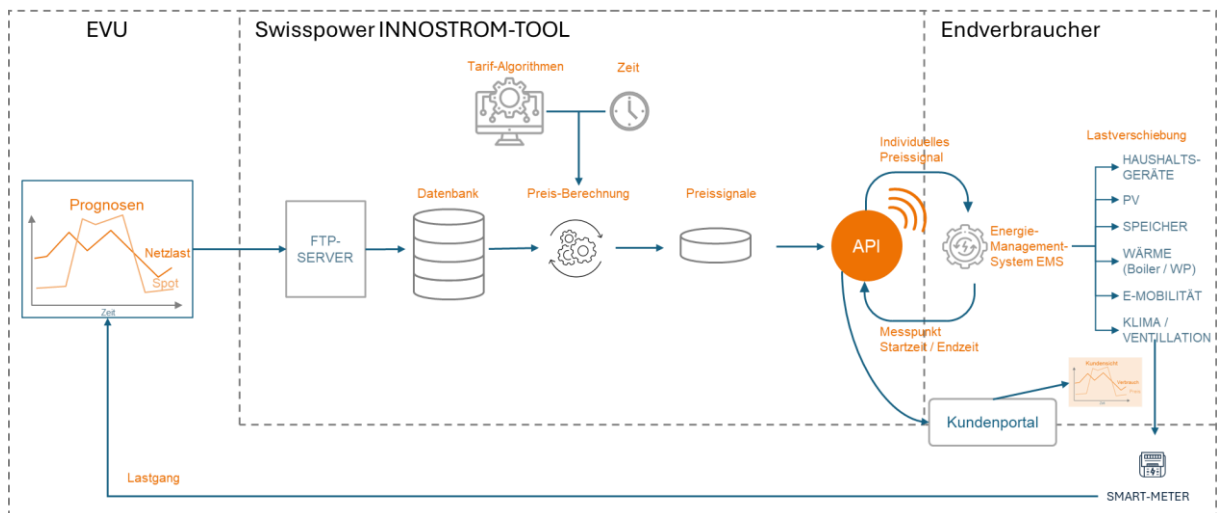


Abbildung 5: Illustration zur Funktionsweise des Swisspower InnoStrom-Tool

Die Abbildung 5 veranschaulicht die Funktionsweise des InnoStrom-Tools. Die Basis für die Berechnung der Tarife bilden die Netzlast-Prognosen der Energieversorger. Aktuell werden Gesamt-Netzgebiete einbezogen, wobei eine feinere Granularität (lokale Netzlast-Prognosen) zur Berechnung lokaler Netznutzungstarife in Zukunft angestrebt wird. Das Tool kann mehrere Tarifmodelle abbilden, darunter proportionale Tarife, Stufenfunktionen sowie zukünftig flexible Leistungstarife. Die berechneten Tarife werden auf dem InnoStrom-Tool zur Abfrage über eine API bereitgestellt.

Die ESIT API¹ ermöglicht den HEMS die automatisierte Abfrage der dynamischen Preise. Über die API können Preiskomponenten für die Netznutzung, Abgaben, Energie und Rücklieferung einzeln abgerufen werden. Möglich ist auch der Abruf des Gesamtpreises, bestehend aus allen Komponenten. Die separate Abfrage der Komponenten entspricht dem europäischen Standard und bedingt die entsprechende Definition der Abfrageparameter im HEMS. Zur Abfrage liefert das HEMS der API die Messpunktnummer und einen Authentifizierungstoken, woraufhin das InnoStrom-Tool den entsprechenden Tarif darstellt. Im Tool wird jeder Messpunktnummer ein zugehöriger Tarif zugewiesen. Mit dieser Methodik können Tarife nach beliebiger regionaler/lokaler Auflösung differenziert werden.

¹ Dokumentation der API abrufbar unter: https://esit.code-fabrik.ch/doc_scalar#description/datumsformate



Die HEMS optimieren den Verbrauch auf der Basis der gelieferten Tarife und steuern die Geräte so, dass die Gesamtkosten minimiert werden. Smart Meter des Energieversorgers messen den 15-Minuten-Lastgang, welcher anschliessend vom EVU mit dem individuellen Preissignal multipliziert wird, um die Kosten für die Netznutzung zu bestimmen.

In der Entwicklung der API wurde der Kooperation mit allen Stakeholdern einen hohen Stellenwert beigemessen. Hierzu wurde das Feedback der Arbeitsgruppe zu dynamischen Tarifen des VSE, dem Verein SmartGridReady und einem weiten Kreis an HEMS-Anbietern eingeholt. Somit ist die API breit abgestützt und kann sich zum Standard in der Schweiz etablieren.

3.5 Testkunden

Um als Testkunde am Projekt teilzunehmen sind zwei technische Bedingungen erforderlich: Es muss ein HEMS im Einsatz sein, welches ein Preissignal empfangen kann und es muss ein intelligenter Stromzähler oder ein Lastgangzähler mit Fernauslesung eingesetzt sein, damit der Lastgang ausgewertet werden kann. Die Anforderung an den Zähler dürfte weniger kritisch sein, da vor allem renovierte oder neu gebaute Objekte mit einem HEMS ausgestattet werden, wo Smart-Meter gesetzlich vorgeschrieben eingesetzt werden müssen oder die VNB die Objekte bei der Ausrüstung Priorisieren können

VNB wissen in der Regel nicht, welche HEMS in ihrem Netzgebiet im Einsatz sind. Deshalb werden die Testkunden über die identifizierten HEMS-Anbieter akquiriert (siehe Kapitel 3.3). Zum einen wird dafür nach vorhandenen Kunden in den Netzgebieten der teilnehmenden Netzbetreiber gesucht. Diese gelten alle als potenzielle Testkunden im Rahmen des Projekts. Zusätzlich sind alle neu eingebauten HEMS-Systeme in den Netzgebieten mögliche Testkunden. Diese beiden Potenziale sollen mit Hilfe der HEMS-Anbieter identifiziert und für die Studie gewonnen werden. Zur Akquise von Testkunden wurde eine ESIT-Landingpage (www.dynamische-stromtarife.ch) erstellt, welche über das Projekt informiert und mögliche Fragen der Kunden aufgreift und beantwortet. Zudem erfolgt die Registration für die Studie direkt über die Landingpage.

Die Akquise von Testkunden konnte bereits gestartet werden. Das Anschreiben wurde an alle HEMS der Kerngruppe übermittelt. Diese versenden das Anschreiben an insgesamt rund 1000 mögliche Testkunden. Gemäss dem beschriebenen Prozess registrieren sich die Testkunden danach via Website unter Einwilligung der Datenschutzerklärung und werden danach an das Preissignal gekoppelt. Die Kundenakquise wird fortlaufend weiter geführt durch Integration neuer HEMS – Anbieter oder auch alternativer Kommunikationsanlagen wie etwa dem Kundenportal der VNB.

4 Bewertung der bisherigen Ergebnisse

Das ESIT-Projekt befindet sich inzwischen in Phase 2: Die erste, explorative Testphase wurde erfolgreich abgeschlossen. Dabei wurden sämtliche in Phase 1 aufgebauten Elemente – das Studien- und Tarifdesign, die Swissspower Web-API, die Anbindung der HEMS-Partner sowie die organisatorischen Abläufe – unter Realbedingungen erprobt. Die Tests dienen dazu, frühzeitig Kennwerte zu erfassen und potenziellen Optimierungsbedarf aufzudecken, bevor das Projekt in die nächste, grössere Versuchsserie übergeht.

Die Rekrutierung weiterer Testkund*innen verläuft weiterhin intensiv, sodass ein belastbares Datenset für die nachfolgenden Auswertungen bereitsteht.

4.1 Deskriptive Analysen

Die erste Testphase fand im Zeitraum Dezember 2024 bis Ende Februar 2025 statt. Zu Beginn der Testphase waren 95 Testkunden im Projekt registriert. Davon konnten 58 Kunden angebinden werden und haben das Tarifsignal erhalten. 24 Teilnehmende hatten zum Startzeitpunkt die erforderliche Umfrage noch nicht ausgefüllt und waren daher noch nicht eindeutig identifiziert. Sieben hatten sich nachträglich wieder abgemeldet oder mussten aufgrund nicht erfüllter Teilnahmebedingungen aus dem Projekt ausgeschlossen werden. Sechs weitere Kundinnen und Kunden befanden sich noch in der technischen Umsetzung: Ihre HEMS-Systeme waren entweder noch in Entwicklung oder zum Zeitpunkt der Testphase noch nicht in Betrieb.

Die teilnehmenden Netzbetreiber konnten davon insgesamt 56 Zeitreihen aus der Testphase übermitteln. Davon enthielten 8 Zeitreihen fehlende Messwerte (zurückzuführen auf noch fehlende Smart-Meter oder späteres Anbinden). Es wurden keine Ersatzwerte gebildet sondern die Zeitreihen aus den Auswertungen ausgeschlossen. Es wurden weitere Probleme bei der Datenerhebung der VNB festgestellt oder in der Zuweisung der Zeitreihen. Insgesamt liegt für die Auswertung der ersten Testphase ein Datenset von 48 Lastgängen vor.

Im Rahmen der deskriptiven Analyse wurde zunächst betrachtet, wie sich die durchschnittlichen Lastprofile der verschiedenen Gruppen (=Zeilen) in den einzelnen Studienmonaten (=Spalten) veränderten (Abbildung 6). Dabei fällt auf, dass sich die Lastprofile zwischen den einzelnen Gruppen unterscheiden (z.B. Gruppe 0 mit Peaks am Morgen und am Abend, Gruppe 3 mit Peaks v.a. am Morgen). Die Lastprofile innerhalb der Gruppen sind in den verschiedenen Spalten (=Monaten) trotz der monatlichen Tarifwechsel eher konstant.



Average load profiles for each group and month

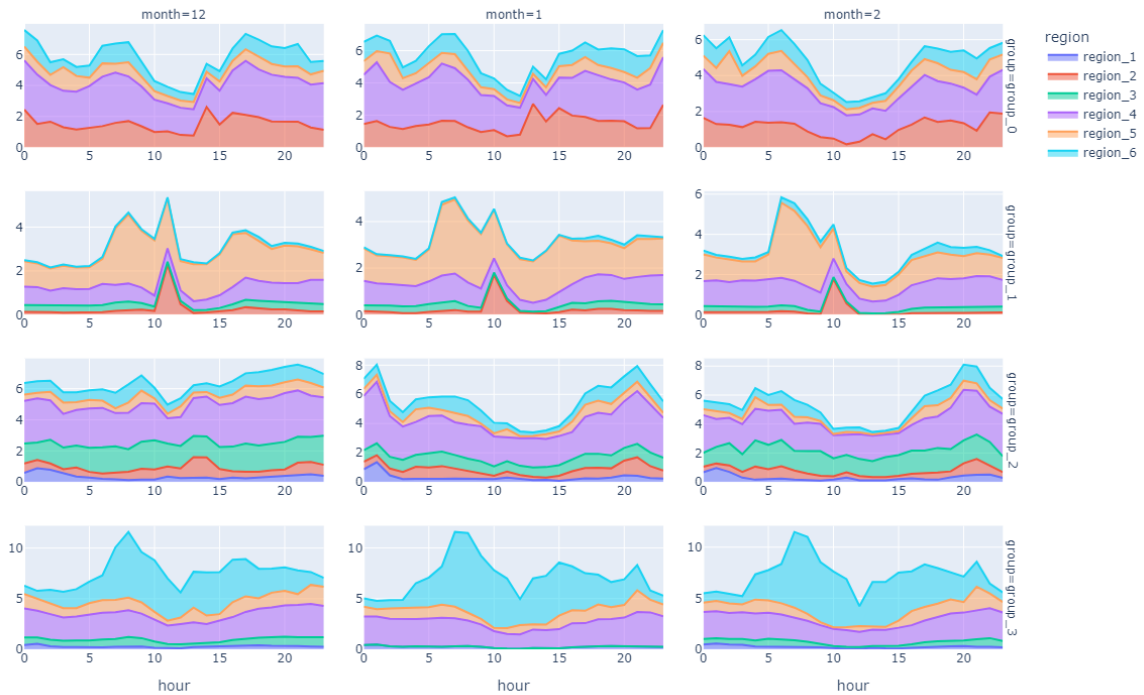


Abbildung 6: Durchschnittliches Lastprofil der verschiedenen Kundengruppen (=Zeilen), Regionen und Monate (=Spalten).

Für die Analyse möglicher Gründe für die geringe Veränderung der Lastprofile trotz der monatlichen Tarifwechsel wurde zunächst das durchschnittliche Tarifprofil der verschiedenen Regionen und Gruppen in den entsprechenden Monaten ermittelt (Abbildung 7). Dabei fällt auf, dass die durchschnittlichen Tarife für die unterschiedlichen Tarifdesigns ähnlich ausfallen. Der Grund hierfür ist der bisher verwendete Kalibrierungsansatz, bei dem der Tarif innerhalb des Hochtarif-Zeitfensters auf das Niveau des Hochtarifes, und innerhalb des Niedertarif-Zeitfensters auf das Niveau des Niedertarifes kalibriert wurden, so dass der Hub der Tarifniveaus zwischen Hochtarif- und Niedertarifzeiten im Vergleich zu den kontinuierlichen Tarifänderungen dominiert. Im Rahmen der folgenden Studienmonate soll daher stattdessen ein anderer Kalibrierungsansatz für die Tarifberechnung verwendet werden (s.u.).



Abbildung 7: Durchschnittliches Tarifprofil der verschiedenen Kundengruppen, Regionen und Monate im Vergleich zur Netzlastprognose (=gestrichelte rote Linie).

Als nächster Schritt wurden daher die einzelne Tarif- und Lastzeitreihen betrachtet, um zu sehen, wie plausibel die Reaktion der Lastprofile auf das Tarifsignal erscheint. Von den 56 übermittelten Zeitreihen wiesen 9 Zeitreihen Peaks zumeist während der optimalen Stunden auf (Abbildung 8 a). Daneben gab es 15 Zeitreihen, bei denen die Peaks tendenziell während Niedertarifzeiten auftraten, die günstigste Stunde aber häufig verfehlten, da Lasten beispielsweise zu festen Tageszeiten anstelle den günstigsten Tarifzeiten eingeschaltet wurden (Abbildung 8 b). Bei den verbleibenden 32 Zeitreihen war entweder keine Häufung der Last während Niedertarifzeiten erkennbar, oder die Peaks traten tendenziell sogar häufiger während Hochtarifzeiten auf (Abbildung 8 c). Als nächsten Schritt vor der Berechnung der KPIs sollten diese Fälle mit den HEMS-Anbietern geprüft werden, um festzustellen, ob das Verhalten aufgrund der automatischen Laststeuerung, oder durch manuelle Schaltaktionen der Kunden verursacht wurde.

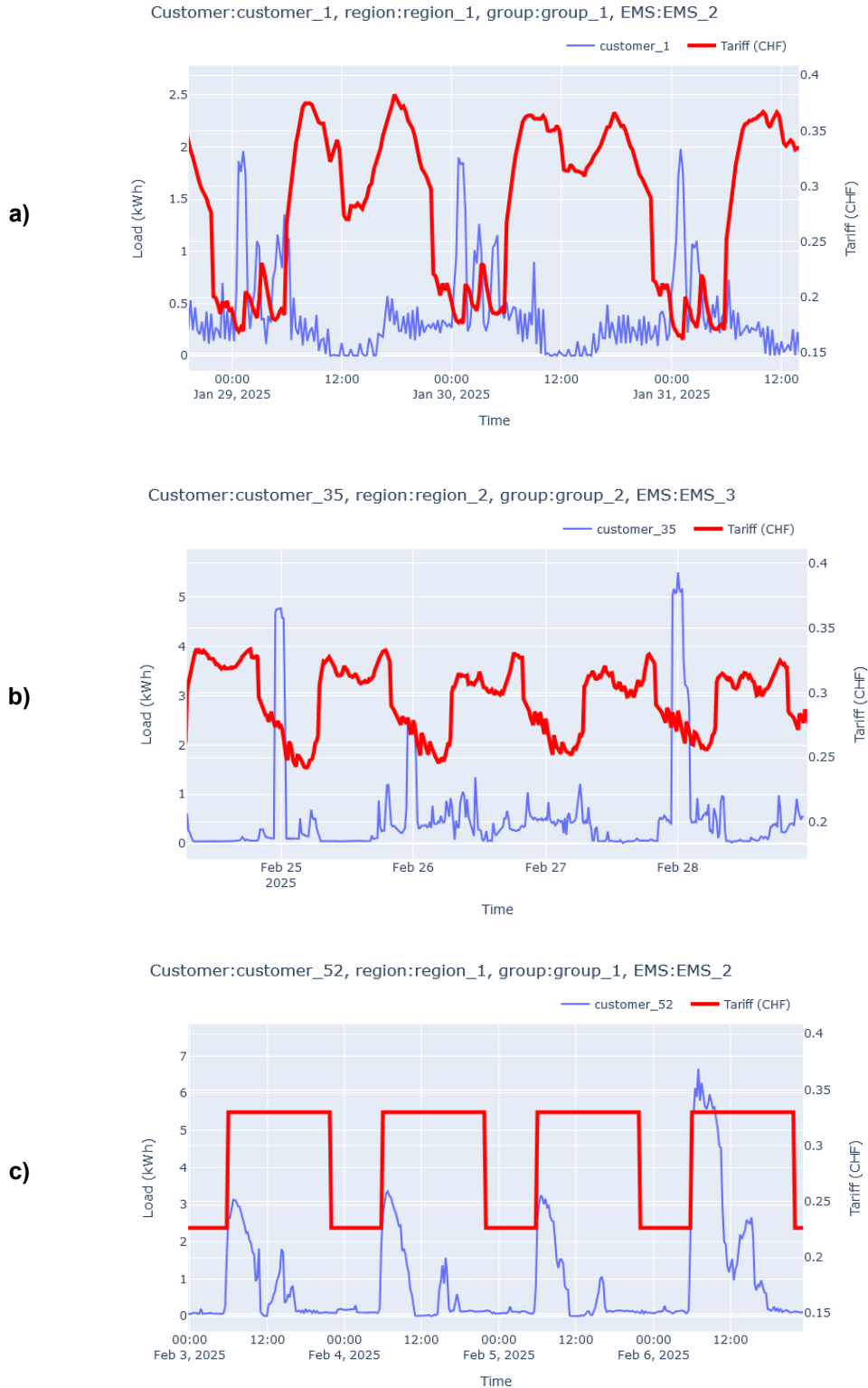


Abbildung 8: Beispiele für Lastzeitreihen, bei denen Peaks a) während der optimalen Stunden, b) während günstigen, aber nicht optimalen Stunden und c) während der teuersten Stunden auftreten.

4.2 Schlussfolgerung

Der zentrale Befund der ersten Testrunde ist eine durchweg stabile End-to-End-Kette – von der Preisberechnung über die API-Bereitstellung bis zum Empfang der Signale im HEMS. Vereinzelt auftretende Fehlermeldungen konnten gemeinsam mit den Projektpartnern innerhalb kürzester Zeit behoben werden. Auf dieser Basis wurden diverse Mechanismen eingebaut, um Fehler frühzeitig zu erkennen. Gleichzeitig zeigen sich bei der Umsetzung der Optimierungsmöglichkeiten noch einzelne technische Komponenten und Abläufe, die nicht in allen Fällen reibungslos funktionieren. Diese Punkte sind Gegenstand der laufenden Weiterentwicklung und werden in der zweiten Phase des Projekts gezielt adressiert.

Für die Auswertungen, stellen alle Netzbetreiber 15-Minuten-Lastgänge bereit, die von Swisspower aufbereitet und an die ZHAW übertragen werden. Dieser Workflow ist noch stark manuell geprägt und damit zeitaufwendig; eine weitergehende Automatisierung hat hohe Priorität. Trotz des Aufwands lassen sich die Daten zuverlässig aggregieren und analysieren.

Die ersten drei Monatsdatensätze zeigen zwar gruppenspezifische Lastmuster, jedoch keine eindeutige Entlastung des Netzes gegenüber der Kontrollgruppe.

Drei Ursachen wurden identifiziert:

- **Tarifkalibrierung**

Der bisherige Ansatz, die Preise an den Hoch-/Niedertarif-Grenzen auszurichten, überlagert das eigentlich dynamische Signal. In der nächsten Testphase wird daher der komplette Tagesverlauf auf ein einheitliches Tagesmittel normiert, sodass ausschliesslich die intratägliche Variation auf Basis der Netzlastprognose den Anreiz bildet. Dabei wird in allen Netzgebieten dieselbe Netzlastprognose verwendet, so dass die Tarife denselben zeitlichen Verlauf aufweisen, und lediglich parallel verschoben sind.

- **Gruppeneinteilung**

Die Kalibrierung nach Basistarif der jeweiligen Netzgebiete hatte zur Folge, dass aufgrund von unterschiedlichen Tarifzeiten je Netzgebiet unterschiedliche Tarifsignale übermittelt wurden. Daraus ergibt sich, dass die Vergleiche lediglich innerhalb der Netzgebiete durchgeführt werden können und Gruppen über die Netzgebiete hinweg für die Auswertung nicht identische Signale erhielten. Durch die Anpassung der Kalibrierung wird die Vergleichbarkeit in den Gruppen gewährleistet, da der Tarifverlauf nur noch von der Netzlast abhängt und nicht von den Hoch- und Niedertarifzeiten der Netzbetreiber.

- **HEMS-Optimierung**

Stichproben zeigen sowohl überwiegend plausible Lastverschiebungen als auch vereinzelt kontraproduktive Reaktionen (z. B. gleichzeitiges Aktivieren mehrerer Verbraucher bei hohem Tarif). Bei betroffenen Teilnehmern werden gemeinsame Code-Reviews mit den HEMS-Anbietern durchgeführt, um Prioritäten und Randbedingungen zu prüfen und gegebenenfalls anzupassen.

Mit diesen Massnahmen sollen in der nächsten Testphase klarere Effekte auf die KPIs Netzüberlastung und Kosten sichtbar werden.



5 Weiteres Vorgehen

Die in Phase 2 etablierten Prozesse werden kontinuierlich fortgeführt und auf Basis der in Kapitel 4.2 beschriebenen Erkenntnisse angepasst. Die angepassten, auf das Tagesmittel normierten Tarifprofile sind bereits implementiert und werden laufend über die Swissspower-API bereitgestellt. Parallel dazu wird der Datentransfer zwischen Netzbetreibern, Swissspower und der ZHAW weiter standardisiert, sodass ein höherer Automatisierungsgrad erreicht und der manuelle Aufwand reduziert werden kann. Zusätzliche Monitoring-Mechanismen sollen aufgebaut werden, damit technische Unregelmässigkeiten frühzeitig erkannt und behoben werden können.

In mehreren Zwischenschritten werden weiterhin sukzessive Auswertungen vorgenommen, um allfällige Optimierungen oder Anpassungen unverzüglich umzusetzen. Dieses iterative Vorgehen ermöglicht eine flexible Reaktion auf neue Erkenntnisse und knüpft damit nahtlos an die bewährte Arbeitsweise beim Abschluss der ersten Testphase an. Nach wie vor werden Kunden, die neu dazustossen, angebunden und in die Studie integriert. Des Weiteren wird mit den Projektpartnern an weiteren möglichen Tarifen gearbeitet.

6 Nationale Zusammenarbeit

Das Projekt bleibt weiterhin für alle HEMS-Anbieter offen, die Interesse daran haben, ihre Systeme über die bereitgestellte API anzubinden und sich aktiv am weiteren Verlauf zu beteiligen.

Swissspower engagiert sich im Rahmen der VSE-Arbeitsgruppe zur Erstellung des Handbuchs dynamische Tarife (HDT). Damit verbunden ist die Bestrebung, einen Schweizer Standard für die API-Schnittstelle zu entwickeln. Swissspower bringt die Erkenntnisse aus dem Projekt in die Arbeitsgruppe mit ein, richtet sich an den gemeinsam entwickelten Standards und fördert damit die Umsetzung von dynamischen Tarifen in der Schweiz.

7 Veröffentlichungen und Kommunikation

Landingpage für Testkunden: www.dynamische-stromtarife.ch

Interview Swissspower: [Swissspower | Dynamische Stromtarife: «Das künftige Tarifsysteem muss...](#)

Präsentationen an Tagungen:

- Netzimpuls (Electrosuisse)
- EVU-Benchmarking (CKW)
- Frühlingsanlass (VESE)
- Fachtagung Netzanschluss (Berner Fachhochschule)
- Vertriebsleitertagung (LHI)

8 Literaturverzeichnis

- Bundesamt für Energie. (2023). *Energieperspektiven 2050+*. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation.
<https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/politik/energieperspektiven-2050-plus.html>
- Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (2024). Handbuch Dynamische Tarife (unveröffentlichter Entwurf).
- Winzer, C. (2023). *Conceptual Recommendations for Optimal Grid Tariff Design*. SSRN.
<https://ssrn.com/abstract=4484167>
- Winzer, C., Ludwig, P., Auer, S., & Hlawatsch, A. (2023). *NETFLEX: effiziente Netzentgelte für flexible Konsumenten*. Bundesamt für Energie BFE.
<https://www.aramis.admin.ch/Default?DocumentID=70108>

9 Anhang

Datenschutzerklärung