Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Energieforschung und Cleantech

Schlussbericht 2022 vom 31. März 2022

Smarte Mobilität mit nachhaltigem E-Carsharing und bidirektionalem V2X

Ein angewandtes Forschungsprojekt im Basler Areal Erlenmatt Ost

Datum: 31. März 2022

Ort: Bern

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

Ko-Finanzierung:
Amt für Umwelt und Energie, Kanton Basel-StadtHochbergerstrasse 158, CH-4019 Baselwww.aue.bs.ch

Subventionsempfängerinnen:
novatlantis gmbh, Technoparkstrasse 1, CH-8005 Zürich
www.novatlantis.ch

Smart Energy Engineering GmbH, Fliederstrasse 10, 5417 Untersiggenthal
www.smart-energy-control.ch

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, INE, Technoparkstrasse 2, CH-8401 Winterthur
www.zhaw.ch

ADEV Energiegenossenschaft, Kasernenstrasse 63, CH-4410 Liestal
www.adev.ch

Autorin und Autoren:
Dr. Anna Roschewitz, anna.roschewitz@novatlantis.ch
Prof. Dr. David Zogg, david.zogg@fhnw.ch
Tim Dzukowski, Dr. Jörg Musiolik, musi@zhaw.ch, Uroš Tomic, tomi@zhaw.ch und Pascal Vögeli, voei@zhaw.ch
Andreas Appenzeller, andreas.appenzeller@adev.ch und Thomas Kramer, thomas.kramer@adev.ch

BFE-Projektbegleitung:
Dr. Rolf Schmitz, Leiter Energieforschung, rolf.schmitz@bfe.admin.ch
Dr. Luca Castiglioni, Leiter Forschungsbereich Mobilität, luca.castiglioni@bfe.admin.ch (ab 1.2.2020)

BFE-Vertragsnummer: SI/501837-01

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

Zusammenfassung

Das angewandte Forschungsprojekt “Smarte Mobilität mit nachhaltigem E-Carsharing und bidirektionalem V2X” (Laufzeit 1/2019 bis 3/2022) untersuchte, wie in einem Areal mit einem Multistakeholder-Management neue Lösungen für eine smarte Mobilität entwickelt werden können. Dazu wurde im Basler Areal Erlenmatt Ost, einem Zusammenschluss zum Eigenverbrauch (ZEV), ein E-Carsharing mit 2 bidirektionalen Elektro-Fahrzeugen für die Bewohnenden aufgebaut und ein intelligentes Regelungs- und Tarifsystem eingeführt. Dabei wurden die Ziele verfolgt, das Mobilitätsverhalten der Bewohnenden zu beeinflussen, den Eigenverbrauch des Areals zu optimieren, die Lastspitzen zu reduzieren und mögliche neue Geschäftsmodelle wie das Angebot von Systemdienstleistungen (V2X Vehicle-to-everything) aufzuzeigen.

Das Projekt wurde durch das Projektteam von novatlantis GmbH (Dr. Anna Roschewitz), Smart Energy Engineering GmbH (Prof. Dr. David Zogg), Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (Dr. Jörg Musiolik, Uroš Tomic, Pascal Vögeli) und ADEV Energiegenossenschaft (Andreas Appenzeller, Thomas Kramer) realisiert.

Erstmals in der Schweiz konnte ein Betrieb mit zwei bidirektionalen Elektrofahrzeugen im Carsharing in der Praxis aufgebaut werden. Die Versuchsanlage wurde laufend messtechnisch und organisatorisch begleitet, analysiert und optimiert. Insbesondere der «Energiemanager», also die aktive Regelung des Lastmanagements, wurde kontinuierlich weiterentwickelt, so dass die Lastspitzen im Betrieb besser gebrochen werden konnten.

Das Areal in Erlenmatt Ost war ein Spezialfall in verschiedener Hinsicht. Einerseits stand eine hohe Überlast der Areals (bis zu 350 kW) einer kleinen Regelleistung der Elektrofahrzeuge (max. 20 kW) gegenüber. Andererseits waren die Fahrzeuge in einem Carsharing-Modell integriert und die Nutzung war relativ gering, da es sich um eine mobilitätsarme Überbauung handelt. Der Vorteil des Carsharings war die Planbarkeit der Nutzung durch die Buchungsplattform. Eine direkte Übertragung der effektiven Resultate vor Ort auf andere Areale ist aufgrund dieser Besonderheiten nicht möglich. Es konnte jedoch erstmals in der Schweiz gezeigt werden, dass das bidirektionale Laden unter realen Bedingungen gut möglich ist. Der Proof of Concept ist damit klar gegeben.

Durch die aktive Regelung konnten die Lastspitzen im Areal markant reduziert werden. Mit den lediglich zwei Elektrofahrzeugen wurde das Potential von 20 kW bereits zu einem grossen Teil ausgenutzt, solange die beiden Fahrzeuge zu den relevanten Zeiten am Morgen und am Abend anwesend waren. Dies war dank der erfolgreichen Benutzer-Intervention der Fall, bei der ein tariflicher Anreiz dazu führte, dass die Fahrzeuge zu Spitzenlastzeiten vor Ort waren.

Aufgrund der kleinen Anzahl von Elektrofahrzeugen wurden ausführliche Simulationen durchgeführt. Diese Resultate sind sehr gut auf andere Areale übertragbar. Es kann generell gesagt werden, dass eine gewisse Flottengrösse notwendig ist, damit sich V2X lohnt. Die Simulationen haben gezeigt, dass bei einer grösseren EV-Flotte im Areal Erlenmatt Ost das Potential zur Reduktion der Lastspitzen erheblich grösser ist. Ohne Regelung würden sich die Lastspitzen fast verdoppeln. Mit Regelung können diese sogar markant reduziert werden gegenüber dem Areal ohne Flotte. Gemäss Simulationen wird ab einer Flottengrösse von ca. 30 Fahrzeugen ein namhafter Beitrag an die Lastspitzenreduktion geleistet, sobald genügend bidirektionale Elektrofahrzeuge vor Ort und intelligent geregelt sind.

Allgemein kann für Areale festgehalten werden, dass kleine Flotten (15 Elektrofahrzeuge) pro Fahrzeug einen grossen zusätzlichen Nutzen für das Reduzieren von Lastspitzen bringen, aber keine zuverlässige Verfügbarkeit während der Lastspitzen haben. Dadurch können nicht in jedem Monat die entscheidenden Lastspitzen optimal reduziert werden. Mittelgrosse EV-Flotten (ca. 30 Elektrofahrzeuge) zeigen bereits bessere Ergebnisse der Lastspitzenreduzierung und haben eine deutlich bessere Verfügbarkeit. Allerdings sind während einiger Lastspitzen bereits mehr Fahrzeuge vorhanden, als für die Reduzierung benötigt würden. Bei grossen Flotten (ca. 50 Elektrofahrzeuge) ist der zusätzliche Nutzen für die Lastspitzenreduzierung gegenüber der mittleren Flotte gering.

Nicht alle Elektrofahrzeuge von mittleren oder grossen Flotten werden benötigt, um die angestrebten Lastreduzierungen zu erreichen. Daher wäre es bei einer Diffusion von Elektrofahrzeuge in einem Areal denkbar, die Nutzung der Flotte für verschiedene Energiedienstleistungen zu unterscheiden. Beispielsweise kann angestrebt werden, mit kleinen Flotten den Eigenverbrauch zu steigern und mit mittelgrossen Flotten die Lastspitzenreduzierung zu betreiben. Bei grossen Flotten wiederum wäre eine Unterteilung und differenzierte Steuerung der Flotte denkbar, so dass einige Fahrzeuge für Lastspitzenreduzierung genutzt würden, während andere für Regeldienstleistungen bereitstünden.

Es wird empfohlen, den Markt laufend zu beobachten und bei der Installation neuer Ladeboxen heute bereits die Möglichkeiten von V2X zu berücksichtigen. Dazu sind intelligente Steuerungen notwendig, welche in Zukunft mit dieser Funktion erweitert werden können.

Die Verhaltensintervention zeigte, dass es mittels eines zweiteiligen Tarifs und begleitet von einer Informationskampagne grundsätzlich möglich ist, die Nutzungszeiten des E-Carsharings zu beeinflussen und so das Brechen von Lastspitzen am Abend zu realisieren. Dieses Resultat kann auf andere Areale in der Schweiz übertragen werden.

Wie bei Pilotprojekten üblich, war auch dieses angewandte Forschungsprojekt aus verschiedenen Gründen noch nicht wirtschaftlich. Dies primär wegen den aktuell hohen Preisen für die bidirektionalen Ladeboxen. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass mit der geregelten Flotte erhebliche Kosten eingespart werden können und zwar ca. CHF 14'000 pro Jahr bei ca. 60 Fahrzeugen und aktuellem Leistungstarif. In Zukunft wird dieser Business Case interessanter werden, wenn einerseits der Leistungstarif steigt und andererseits die Kosten für die Ladeboxen sinken. Zudem sind zusätzliche Dienstleistungen mit der Teilnahme am schweizweiten Regelenergiemarkt denkbar.

Das Projekt stiess aufgrund seiner praktischen Umsetzung und seines zukunftsweisenden Charakters schweizweit auf grosses Interesse. Im Rahmen des Wissens- und Technologietransfers konnten zahlreiche Artikel, Veranstaltungen, Areal-Begehungen und Videos realisiert werden, die sich an ein breites Fachpublikum richteten. Mit dem vorliegenden Schlussbericht geht zwar das angewandte Forschungsprojekt zu Ende, nicht jedoch die Umsetzung im Areal Erlenmatt Ost. Die ADEV Energiegenossenschaft betreibt das E-Carsharing für die Bewohnenden und die energetische Optimierung des Areals weiter und etabliert sich damit als innovative Mobilitätsanbieterin.

Résumé

Le projet de recherche appliquée «Mobilité smart du covoiturage et de l'autopartage électromobile et V2X bidirectionnel» (durée 1/2019 à 3/2022) a étudié comment développer de nouvelles solutions pour une mobilité intelligente sur un site avec une gestion multipartite. Pour ce faire, le site bâlois d'Erlenmatt Ost, un un regroupement pour l'autoconsommation (ZEV), a mis en place un système de partage de voitures électriques avec 2 véhicules électriques bidirectionnels pour les résidents et a introduit un système de régulation et de tarification intelligent. Les objectifs étaient d'influencer le comportement de mobilité des habitants, d'optimiser l'autoconsommation, de réduire les pics de charge et de mettre en évidence de nouveaux modèles commerciaux possibles comme l'offre de services système (V2X Vehicle-to-everything).

Le projet a été réalisé par l'équipe de projet de novatlantis GmbH (Dr Anna Roschewitz), Smart Energy Engineering GmbH (Prof. Dr David Zogg), Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (Dr Jörg Musiolik, Uroš Tomic, Pascal Vögeli) et ADEV Energiegenossenschaft (Andreas Appenzeller, Thomas Kramer).

Pour la première fois en Suisse, une exploitation avec deux véhicules électriques bidirectionnels en autopartage a pu être mise en place dans la pratique. L'installation expérimentale a été suivie, analysée et optimisée en permanence sur le plan des mesures et de l'organisation. En particulier, le "gestionnaire d'énergie", c'est-à-dire la régulation active de la gestion de la charge, a été continuellement perfectionné, de sorte que les pics de charge ont pu être mieux brisés pendant l'exploitation.

Le site d'Erlenmatt Ost était un cas particulier à plusieurs égards. D'une part, une forte surcharge du site (jusqu'à 350 kW) s'opposait à une faible puissance de régulation des véhicules électriques (20 kW maximum). D'autre part, les véhicules étaient intégrés dans un modèle d'autopartage et utilisation était relativement faible, car il s'agissait d'un lotissement à faible mobilité. L'avantage du car sharing était la possibilité de planifier l'utilisation grâce à la plateforme de réservation. Une transposition directe des résultats effectifs sur place à d'autres sites n'est pas possible en raison de ces particularités. Il a toutefois été possible de montrer pour la première fois en Suisse que le chargement bidirectionnel est bien possible dans des conditions réelles. La preuve de concept est donc clairement établie.

Grâce à la régulation active, les pics de charge ont pu être réduits de manière significative sur le site. Avec seulement deux véhicules électriques, le potentiel de 20 kW a déjà été exploité en grande partie, tant que les deux véhicules étaient présents aux heures de pointe le matin et le soir. Cela a été le cas grâce à l'intervention réussie des utilisateurs, qui ont bénéficié d'une incitation tarifaire pour que les véhicules soient présents aux heures de pointe.

En raison du petit nombre de véhicules électriques, des simulations détaillées ont été effectuées. Ces résultats sont tout à fait transposables à d'autres sites. D'une manière générale, on peut dire qu'une certaine taille de flotte est nécessaire pour que le V2X soit rentable. Les simulations ont montré qu'avec une flotte de VE plus importante sur le site d'Erlenmatt Ost, le potentiel de réduction des pics de charge est considérablement plus important. Sans régulation, les pics de charge doubleraient presque. Avec la régulation, elles peuvent même être réduites de manière significative par rapport au site sans flotte. Selon les simulations, une contribution notable à la réduction des pics de charge est obtenue à partir d'une flotte d'environ 30 véhicules, dès qu'un nombre suffisant de véhicules électriques bidirectionnels sont sur place et régulés de manière intelligente.

D'une manière générale, on peut constater que les petites flottes (15 véhicules électriques) apportent un grand avantage supplémentaire pour la réduction des pics de charge, mais ne sont pas disponibles de manière fiable pendant les pics de charge. De ce fait, les pics de charge décisifs ne peuvent pas être réduits de manière optimale chaque mois. Les flottes de VE de taille moyenne (environ 30 véhicules électriques) présentent déjà de meilleurs résultats en termes de réduction des pics de charge et ont une disponibilité nettement meilleure. Toutefois, pendant certains pics de charge, il y a déjà plus de véhicules que ce qui serait nécessaire pour la réduction. Pour les grandes flottes (environ 50 véhicules électriques), le bénéfice supplémentaire pour la réduction des pics de charge est faible par rapport à la flotte moyenne.

Tous les véhicules électriques des flottes moyennes ou grandes ne sont pas nécessaires pour atteindre les réductions de charge visées. C'est pourquoi, en cas de diffusion de véhicules électriques sur un site, il serait envisageable de différencier l'utilisation de la flotte pour différents services énergétiques. Par exemple, il est possible de viser une augmentation de la consommation propre avec de petites flottes et une réduction des pics de charge avec des flottes de taille moyenne. Pour les grandes flottes, on pourrait envisager une subdivision et une gestion différenciée de la flotte, de sorte que certains véhicules soient utilisés pour la réduction des pics de charge, tandis que d'autres seraient disponibles pour des services de régulation.

Il est recommandé d'observer le marché en permanence et de tenir compte dès aujourd'hui des possibilités du V2X lors de l'installation de nouveaux boîtiers de recharge. Pour cela, il faut des commandes intelligentes qui pourront être étendues à l'avenir avec cette fonction.

L'intervention comportementale a montré qu'il est en principe possible, au moyen d'un tarif en deux parties et accompagné d'une campagne d'information, d'influencer les heures d'utilisation de l'autopartage et de réaliser ainsi la rupture des pics de charge en soirée. Ce résultat peut être appliqué à d'autres sites en Suisse.

Comme c'est généralement le cas pour les projets pilotes, ce projet de recherche appliqué n'était pas encore rentable pour diverses raisons. En premier lieu, en raison du prix actuellement élevé des boîtiers de recharge bidirectionnels. Il a toutefois été possible de démontrer que la flotte régulée permettait d'économiser des coûts considérables, à savoir environ 14'000 CHF par an pour environ 60 véhicules et le tarif de puissance actuel. A l'avenir, ce business case deviendra plus intéressant si, d'une part, le tarif de prestation augmente et si, d'autre part, les coûts des boîtiers de recharge diminuent. En outre, des services supplémentaires sont envisageables avec la participation au marché de l'énergie de réglage à l'échelle nationale.

Le projet a suscité un grand intérêt dans toute la Suisse en raison de sa mise en œuvre pratique et de son caractère avant-gardiste. Dans le cadre du transfert de connaissances et de technologies, de nombreux articles, manifestations, visites de sites et vidéos ont pu être réalisés et s'adressaient à un large public de spécialistes. Le présent rapport final marque certes la fin du projet de recherche appliquée, mais pas celle de la mise en œuvre sur le site d'Erlenmatt Ost. L'ADEV Energiegenossenschaft poursuit le partage de voitures électriques pour les habitants et l'optimisation énergétique du site, s'établissant ainsi comme un fournisseur de mobilité innovant.

Summary

The applied research project "Smart mobility with sustainable e-car sharing and bidirectional V2X" (duration January 2019 to March 2022) examined how new solutions for smart mobility can be developed in an area with multi-stakeholder management. To this end, an e-car sharing system with 2 bidirectional electric vehicles was set up for residents in the Erlenmatt Ost area of Basel, an association for self-consumption (ZEV), and an intelligent control and tariff system was introduced. The objectives were to influence the mobility behaviour of the residents, to optimise the self-consumption of the area, to reduce peak loads and to demonstrate possible new business models such offering system services (V2X Vehicle-to-everything).

The project was realised by the project team of novatlantis GmbH (Dr. Anna Roschewitz), Smart Energy Engineering GmbH (Prof. Dr. David Zogg), Zurich University of Applied Sciences (Dr. Jörg Musiolik, Uroš Tomic, Pascal Vögeli) and ADEV Energiegenossenschaft (Andreas Appenzeller, Thomas Kramer).

For the first time in Switzerland, an operation with two bidirectional electric vehicles in car sharing was implemented. The test facility was continuously monitored, analysed and optimised in terms of measurement and organisation. In particular, the "energy manager", i.e. the active control of the load management, was continuously developed further so that the load peaks could be better softened during operation.

The Erlenmatt Ost site was a special case in various respects. On the one hand, a high overload of the area (up to 350 kW) faced a small control power of the electric vehicles (max. 20 kW). On the other hand, the vehicles were integrated in a car sharing model and the use was relatively low, as it is a low-mobility area. The advantage of car sharing was the plannability of use through the booking platform. A direct transfer of the effective results on site to other areas is not immediately possible due to these characteristics. However, it was shown for the first time in Switzerland that bidirectional charging is well possible under real conditions. The proof of concept is thus clearly given.

Owing to the active control, the load peaks in the area could be significantly reduced. With only two electric vehicles, the potential of 20 kW was already largely utilised, even when both vehicles were present at the critical times in the morning and evening. This was the case due to the successful user intervention, where a tariff incentive led to the vehicles being on site at peak load times.

Due to the small number of electric vehicles, extensive simulations were carried out and these results are very transferable to other areas. It can generally be said that a certain fleet size is necessary for V2X to be worthwhile. The simulations have shown that with a larger EV fleet in the Erlenmatt Ost area, the potential for reducing peak loads would be considerably greater than currently. Without regulation, the load peaks would almost double. With regulation, they can even be significantly reduced compared to the area without a fleet. According to simulations, a considerable contribution to peak load reduction is achieved from a fleet size of approx. 30 vehicles, as soon as enough bidirectional electric vehicles are on site and intelligently controlled.

In general, it can be stated for areas that small fleets (15 electric vehicles) bring a large additional benefit for reducing peak loads, but do not have reliable availability during peak loads. As a result, the critical peak loads cannot be optimally reduced in every month. Medium-sized EV fleets (about 30 electric vehicles) already show better peak load reduction results and have much better availability. However, during some peak loads, more vehicles would be needed for an effective reduction. For large fleets (about 50 electric vehicles), the additional benefit for peak load reduction is small compared to the medium fleet.

Not all electric vehicles from medium or large fleets are needed to achieve the targeted load reductions. Therefore, if electric vehicles are diffused throughout an area, it would be feasible to differentiate the use of the fleet for different energy services. For example, the aim could be to increase self-consumption with small fleets and to operate peak load reduction with medium-sized fleets. With large fleets, on the other hand, a subdivision and differentiated control of the fleet would be conceivable, so that some vehicles would be used for peak load reduction, while others would be available for regular services.

It is recommended to continuously monitor the market and to already consider the possibilities of V2X when installing new charging boxes today. This will require intelligent controllers, which can be upgraded with this feature in the future.

The behavioral intervention showed that by means of a two-part tariff and accompanied by an information campaign, it is in principle possible to influence the usage times of e-car sharing and thus to realize the breaking of load peaks in the evening. This finding can be transferred to other areas in Switzerland.

As is usual with pilot projects, this applied research project was not yet economically viable for various reasons. This is primarily due to the currently high prices for bidirectional charging boxes. However, it was shown that significant costs can be saved with a regulated fleet, namely about CHF 14'000 per year with about 60 vehicles and current performance tariff. In the future, this business case will become more interesting if on the one hand the peak load tariff increases and on the other hand the costs for the charging boxes decreases. Furthermore, additional services with participation in the nationwide balancing energy market are conceivable.

The project was met with great interest throughout Switzerland due to its practical implementation and forward-looking character. As part of the knowledge and technology transfer, numerous articles, events, site visits and videos were realized, which were aimed at a broad specialist audience. With this final report, the applied research project comes to an end, but not the implementation in the Erlenmatt Ost area. The ADEV energy cooperative continues to operate the e-car sharing for the residents and the energy optimization of the site and thus establishes itself as an innovative mobility provider.

Take-home messages

- Die Basis einer innovativen und nachhaltigen Energieversorgung im Areal ist die intelligente Kopplung von Strom, Wärme und Mobilität. Im angewandten Forschungsprojekt wurde erstmals in der Schweiz ein solches Modell entwickelt und erfolgreich umgesetzt. Der Proof of Concept zeigt, wie Strom und Wärme dezentral produziert und verbraucht werden sowie bidirektionale geteilte Elektromobilität in das System integrieren wird.

- Die Lastspitzen im Areal Erlenmatt Ost konnten durch die aktive Regelung markant reduziert werden. Mit den lediglich zwei bidirektionalen Elektrofahrzeugen wurde das Potential von 20 kW bereits zu einem grossen Teil ausgenutzt, solange die beiden Fahrzeuge zu den relevanten Zeiten am Morgen und am Abend anwesend waren. Dies war insbesondere während der Verhaltensintervention der Fall, bei der ein tariflicher Anreiz dazu führte, dass die Fahrzeuge zu Spitzenlastzeiten vor Ort waren.

- In der Simulation des Areals mit verschiedenen Leistungsparametern und unterschiedlich grossen EV-Flotten wird deutlich, dass sich die Lastprofile des Areals durch grössere Flotten ändern. Folglich muss in der Praxis damit auch eine Weiterentwicklung der Logik der Arealregelung einhergehen. Dabei ist zu beachten, dass es Zielkonflikte zwischen der Optimierung auf Eigenverbrauch, dem Lastspitzenbrechen und der Regelenergie gibt. Diesen Zielkonflikten kann mit einer Aufteilung der Flotte begegnet werden.

- Die Verhaltensintervention zeigt, dass es grundsätzlich möglich ist, die Nutzungszeiten der Fahrzeuge zugunsten des Lastspitzenbrechens zu verschieben. Dies gelang mit einem zweiteiligen Tarif und begleitet von einer Kommunikationskampagne. Der Anteil Nutzungen in der Niedertarifzeit stieg in der Interventionsphase - verglichen mit der Vorperiode - um 12% und ist statistisch signifikant. Die Ergebnisse sehen wir als einen Ausgangspunkt für die zukünftige Forschung, die diese Fragestellung anhand einer grösseren Stichprobe, eines längeren Interventionszeitraums sowie mit Einbezug der Kontrollgruppe untersuchen könnte. Ebenfalls interessant wäre es, die Effekte unterschiedlicher Tarifhöhen miteinander zu vergleichen.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung **3**
Résumé **5**
Summary **7**
Take-home messages **9**
Inhaltsverzeichnis **10**
Abbildungsverzeichnis **12**
Tabellenverzeichnis **14**
Dank **14**
1 Einleitung **15**
1.1 Ausgangslage und Hintergrund 15
1.2 Motivation des Projektes 15
1.3 Projektziele 16
2 Anlagenbeschrieb **16**
2.1 Das Areal Erlenmatt Ost 16
2.2 Die Eigenverbrauchsgemeinschaft 17
2.3 Das E-Carsharing 19
3 Vorgehen und Methode **22**
3.1 Arbeitspakete und Verantwortlichkeiten 22
3.2 Zeitlicher Ablauf 22
3.2.1 Arbeiten und Erkenntnisse im ersten Projektjahr 22
3.2.2 Arbeiten und Erkenntnisse im zweiten Projektjahr 38
3.2.3 Arbeiten und Erkenntnisse im dritten Projektjahr 48
4 Ergebnisse und Diskussion **51**
4.1 Die Umsetzung im Areal 51
4.2 Brechen von Lastspitzen im realen System 51
4.3 Simulationen und Szenarien 54
4.3.1 Szenarien und Parameter 54
4.3.2 Ergebnisse Lastspitzenreduktion in verschiedenen Szenarien 56
4.3.3 Analyse potenzieller Erträge durch Regelenergie 61
4.3.4 Analyse der Gesamtkosten für den Arealbetreiber in verschiedenen Szenarien 67
4.3.5 Fazit aus den Simulationen 74
4.4 Einbinden der Nutzenden und Steuern des Mobilitätsverhaltens 76
4.4.1 Interviews 76
4.4.2 Interventionseffekt: Buchungsdaten 76

4.4.3 Interventionseffekt: Umfrage ... 82
4.5 Kommunikation, Dissemination und Wissenstransfer ... 83
4.5.1 Resultate Kommunikation ... 85
4.5.2 Resultate Dissemination ... 85
4.5.3 Resultate Exploitation ... 86
5 Schlussfolgerungen und Fazit ... 87
5.1 Schlussfolgerungen für das Areal Erlenmatt Ost ... 87
5.2 Schlussfolgerungen für Areale in der Schweiz ... 89
5.3 Schlussfolgerungen für Areale mit wachsenden EV-Flotten ... 90
6 Ausblick und zukünftige Umsetzung ... 92
6.1 Weitere Umsetzung im Areal Erlenmatt Ost ... 92
6.2 Ausblick ... 92
7 Nationale und internationale Zusammenarbeit ... 93
7.1 Nationale Zusammenarbeit ... 93
7.2 Internationale Zusammenarbeit ... 93
8 Kommunikation ... 93
9 Publikationen ... 94
9.1 Publikationen Projekt OKEE ... 94
9.2 Publikationen Projekt Smarte Mobilität ... 95
10 Literaturverzeichnis ... 96
11 Anhang ... 97
11.1 Anhang 1 ... 97
11.2 Anhang 2 ... 99
11.3 Anhang 3 ... 100

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die Gebäude des Areals Erlenmatt Ost Ende 2021 (Quelle: Stiftung Habitat) 17
Abbildung 2: Visualisierung Wärmenetz in Erlenmatt Ost (ADEV) 18
Abbildung 3: Visualisierung Stromnetz in Erlenmatt Ost (ADEV) 19
Abbildung 4: Die Mietautos in der Einstellhalle 20
Abbildung 5: Visualisierung der Integration von E-Carsharing in Erlenmatt Ost (zhaw) 21
Abbildung 6: Übersicht für Installation in Erlenmatt mit den wichtigsten Kennzahlen (aktueller Strompreis, solarer Deckungsgrad, Eigenverbrauchsgrad, aktueller Gesamtbezug und Überschuss) 23
Abbildung 7: Leistungsverlauf (kW) des Netzbezugs (rot) und des Überschusses (grün) über den Tag, Beispiel 3. September 2019 24
Abbildung 8: Leistungsverlauf (kW) eines der beiden Elektromobile (blau) über den Tag, positive Werte für Ladevorgänge, negative Werte für Entladevorgänge, Beispiel 3. September 2019 24
Abbildung 9: Leistungsverlauf (kW) des Netzbezugs (rot) über den Tag, Beispiel 20. Januar 2020 ... 24
Abbildung 10: Leistungsverlauf (kW) eines der beiden Elektromobile (blau) über den Tag, positive Werte für Ladevorgänge, negative Werte für Entladevorgänge, Beispiel 20. Januar 2020 25
Abbildung 11: Tägliche Energiestatistik (kWh) der beiden Elektromobile (blau und magenta) über einen Monat, positive Werte für Ladevorgänge, negative Werte für Entladevorgänge, Beispiel 1.-31. Oktober 2019 25
Abbildung 12: Typischer Tagesgang vom Juni 2018 mit Bezugs-Leistungsspitzen (positiv) und PV-Überschuss (negativ) 26
Abbildung 13: Nutzbare Batteriekapazität nach Anwendungen 27
Abbildung 14: Laden von mehreren Fahrzeugen über intelligente Schnittstellen 28
Abbildung 15: Regelungstechnische Umsetzung anhand eines typischen Tagesgangs 29
Abbildung 16: Schema des Regelkonzeptes mit integrierter Buchungsplattform 30
Abbildung 17: Detailliertes Regelschema mit Regelung der Ladestation und Berücksichtigung von Lastgang sowie Buchungsinformationen 30
Abbildung 18: Typen von Interventionen für eine stärkere Nutzereinbindung 31
Abbildung 19: Darstellung potenzieller Interventionen für das E-Carsharing 32
Abbildung 20: Konzept für die Entwicklung / Ableitung der Interventionen 33
Abbildung 21: Oben: Zeitpunkt der Buchungen vor der Nutzung der Fahrzeuge. Unten: Verteilung der zeitlichen Nutzung der Fahrzeuge 34
Abbildung 22: Mögliches Vorgehen für die Berechnung potenzieller EV Flexibilität und deren externer Einsatz 35
Abbildung 23: Lastspitzenreduzierung der Energiebilanz 39
Abbildung 24: Adaptive Berechnung der Lade- und Entladeschwellen durch den Energiemanager ... 39
Abbildung 25: Veranschaulichung der Buchungssoftware 40
Abbildung 26: Lastgang sowie Laden und Entladen eines Fahrzeuges an einem Beispieltag 40
Abbildung 27: Lastgang sowie Laden und Entladen eines Fahrzeiges nach erster Optimierung 41
Abbildung 28: Monatsüberblick Lade- und Entladestatistik 41
Abbildung 29: Monatsüberblick mittlere tägliche sowie minimale Ladestände beider Fahrzeuge 42
Abbildung 30: Vorgehen in der Simulation 42
Abbildung 31: Reduzierung der Lastspitzen mit V2G 44
Abbildung 32: Auswertung der Arealdaten und optimale Nutzungszeiten 45
Abbildung 33: Auswertung der Buchungsplattform und bisherige Nutzungszeiten 45

Abbildung 34: Mögliche Tarifoptionen im Areal 46
Abbildung 35: Zeitplan für die Verhaltensintervention im Jahr 2021 47
Abbildung 36: Zeitplan der Intervention und deren Begleitung 49
Abbildung 37: Mittlerer monatliche Ladestände (SOC) der Fahrzeuge im Jahr 2021 53
Abbildung 38: Monatliche Lade- und Entladeenergien in Kilowattstunden (kWh). 53
Abbildung 39: Monatlicher Lastspitzenvergleich 56
Abbildung 40: Monatliche Lastspitzen der vier Szenarien mit grossen EV-Flotten 57
Abbildung 41: Monatliche Lastspitzenreduzierung Szenario BAU mit unterschiedlich grossen EV-Flotten 58
Abbildung 42: Monatliche Lastspitzenreduzierung Szenario Long-Term mit unterschiedlich grossen EV-Flotten 59
Abbildung 43: Lastspitzenreduzierungen kleiner EV-Flotten 60
Abbildung 44: Flexibilitäten für ein EV an einem Beispieltag 62
Abbildung 45: Erträge Regelleistungen Szenario BAU mit MIN-Methode 64
Abbildung 46: Erträge Regelleistungen Szenario BAU mit MEAN-Methode 65
Abbildung 47: Erträge Regelleistungen Szenario Long-Term mit MIN Methode 66
Abbildung 48: Erträge Regelleistungen Szenario Long-Term mit MEAN-Methode 66
Abbildung 49: Maximale Erträge (optimale Mixe) der Regelleistungen aller Szenarien mit MEAN-Methode 67
Abbildung 50: Strombezugskosten und (Ent-)Ladekosten für Szenario BAU mit 59 EVs 68
Abbildung 51: Gesamtkosten als Wasserfalldiagramm Szenario BAU 70
Abbildung 52: Gesamtkosten als Wasserfalldiagramm Szenario Long-Term 71
Abbildung 53: Jährliche Stromgesamtkosten für den Strombezug nach Effekten für Szenario BAU ... 72
Abbildung 54: Jährliche Stromgesamtkosten für den Strombezug nach Effekten für Szenario Long-Term 73
Abbildung 55: Anzahl Nutzungen, aufgeschlüsselt nach Nutzer, Periode 2.1.2019 bis 30.9.2021, in orange ist der Mittelwert der Anzahl Nutzungen pro Nutzende dargestellt..... 77
Abbildung 56: Nutzungen pro Nutzungsdauer, Periode 2.1.2019 bis 30.9.2021, in orange ist die mittlere Nutzungszeit von 56 Minuten markiert 77
Abbildung 57: Abholzeiten nach Uhrzeit, über die Periode vom 2. Januar 2019 bis 30. September 2021, der rote Kasten verdeutlicht den beliebtesten Abholzeitraum. 78
Abbildung 58: Retournierungszeiten nach Uhrzeit, über die Periode vom 2. Januar 2019 bis 30. September 2021, der rote Kasten verdeutlicht den Spitzenwert. 78
Abbildung 59: Anzahl aktive Nutzende im 3. Quartal nach Jahr 78
Abbildung 60: Vergleich der Anzahl Nutzungen, nach Nutzenden und Jahr sortiert 79
Abbildung 61: Anzahl Nutzungen, nach Jahr und Monat (Periode 2.1.2019 bis 30.9.2021), in orange ist der Mittelwert der Anzahl Nutzungen pro Nutzer dargestellt..... 80
Abbildung 62: Vergleich der Abholzeiten vom 3. Quartal zwischen den Jahren 2020 und 2021, der rote Pfeil stellt die Verschiebung der Zeiten der Abholungen 81
Abbildung 63: Vergleich der Retournierungszeiten vom 3. Quartal zwischen den Jahren 2020 und 2021, der rote Pfeil stellt die Verschiebung der Zeiten der Retournierungen dar..... 81
Abbildung 64: Links: Vergleich des Anteils der Nutzungsdauer vom 3. Quartal zwischen den Jahren 2020 und 2021 im Niedertarif in Prozent; Rechts: Vergleich der Nutzungsdauer im Hoch- und Niedertarif vom 3. Quartal zwischen den Jahren 2020 und 2021 in absoluten Werten 82
Abbildung 65: Konzept Wissens- und Technologietransfer mit drei Bereichen 84
Abbildung 66: Monatlicher Lastspitzenvergleich 87

Abbildung 67: Monatliche Lastspitzenreduzierung Szenario BAU mit unterschiedlich grossen EV-Flotten 88
Abbildung 68: Gesamtkosten als Wasserfalldiagramm Szenario BAU 89
Abbildung 69: Nutzerinformation zur Interventionskampagne 99

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Szenarien der Simulation 43
Tabelle 2: Resultate der Lastspitzenreduktion für das Jahr 2021 (Schwarze Line: Benutzer-Intervention) 51
Tabelle 3: Leistungsmerkmale der Szenarien 54
Tabelle 4: Flottengrössen 55
Tabelle 5: Strombezugskosten 55
Tabelle 6: Veranschaulichung MIN und MEAN Flexibilität 63
Tabelle 7: Interviewleitfaden für Nutzerinterview 97
Tabelle 8: Fragen und Antwortkategorien aus der Umfrage zur Verhaltensintervention 100

Dank

Dieses Projekt wäre nicht möglich gewesen ohne die grosszügige finanzielle Unterstützung verschiedener Stellen und ohne das Engagement zahlreicher entscheidungsfreudiger Personen.

Wir danken dem Bundesamt für Energie für die finanzielle Unterstützung des Forschungsprojektes «Smarte Mobilität mit nachhaltigenm E-Carsharing und bidirektionalem V2X» sowie dem Kanton Basel-Stadt für die finanzielle Unterstützung des vorhergehenden Pilotprojektes «OKEE: Optimierung der Kopplung zwischen Elektrofahrzeugen und (Gebäude-) Energiemanagementsystemen».

Damit verbunden geht unser Dank an Men Wirz und Dr. Luca Castiglioni vom Bundesamt für Energie für ihre unterstützende Projektbegleitung sowie an Dr. Dominik Keller und sein Team vom Amt für Umwelt und Energie des Kantons Basel-Stadt für ihren mutigen Entscheid, das schweizweit erste V2X-Umsetzungsprojekt in Basel zu fördern.

Ohne die Stiftung Habitat und insbesondere Projektleiter Urs Buomberger hätte das Projekt nicht im Areal Erlenmatt Ost umgesetzt werden können. Die lange, beschwerliche Arealsuche fand ein glückliches Ende, als wir bei der Stiftung Habitat Personen fanden, die V2X nicht nur theoretisch interessant fanden, sondern bereit waren, es auch praktisch zu unterstützen. Danke.

Ein weiterer Dank gebürt der ADEV Energiegenossenschaft, welche die Eigenverbrauchsgemeinschaft auf dem Areal realisiert hat. Andreas Appenzeller und Thomas Kramer wurden nicht nur sehr geschätzte Projektpartner. Sie ebneten Firmen-intern auch den bemerkenswerten Weg einer Energiegenossenschaft hin zu einem innovativen Mobilitätsanbieter.

Für diese umfassende persönliche, finanzielle und organisatorische Unterstützung bedanken wir uns und wünschen an dieser Stelle allen zukünftigen V2X-Umsetzungsprojekten viel Erfolg.

Das Projektteam

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Hintergrund

Das Projekt «Smarte Mobilität mit nachhaltigem E-Carsharing und bidirektionalem V2X» untersucht, wie in einem Areal mit einem Multistakeholder-Management neue Lösungen für eine smarte Mobilität entwickelt werden können. Dazu wird in einem Areal mit Sektorkopplung und E-Carsharing ein intelligentes Regelungs- und Tarifsystem eingeführt, um das Mobilitätsverhalten von Bewohnenden sowie den Eigenverbrauch des Areals zu optimieren und neue Geschäftsmodelle wie das Angebot von Systemdienstleistungen (V2X) aufzuzeigen.

Der vorliegende Jahresbericht 2019 ist der erste Zwischenbericht in der dreijährigen Laufzeit des Projektes (2019 bis 2021), nachfolgend kurz «Smarte Mobilität» genannt.

Der theoretische Hintergrund des Projektes basiert auf dem erwarteten Zusammenwachsen des Energie- und Mobilitätssektors durch die Verbreitung von Elektrofahrzeugen. Batterien von Elektrofahrzeugen eignen sich, um Photovoltaikstrom zwischenzuspeichern und den Eigenverbrauch von Ein- und Mehrfamilienhäusern oder grösseren Arealen zu erhöhen (Vehicle-to-Home, V2H) oder durch die Bündelung der Batteriekapazitäten Netzdienstleistungen bereitzustellen (Vehicle-to-Grid, V2G). Das Projektteam hat sich zum Ziel gesetzt, V2H- und V2G-Lösungen in Basel-Stadt umzusetzen. Gerade im Bereich von Mehrfamilienhäusern oder Wohnarealen bestehen noch vielfältige Barrieren für die Umsetzung dieser Konzepte: Eigenverbrauchs- und nachhaltige Mobilitätslösungen sind aufgrund von Mietverhältnissen, unterschiedlichen Planungshorizonten, hohen Transaktionskosten oder fehlenden Abrechnungs- und Zählerkonzepten nur durch die Einbindung verschiedener Akteure und der Entwicklung angepasster Lösungen realisierbar.

1.2 Motivation des Projektes

Die Motivation des Projektes beruht einerseits auf dem vorgelagerten OKEE-Projekt und andererseits auf den dort gemachten Erfahrungen und weiterführenden Forschungsfragen, wie sie in der Offerte des Projektkonsortiums beschrieben werden.

Das vorgelagerte Projekt «Optimierung der Kopplung zwischen Elektrofahrzeugen und (Gebäude-) Energiemanagementsystemen» (OKEE) konnte 2017-2019 erfolgreich umgesetzt werden. Ziel war es, die Vernetzung und Optimierung der Bereiche Elektrizität, Wärmeversorgung und Verkehr (Sektorkopplung) durch Pilotprojekte zu erforschen. Dabei werden die Batterien von Elektrofahrzeugen dank bidirektionalem Laden mit dem Energiemanagementsystem auf Gebäude- und Arealebene verknüpft. Es wurde erwartet, dass sich dadurch ein Mehrwert für die Arealbetreiber (Optimierung PV-Eigenverbrauch), die Flottenbetreiber (neue Mobilitätskonzepte z.B. EV-Carsharing) und die EVUs (neue Systemdienstleistung sowie höhere lokale Netzstabilität) ergibt.
Die Umsetzung des OKEE-Pilotprojektes konnte in Erlenmatt Ost im Rahmen der «Pilotregion Basel» ab 2018 realisiert werden. Als innovative Umsetzungspartnerinnen beteiligten sich die ADEV Energiegenossenschaft und die Stiftung Habitat. So wurde erstmals in der Schweiz ein komplexes Vehicle-to-Home (V2H) Pilotprojekt mit einem Car-Sharing-Konzept kombiniert, um den Eigenverbrauch von Photovoltaikstrom in einem nach den Zielsetzungen der 2000-Watt-Gesellschaft entwickelten Areal zu erhöhen, indem die mobilen Speicher von 2 bidirektionalen Elektrofahrzeugen auch stationär benutzt wurden.

Die Motivation des Projektes «Smart Mobility V2X» beruht auf der erfolgreichen ersten Umsetzung der Sektorkopplung und den zahlreichen weiterführenden technischen und organisatorischen Forschungsfragen und praktischen Herausforderungen.

Die zwei übergeordneten Leitfragen zur Motivation des Projektes lauten daher:

A. Welchen Beitrag hat das komplexe Zusammenspiel von erstens E-Carsharing, zweitens Sektorkopplung (Gebäude und Mobilität), drittens die Einbindung der Nutzenden sowie viertens die smart gesteuerte Eigenverbrauchsoptimierung auf das bestehende Mikro-Grid?

B. Welche Systemdienstleistungen können angeboten werden?

Neben der praktischen Erprobung von Lade- und Eigenverbrauchslösungen für und mit Elektromobilität im Areal werden Ladestationen, Elektrofahrzeuge und eine Kommunikations- und Steuerungslösung in Erlenmatt Ost betrieben und ausgewertet. Dabei stehen zusätzlich zu den technischen Fragen insbesondere die Entwicklung von organisatorischen Lösungen (Zählerkonzepte, Abrechnungssysteme, Massnahmen zur Optimierung des Eigenverbrauchs und Nutzung der mobilen Batterie stationär für den Strombedarf der Überbauung) im Fokus. Motivation ist zudem, dass die erarbeiteten Lösungen in Zukunft auf andere Areale übertragbar sein sollen (Skalierung, copy with pride) und damit einen übergeordneten Beitrag für weitere schweizweite Umsetzungen leisten können.

1.3 Projektziele

Das Projekt «Smart Mobility V2X» umfasst folgende 5 Forschungsziele:

Z1: Mit E-Carsharing die Sektorkopplung umsetzen

Z2: Nutzende einbinden und Mobilitätsverhalten steuern

Z3: Durch Einbindung von E-Mobilität den Eigenverbrauch optimieren

Z4: V2G-Systemdienstleistungen anbieten

Z5: Dissemination, Wissenstransfer und Kommunikation sicherstellen

2 Anlagenbeschrieb

Die «Anlage» im Forschungsprojekt besteht aus drei Bereichen: Erstens aus dem Areal Erlenmatt Ost in Basel (vgl. Kapitel 2.1) auf dem ehemaligen DB-Areal, zweitens der Eigenverbauchsgemeinschaft mit dem arealeigenen Wärme- und Stromnetz der Eigenverbrauchsgemeinschaft (vgl. Kapitel 2.2) und drittens der Integration der beiden bidirektionalen Elektrofahrzeuge im Carsharing in das System (vgl. Kapitel 2.3).

2.1 Das Areal Erlenmatt Ost

Das Areal Erlenmatt Ost ist ein 22'000 m^2 grosses Areal, das von der Stiftung Habitat von Grund auf entwickelt und mit verschiedenen Bauträgerschaften neu bebaut wurde. Leitideen der Stiftung waren dabei: Boden der Spekulation entziehen und im Baurecht abgeben, zahlbaren Wohnraum für

Menschen in allen Lebenslagen schaffen, Wohnen und Arbeiten im Quartier ermöglichen, Räume für Gemeinschaft und Begegnung gestalten, eigene Energie produzieren. Am Ende der Entwicklungsetappe I (2010-2019) lebten rund 500 Bewohnerinnen und Bewohner in 200 Wohnungen auf dem Areal. Im Endausbau nach Abschluss der Entwicklungsetappe II (ab 2023) werden rund 650 Personen in ca. 250 Wohnungen leben.

Abbildung 1: Die Gebäude des Areals Erlenmatt Ost Ende 2021 (Quelle: Stiftung Habitat)

Das Areal ist nicht nur nur energetisch (vgl. Kap. 2.2), sondern auch sozial ein Vorzeigeprojekt: In den 13 Gebäuden der Stiftung Habitat und verschiedener Genossenschaften gibt es Platz für Familien, Gewerbe, Gastronomie, Studierende sowie für Künstlerinnen und Künstler. Über die Gestaltung der Höfe wird von den Bewohnenden gemeinsam entschieden.

Die Kriterien zur Nachhaltigkeit, welche die Stiftung Habitat in den Baurechtsverträgen vorgibt, sind messbar und werden regelmässig überprüft. So darf eine Person einerseits nicht mehr als 45 Quadratmeter Energiebezugsfläche – inklusive Treppenhaus, Badezimmer und Gänge – beanspruchen. Andererseits bestehen attraktive Gemeinschaftsräume und Mitgestaltungsmöglichkeiten. Mindestens zehn Prozent der Wohnfläche müssen einem sozialen Zweck dienen.

2.2 Die Eigenverbrauchsgemeinschaft

Die Energiegenossenschaft ADEV betreibt seit November 2017 auf dem Areal Erlenmatt Ost die grösste Solarstrom-Eigenverbrauchsgemeinschaft (EVG) der Schweiz.

Diese Eigenverbrauchsgemeinschaft versorgt das Areal über ein eigenes Stromnetz mit lokal produziertem Solarstrom. Der Strom stammt aus mehreren PV-Anlagen auf den Dächern der 13 Gebäude mit insgesamt 650 kW Leistung. Verteilt auf ein Jahr deckt dies rund ein Drittel des Bedarfs für Strom, Heizung, Warmwasser und E-Mobilität. Reicht der arealeigene Solarstrom nicht aus, wird der fehlende Netzstrom von verschiedenen Anbietern zugekauft.

Bereits in der ersten Bauphase ab Mitte 2017 lieferte die ADEV den ersten Bewohnerinnen und Bewohnern von Erlenmatt Ost Strom und Wärme, die weitgehend vor Ort produziert und verbraucht werden. Der Ziel ist es, so viel Strom und Wärme wie möglich auf dem Areal zu produzieren. Im Endausbau wird auf den Dächern von Erlenmatt Ost rund 850 kW Solarleistung installiert sein. Wärmepumpen veredeln den Solarstrom sowie die Wärme aus dem Grundwasser. So können schlussendlich zwei Drittel des Strom- und Wärmebedarfs vor Ort hergestellt werden. Diese Energie wird von der ADEV direkt an die Bewohnenden verkauft, ohne dass ein Energieversorger zwischengeschaltet ist. Das Grundwasser wird anschliessend zur Firma Hoffmann-La Roche weitergeleitet, wo es zur Kühlung der Gebäude und des industriellen Prozesses dient.

Das arealeigene Wärme- und Stromnetz lässt sich wir folgt (vgl. Abbildung 2 und Abbildung 3) visualisieren.

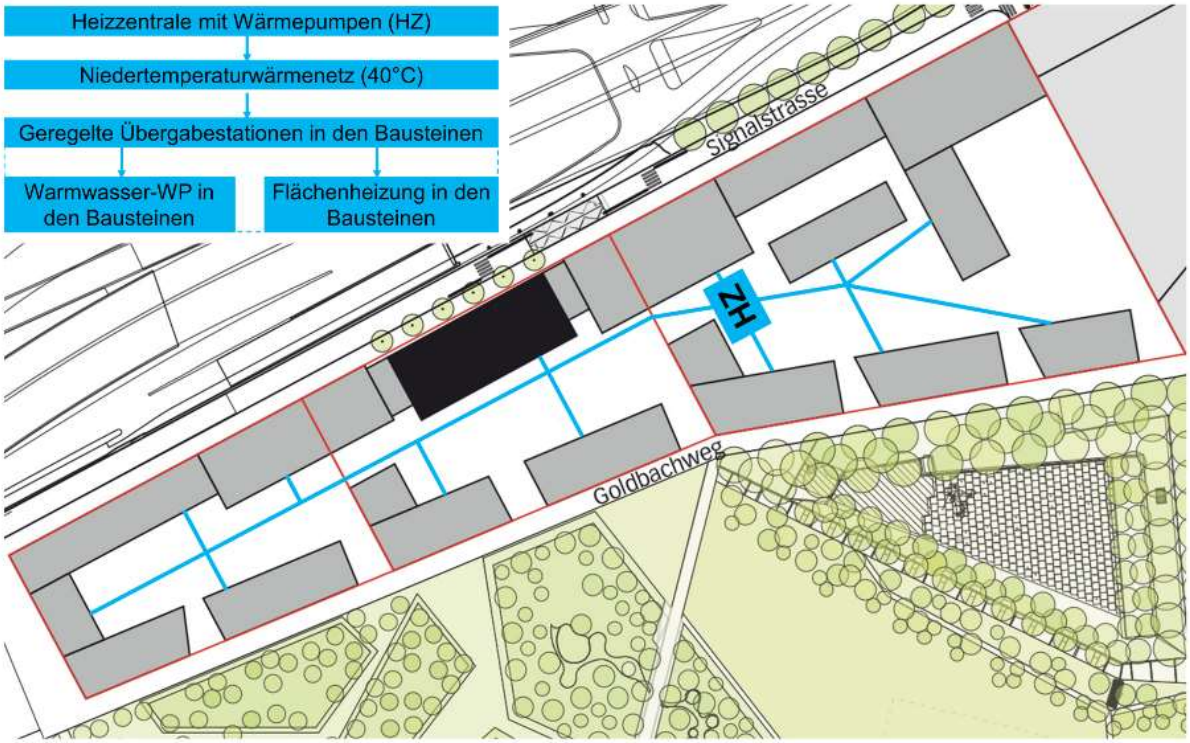


Abbildung 2: Visualisierung Wärmenetz in Erlenmatt Ost (ADEV)

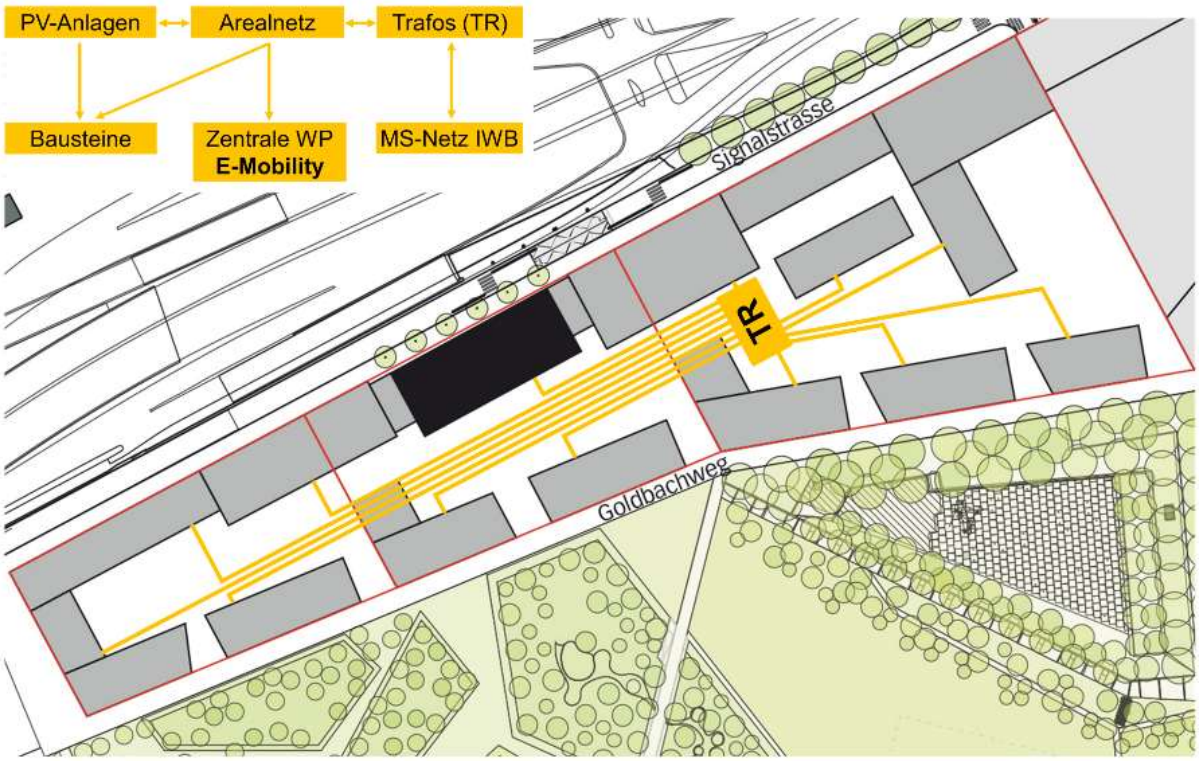


Abbildung 3: Visualisierung Stromnetz in Erlenmatt Ost (ADEV)

Die Kennzahlen des Gebäudeenergiesystems bezogen auf den Endausbau der Phase I sind im Folgenden summarisch aufgeführt:

- Mehr als 650 Personen in 13 Gebäuden
- ca. 250 Wohnungen plus Gewerbe
- Trafostation 2 x 630 kVA
- 650 kWp Leistung Solarstrom
- Wärme aus Grundwasser
- zentrale Wärmepumpen (AZ 5) mit 900 kW Leistung
- 70’000-Liter-Wärmespeicher (auch als Puffer für Solarstrom)
- 13 dezentrale Warmwasserwärmepumpen in den Gebäuden
- Ladeinfrastruktur für EV → 2 bidirektionale EVTEC-Ladestationen

Im Endausbau versorgt die ADEV das Areal Erlenmatt Ost mit rund 70% lokal produziertem Strom und Wärme. Für das smarte Energiekonzept wurde der ADEV gemeinsam mit der Stiftung Habitat bereits im Jahr 2019 der Preis «Watt d’Or» vom Bundesamt für Energie (BFE) verliehen.

2.3 Das E-Carsharing

Die Integration vom E-Carsharing auf dem Areal umfasst zwei bidirektionale Elektrofahrzeuge (Nissan Leaf und Nissan Evalia mit je 40 kWh Batteriekapazität), zwei bidirektionale EVETEC-Ladestationen, einen Energiemanager, eine Buchungsplattform für das Carsharing sowie die Eigenverbrauchsgemeinschaft als Microgrid.
Die Situation der beiden Elektrofahrzeuge in der Einstellhalle des Areals zeigt sich wie in Abbildung 4.

Abbildung 4: Die Mietautos in der Einstellhalle

Die E-Mietautos weren von der ADEV angeboten und stehen ausschliesslich den Bewohnerinnen und Bewohnern des Areals Erlenmatt Ost zur Verfügung. Sie befinden sich in der Einstellhalle Erlenmatt Ost (EHEO) auf den Parkplätzen Nr. 65 und 66. Dort werden sie mit dem arealeigenen PV-Strom geladen. Die ADEV bewirbt die Mobilität mit diesen Fahrzeugen als «100 % erneuerbar».

Die Anmeldung für Bewohnende erfolgt über ein Login auf der entsprechenden ADEV-Webpage. Mit der Bestätigung der Anmeldung erhalten die User einen Internetzugang für die Buchung des Fahrzeuges. Mit diesem Login können sie die E-Autos via Internet oder über die App: «ADEV – E-Mietauto» (iOS und Android), buchen. Zudem erhalten die User eine RFID-Karte als „Schlüssel“ für das Fahrzeug; alternativ können sie die App via Bluetooth nutzen, um das E-Mietauto zu öffnen bzw. zu schliessen.

Das System, wie die Elektroautos in das Energienetz des Areals eingebunden sind, ist in Abbildung 5 schematisch dargestellt.

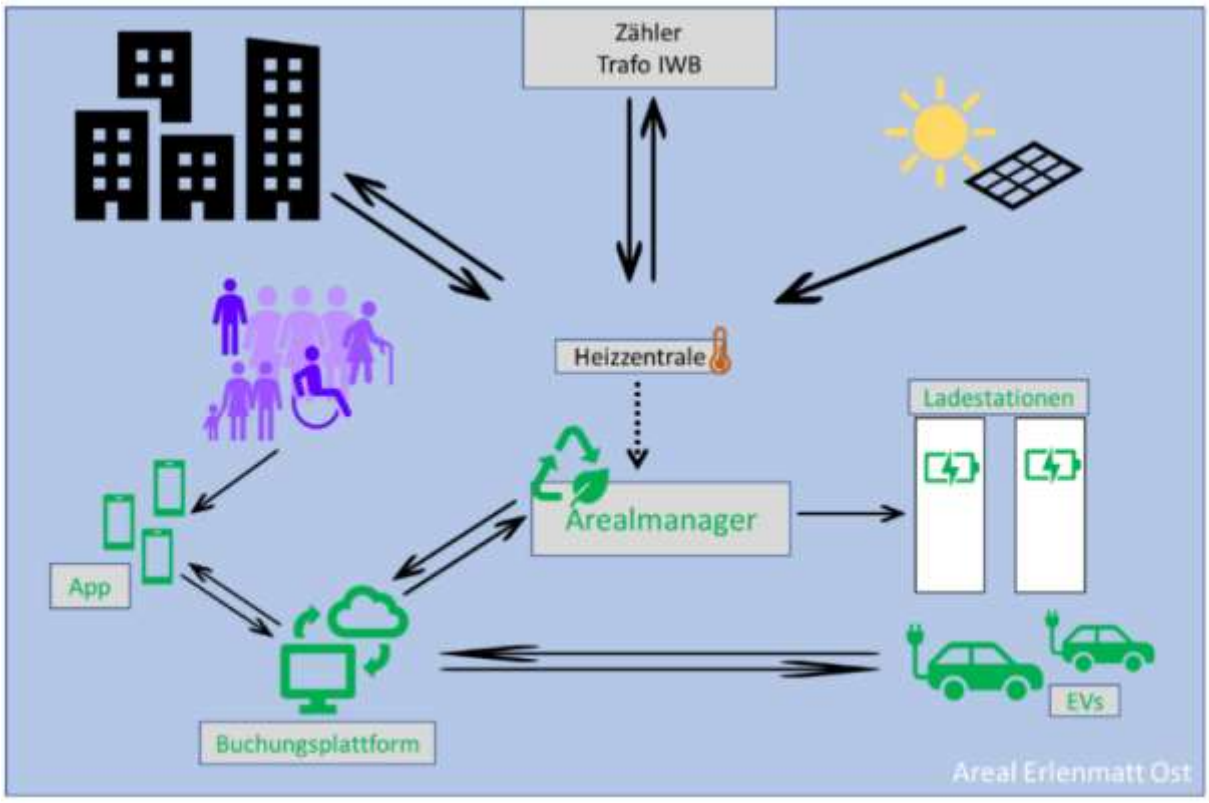


Abbildung 5: Visualisierung der Integration von E-Carsharing in Erlenmatt Ost (zhaw)

3 Vorgehen und Methode

3.1 Arbeitspakete und Verantwortlichkeiten

Das Forschungsprojekt umfasst insgesamt sieben Arbeitspakete (Work Package; WP) mit folgenden Inhalten und Verantwortlichkeiten:

WP Projektleitung:
Die Projektleitung lag bei novatlantis und wurde von Dr. Anna Roschewitz wahrgenommen.

WP Areal:
Die Areal-Umsetzung Erlenmatt Ost lag bei der ADEV Enegiegenossenschaft und wurde von Andreas Appenzeller und Thomas Kramer wahrgenommen.

WP1: Software-Entwicklung
Die Software-Entwicklung zur Eigenverbrauchsoptimierung mit bidirektionalen Ladestationen wurde von der Smart Energy Control AG von Prof. Dr. David Zogg und Michael Koller realisiert und später von der Nachfolgefirma Smart Energy Engineering GmbH von Prof. Dr. David Zogg.

WP2: Algorithmen
Die Entwicklung intelligenter Algorithmen zur Aggregation der Daten und prädiktiven Optimierung wurde ebenfalls von der Smart Energy Control AG von Prof. Dr. David Zogg und Michael Koller realisiert und später von der Nachfolgefirma Smart Energy Engineering GmbH von Prof. Dr. David Zogg in enger Zusammenarbeit mit der zhaw.

WP3: E-Carsharing und Mobilitätsverhalten
Das Arbeitspaket E-Carsharing und Mobilitätsverhalten lag in der Zuständigkeit der zhaw (Institut für Nachhaltige Entwicklung) unter der Verantwortung von Dr. Jörg Musiolik und den Projektmitarbeitenden Uroš Tomic und Pascal Vögeli sowie dem Masterstudenten Tim Dzukowski.

WP4: Systemdienstleistungen
Die Arbeiten zum Angebot von Systemdienstleistungen wurden ebenfalls von der zhaw unter der Leitung von Dr. Jörg Musiolik verantwortet.

WP5: Dissemination, Wissenstransfer und Kommunikation
Die Umsetzung des Wissens- und Technologietransfers erfolgte durch Dr. Anna Roschewitz von novatlantis.

3.2 Zeitlicher Ablauf

3.2.1 Arbeiten und Erkenntnisse im ersten Projektjahr

Die Projektleitung hat die Administration gegenüber dem BFE sichergestellt (Vertragsunterzeichnung, Abrechnungen, Terminsuche etc.) sowie die Organisation innerhalb des Projektteams.

Im Jahr 2019 haben zwei Projektmeetings stattgefunden, ein Kick-off Meeting im Frühling und ein reguläres Projektmeeting im Herbst (Terminsuche, Traktanden, Sitzungsleitung etc.). Ergänzend

fanden diverse bilaterale Treffen statt. Gegen Ende des ersten Projektjahres standen zudem die Aufwandkontrolle und der erste Zwischenbericht im Zentrum der Arbeiten.

WP Areal: Areal-Umsetzung Erlenmatt Ost (ADEV)

Im Jahr 2019 wurden die zum Baufeld I gehörenden Bausteine 5, 10 und 11 fertiggestellt. Der Bauabschluss des ebenfalls auf dem Baufeld I gebauten Bausteins 4 erfolgt im 2020. Mit Ausnahme des Bausteins 5 sind alle Bausteine an das Strom- und Wärmenetz des Areals Erlenmatt Ost angeschlossen. Die Mieter im Baustein 5 sind nur Strombezüger, da die Wärmeversorgung ohne ein konventionelles Heizungssystem geplant ist (Projekt von Degelo Architekten, Basel).

Im März 2019 erfolgte die Zuschaltung weiterer Photovoltaikanlagen. Die PV-Leistung wurde von 180 auf 525 kWp erhöht. Zudem ist im Dezember 2019 die letzte der drei geplanten Wärmepumpen installiert worden. In Summe kann das Areal jetzt mit einer Wärmeleistung von 900 kW versorgt werden.

WP1: Software-Entwicklung zur Eigenverbrauchsoptimierung mit bidirektionalen Ladestationen (SEC)

Im Jahr 2019 wurde für die Visualisierung der Daten in Echtzeit von Smart Energy Control zunächst ein Web-Portal entwickelt.

Abbildung 6: Übersicht für Installation in Erlenmatt mit den wichtigsten Kennzahlen (aktueller Strompreis, solarer Deckungsgrad, Eigenverbrauchsgrad, aktueller Gesamtbezug und Überschuss)

In diesem Portal können die Leistungsverläufe und Statistiken für das gesamte Areal sowie die Ladestationen eingesehen werden. In den folgenden Abbildungen sind die Lastgänge und Ladungen der Elektromobile für 2 Beispieltage im September und Januar gezeigt. Die Elektromobile werden bei solarem Überschuss bzw. bei tiefer Last geladen und bei hoher Last entladen. Das primäre Ziel ist eine Reduktion der Bezugsspitzen aus dem öffentlichen Netz. Die Eigenverbrauchsoptimierung ist wegen dem hohen Lastüberhang im Areal nur beschränkt möglich (im Winter ist kein Überschuss vorhanden).

Die ersten Arbeiten haben sich auf die prinzipielle Funktionsweise der Regler sowie die Einbindung der Software und Hardware fokussiert. In einem anschliessenden Schritt wurden die Regelalgorithmen optimiert. Es ist jedoch deutlich, dass die Leistung der beiden Ladestationen mit je max. 10 kW im Verhältnis zum gesamten Bezug im Areal mit bis zu 300 kW sehr klein ist. Deshalb zeigen verschiedene Simulationen mit einer höheren Anzahl Ladestationen das effektive Potential auf.

Abbildung 7: Leistungsverlauf (kW) des Netzbezugs (rot) und des Überschusses (grün) über den Tag, Beispiel 3. September 2019

Abbildung 8: Leistungsverlauf (kW) eines der beiden Elektromobile (blau) über den Tag, positive Werte für Ladevorgänge, negative Werte für Entladevorgänge, Beispiel 3. September 2019

Das Beispiel in Abbildung 6 verdeutlicht folgende Situation an diesem September-Tag: Zwischen 11:30 Uhr und 16:30 Uhr liegt ein PV-Überschuss vor und der Leaf wird im Mittel mit ca. 5 kW für ca. 2 Stunden geladen. Somit sind ca. 10 kWh PV-Strom weniger in das Netz der IWB geflossen (blaue Fläche).

Abbildung 9: Leistungsverlauf (kW) des Netzbezugs (rot) über den Tag, Beispiel 20. Januar 2020

Abbildung 10: Leistungsverlauf (kW) eines der beiden Elektromobile (blau) über den Tag, positive Werte für Ladevorgänge, negative Werte für Entladevorgänge, Beispiel 20. Januar 2020

Abbildung 11: Tägliche Energiestatistik (kWh) der beiden Elektromobile (blau und magenta) über einen Monat, positive Werte für Ladevorgänge, negative Werte für Entladevorgänge, Beispiel 1.-31. Oktober 2019

Eine stichprobenartige Auswertung für einen ausgewählten Tag im März 2020 (19.03.2020) führte zu folgenden Resultaten bezüglich des spezifischen Tages sowie einer ersten Potentialabschätzung:

Analyse Tag 19.3.2020:

- Mit 38 kWh Ladeenergie wurden 95% des Potentials ausgenutzt (2x20 kWh nutzbare Kapazität der beiden EVs)
- Das Laden der EVs wurde mit 100% Solarstrom gedeckt
- Es wurde 35% der eingespeisten Energie reduziert
- Die max. Einspeiseleistung wurde an diesem Tag um 30% reduziert
- Die max. Bezugsleistung wurde an diesem Tag um 4% reduziert

Grobe Potentialabschätzung basierend auf Stichprobe:

- Potential EVs zur Reduktion der Peak-Bezugsleistung ca. 7% bis 10%
- Potential EVs zur Reduktion der Bezugsenergie ca. 1%
- Potential EVs zur Reduktion der Einspeiseenergie 16% bis 100% (Eigenverbrauch)

Diese erste provisorische, grob vereinfachte Schätzung vermittelt ein erstes Bild. Die vollständige statistische Auswertung erfolgt in WP4, in welchem verschiedene Szenarien entwickelt sowie

Simulationen mit einer Vielzahl von EVs durchgeführt werden, um das tatsächliche Potential zu ermitteln.
Eine Analyse der historischen Daten im Jahr 2019 zeigte, dass das Areal einen sehr hohen Grundverbrauch von 100 bis 200 kW hat und nur sehr kurzzeitig überschüssiger Strom aus den PV-Anlagen eingespiesen werden kann (Abbildung 12). Der Hauptverursacher der hohen Verbräuche sind die beiden Wärmepumpen, welche zusätzliche Energie für industrielle Zwecke ausserhalb des Areals liefern.

Aus obigen Überlegungen ist bei dieser Anwendung das primäre Ziel der Regelung, die Leistungsspitzen im Netzbezug zu reduzieren. Aufgrund der hohen Leistungstarife beim Strombezug aus dem Netz ist der wirtschaftliche Anreiz klar gegeben. Die Eigenverbrauchsoptimierung ist hier nur am Rande interessant.

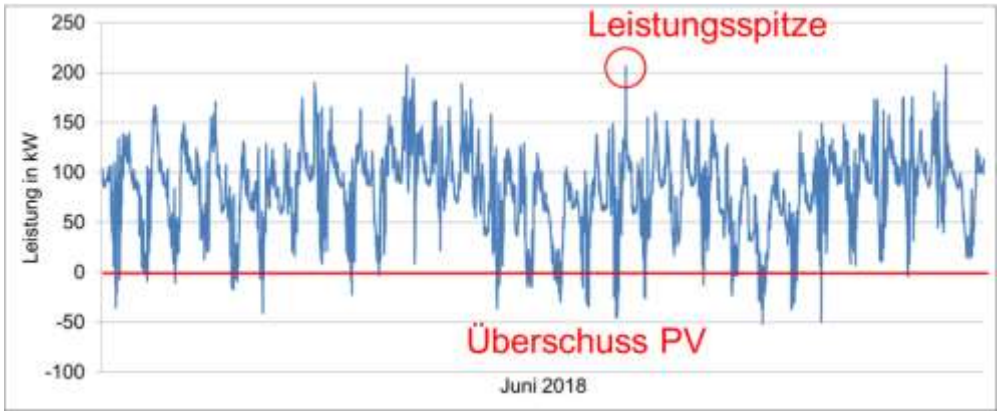


Abbildung 12: Typischer Tagesgang vom Juni 2018 mit Bezugs-Leistungsspitzen (positiv) und PV-Überschuss (negativ)

Bei der entwickelten Regelung wurden folgende Ziele verfolgt:

- Die Fahrzeuge sollen zu einer vorgegebenen Zeit für eine bestimmte Reichweite einsatzbereit sein.
- Die Fahrzeuge sollen dann entladen werden, wenn das Areal kurzzeitig viel Leistung aus dem Netz benötigt.
- Die Fahrzeuge sollen wenn möglich mit Solarstrom geladen werden.

Eine wichtige Grösse für die regelungstechnische Optimierung ist die nutzbare Kapazität des Akkus im Fahrzeug (vgl. Abbildung 13). Meistens geben die Hersteller die Brutto-Kapazität der Akkus an. Die hier verwendeten Fahrzeuge von Nissan haben eine Batteriekapazität von je 40 kWh brutto. Im täglichen Betrieb ist allerdings nicht die ganze Kapazität nutzbar, sondern nur ca. 70% davon (also 28 kWh). Es werden netto also nur 70% genutzt, um die Lebensdauer des Akkus im Fahrbetrieb zu erhöhen. Der Akku wird also nie voll entladen und auch möglichst nicht voll geladen. Wird der Akku zusätzlich für eine Vehicle-To-Grid-Anwendung (V2G) verwendet, schränkt der Hersteller die nutzbare Kapazität weiter ein. Durch diese Massnahme kann der Hersteller die volle Garantie auf seine Akkus gewähren (in der Regel 8 Jahre) trotz der zusätzlichen Nutzung der Akkus im Gebäude. Im Vergleich zum Betrieb auf der Strasse werden die Akkus in den Gebäuden regelrecht geschont. Insbesondere ist die Lade- und Entladeleistung auf wenige kW begrenzt (im vorliegenden Beispiel auf 20 kW für

Laden und 10 kW für Entladen) im Vergleich zu den hohen Leistungen bei einer vollen Beschleunigung des Fahrzeugs auf der Strasse (100 kW oder mehr).

Die Begrenzung der nutzbaren Kapazität sowie der Lade- und Entladeleistung wird vom Fahrzeug vorgegeben. Der entwickelte Regelalgorithmus muss also die vom Hersteller vorgegebenen Daten berücksichtigen.

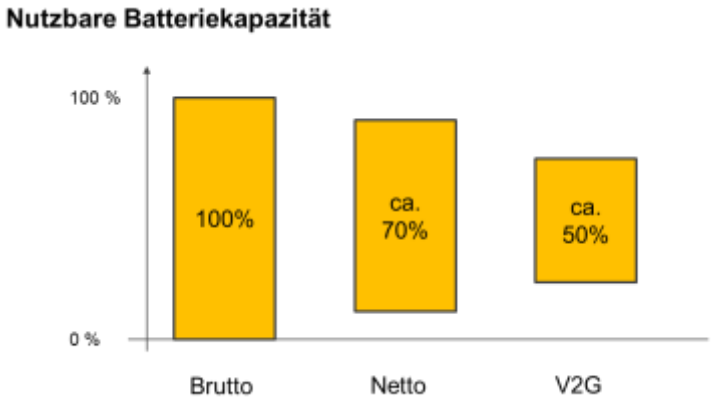


Abbildung 13: Nutzbare Batteriekapazität nach Anwendungen

Der entwickelte Regelalgorithmus ermöglicht nicht nur das intelligente Laden eines Fahrzeugs, sondern beliebig vieler Fahrzeuge. Die Ladeleistungen werden entsprechend auf die verschiedenen Ladestationen verteilt. Dabei entscheidet der Eigenverbrauchsmanager als Master, welches Fahrzeug mit welcher Leistung geladen oder entladen wird. Die Ladestationen führen als Slaves nur die Befehle des Eigenverbrauchsmanagers entsprechend aus. Damit besteht die volle Kontrolle über die Algorithmik, was für das Forschungsprojekt ein wesentlicher Vorteil ist.

Der Hauptaufwand lag in der Entwicklung sowie dem Testen und Optimieren der entsprechenden Kommunikations-Schnittstellen. Entstanden ist eine robuste und zuverlässige Lösung, welche sich bereits über mehrere Monate im Dauerbetrieb bewährt hat.

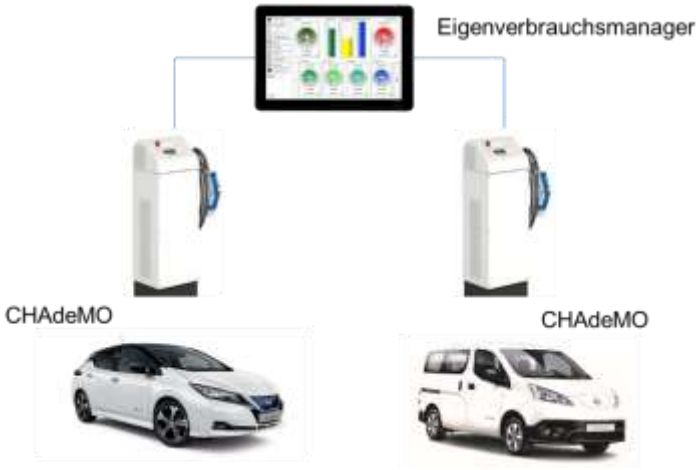


Abbildung 14: Laden von mehreren Fahrzeugen über intelligente Schnittstellen

WP2: Entwicklung intelligenter Algorithmen zur Aggregation der Daten und prädiktiven Optimierung (SEC)

Zur regelungstechnischen Optimierung wurden prädiktive Algorithmen entwickelt. Die Umsetzung ist in Abbildung 15 vereinfachend dargestellt. Zu Zeiten tiefer Last bzw. solaren Überschusses werden die Elektromobile geladen und die überschüssige Energie in der Batterie gespeichert. Zu Zeiten hoher Last werden die Elektromobile entladen. Die gespeicherte Energie dient der Reduktion der Lastspitzen. Die entwickelten Regler arbeiten mit adaptiven Schwellwerten für das Laden und Entladen der Batterien, welche sich optimal auf die bevorstehenden Lastgänge einstellen.

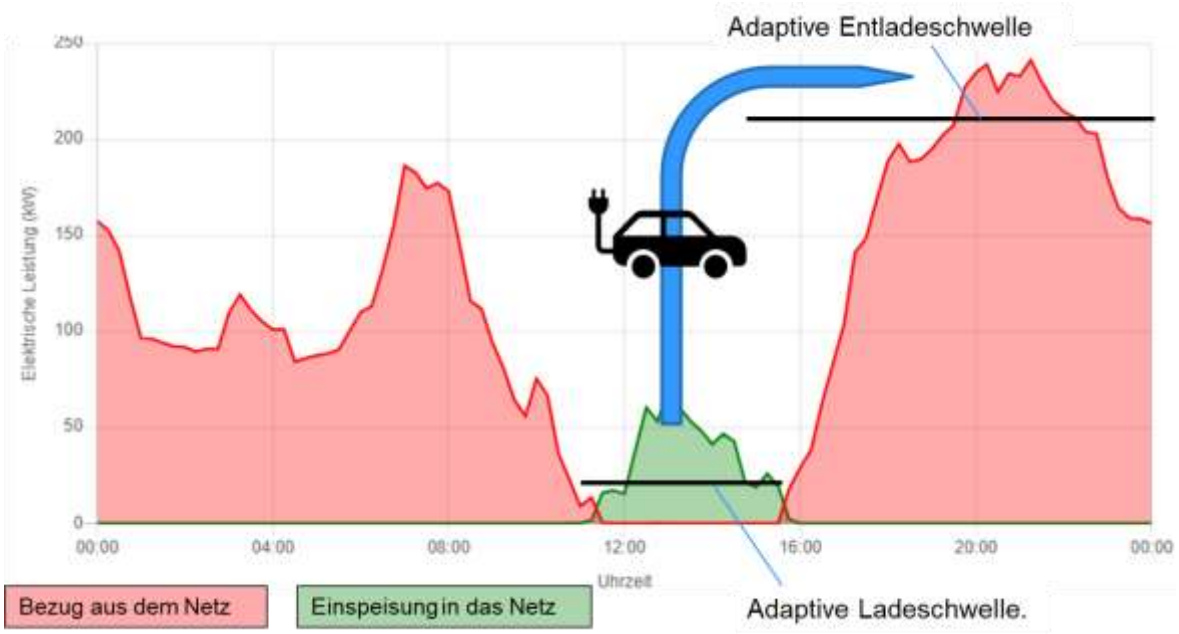


Abbildung 15: Regelungstechnische Umsetzung anhand eines typischen Tagesgangs

Zudem müssen die Elektromobile bedarfsgerecht geladen werden. Der Bedarf für die nächste Ladung wird aus einer Buchungsplattform der Firma IBIOLA entnommen (ibiola-mobility.com), siehe die Darstellung in Abbildung 16. Dazu wurde eine spezielle Schnittstelle zur IBIOLA-Cloud entwickelt. Über diese Plattform buchen die Bewohner des Areals die Fahrzeuge im Voraus. Dabei geben sie den Zeitpunkt der nächsten Fahrt und die ungefähre Anzahl Kilometer bekannt. Aus diesen Daten berechnet der Eigenverbrauchsmanager von Smart Energy Control die Ladeenergie und minimale Ladeleistung, welche zur Gewährleistung der notwendigen Reichweite notwendig ist.

Auch zur Kommunikation mit den Ladestationen von EVTEC wurde eine spezielle Schnittstelle entwickelt, basierend auf der Technologie von Websocket.

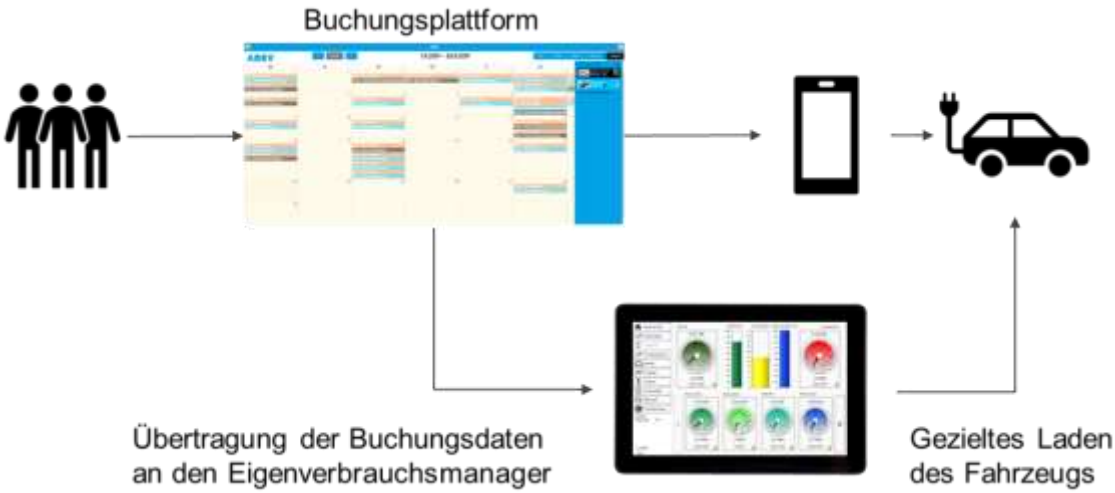


Abbildung 16: Schema des Regelkonzeptes mit integrierter Buchungsplattform

Das detaillierte Regelschema ist in Abbildung 17 dargestellt. Der innere Regelkreis berechnet laufend den Ladestrom, welcher der Ladestation vorgegeben wird. Andererseits liefert die Ladestation Daten zum aktuellen Ladezustand an den Regler zurück. Die Ladestation kommuniziert über eine digitale Schnittstelle mit dem Fahrzeug. Auch die Fahrzeug-Daten werden im Regler berücksichtigt. Die wichtigste Information ist der aktuelle Ladestand (SOC = State of Charge), welcher mit den Informationen aus der Buchungsplattform abgeglichen wird. Zur Sicherheit ist ein minimaler SOC hinterlegt, welcher niemals unterschritten wird, damit das Fahrzeug immer eine minimale Reichweite hat. Im Regler ist zudem eine Lastganganalyse in Echtzeit implementiert. Aus dieser Analyse werden die Lade- und Entladeschwellwerte laufend berechnet.

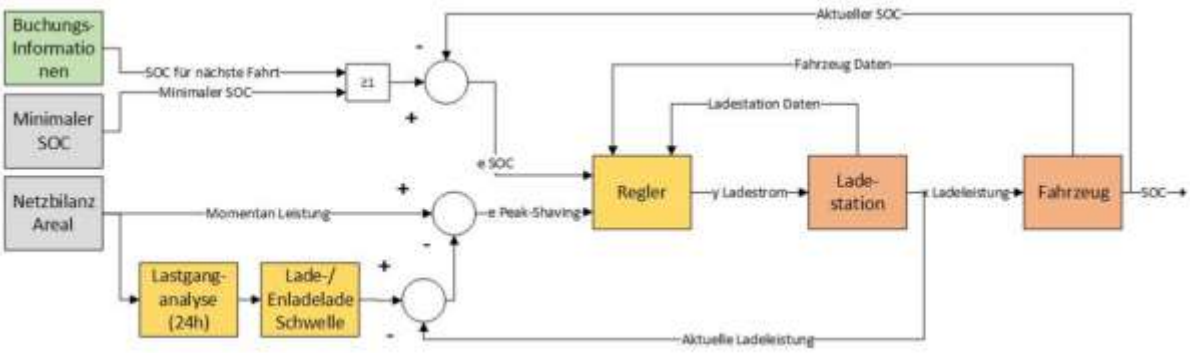


Abbildung 17: Detailliertes Regelschema mit Regelung der Ladestation und Berücksichtigung von Lastgang sowie Buchungsinformationen

WP3: E-Carsharing und Mobilitätsverhalten (zhaw)

Im Jahr 2019 wurde das E-Carsharing ohne eine Intervention im Bereich des Nutzerverhaltens betrieben, um Daten und Erfahrungen über die reale Nutzung zu sammeln bzw. auszuwerten. Hierzu wurden in einem ersten Schritt a) ein Konzept entwickelt und b) alle relevanten Datenquellen (SEC,

Ibiola, ADEV) auch für die zhaw erschlossen und folgende nutzerrelevante Daten und Sachverhalte ausgewertet:

- Daten Buchungssystem: Anzahl der realen Nutzer, Zeitpunkt der Buchungen im Buchungssystem, Zeitraum der Nutzung

- Daten Trafo Areal Erlenmatt Ost: Zeitpunkt der PV Überschüsse, Zeitpunkt der Lastspitzen, Netztarife der IWB Basel

- Gap-Analyse: «Missmatching» zwischen Zeitraum der Nutzung und Bedarf Flexibilität (Zeitpunkt der PV Überschüsse, Zeitpunkt der Lastspitzen) (Auswertung noch nicht abgeschlossen)

In einem zweiten Schritt wurden mögliche Interventionen für eine stärkere Nutzer-Einbindung bzw. Nutzer-Steuerung des Buchungs- und Nutzungsverhaltens durch eine Literaturanalyse identifiziert (siehe Abbildung 18 und Abbildung 19) und damit eine Liste möglicher Interventionen erstellt.

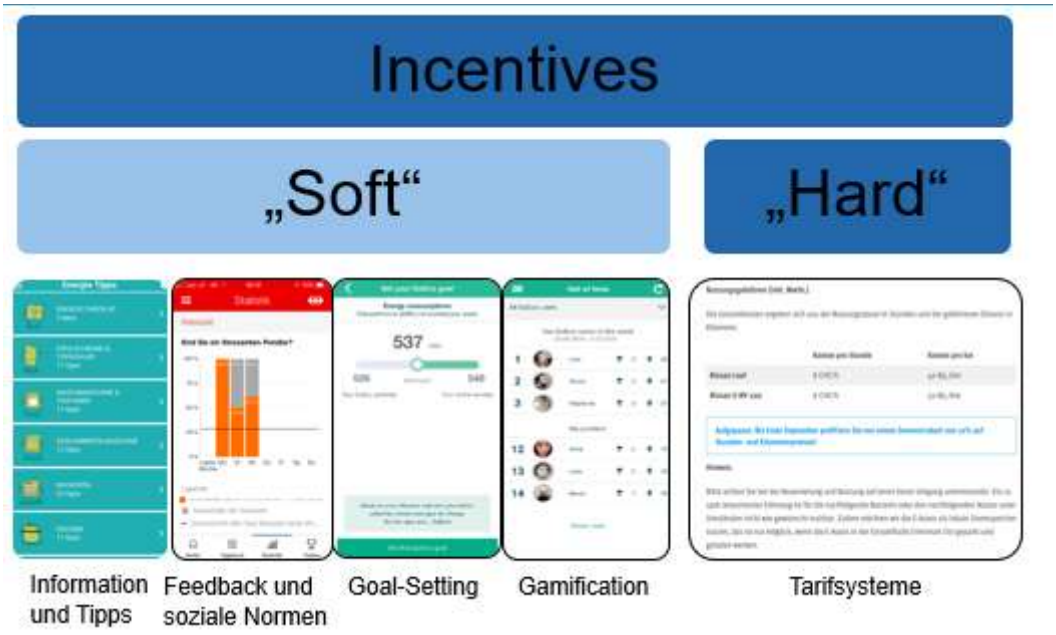


Abbildung 18: Typen von Interventionen für eine stärkere Nutzereinbindung

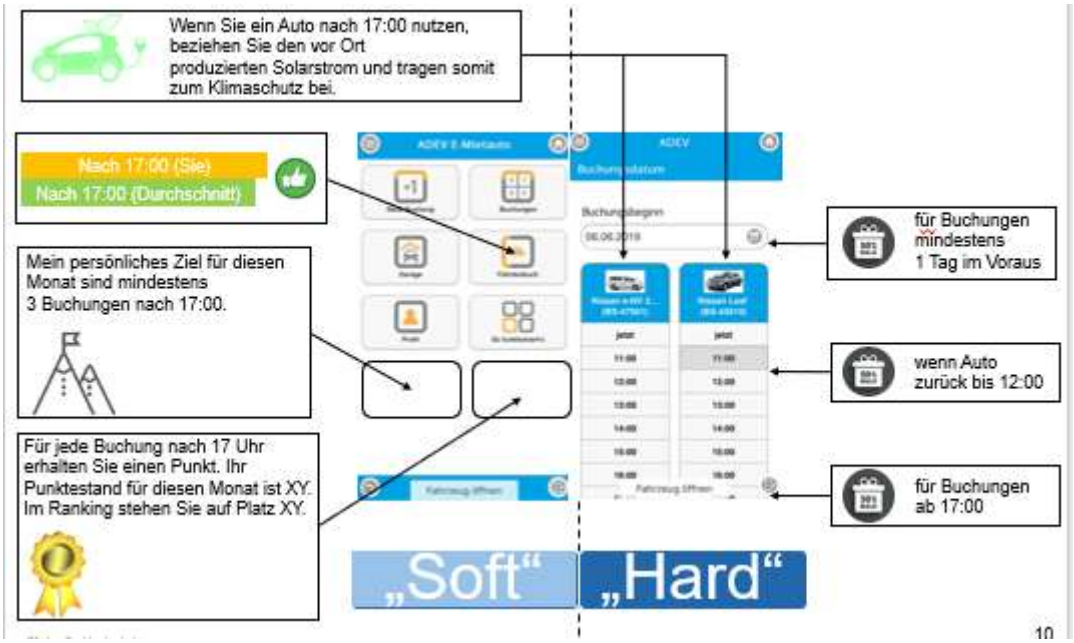


Abbildung 19: Darstellung potenzieller Interventionen für das E-Carsharing

Das Konzept ist in Abbildung 20 dargestellt. Ziel der Gap-Analyse ist die Identifizierung der Abweichung von einer idealen arealdienlichen Nutzung / Mobilitätsverhaltens (Autos werden quasi als stationärer Speicher genutzt) sowie die Ableitung möglicher Ziele / Eigenschaften der Intervention. Bisher ist angedacht in der 1. Intervention den Nutzern mehr Information und Tipps zu geben arealdienlich zu buchen. Die zweite Intervention wird zusammen mit den Nutzern in einem Workshop entwickelt (Auswahl aus der Liste der identifizierten Interventionen) und dann anschliessen getestet. Um die Auswirkungen der Interventionen messen und vergleichen zu können, wurde ein Indikator entwickelt, der die arealdienliche Nutzung der Autos misst:

Indikator arealdienliche Nutzung der Autos = KW (Laden EVs) + KW (Entladen EVs) - KW (real gefahrene Km) (Je höher, desto arealdienlicher die Nutzung des E-Carsharings).

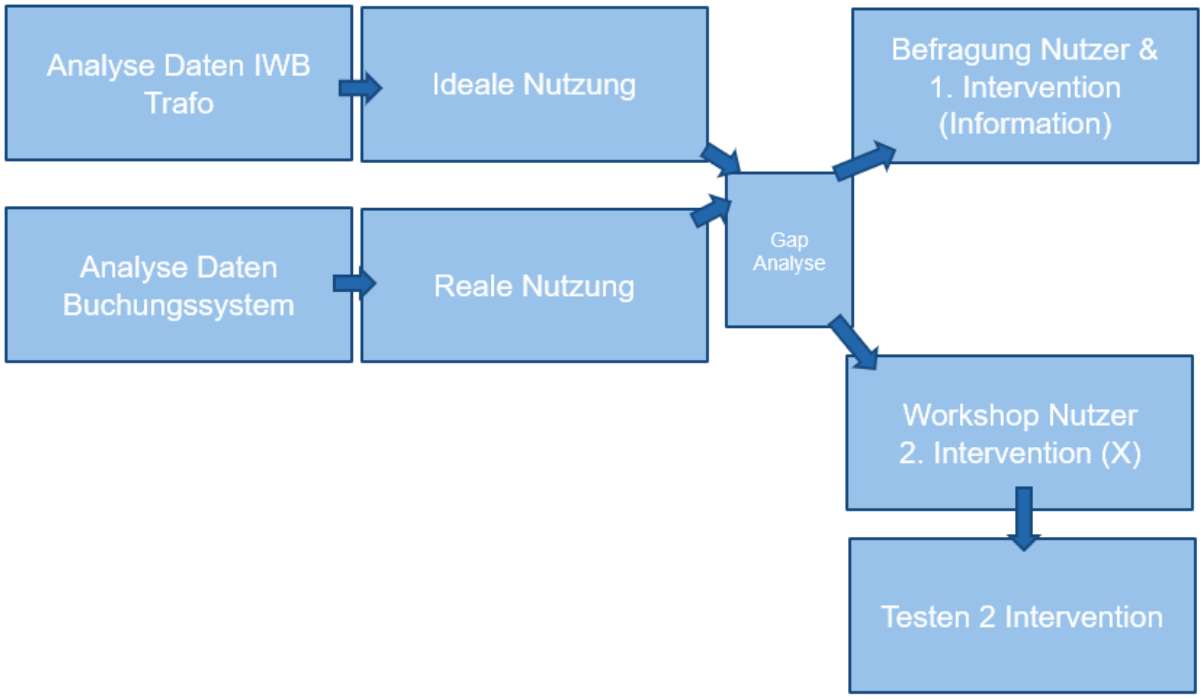
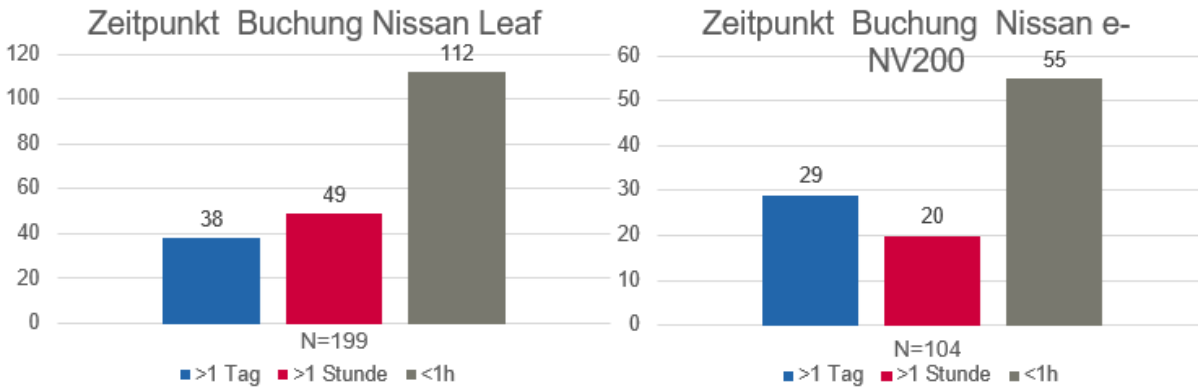


Abbildung 20: Konzept für die Entwicklung / Ableitung der Interventionen

Die durchgeführten Analysen vor dem Hintergrund der Einbindung der Nutzenden und der Steuerung des Mobilitätsverhaltens zeigen, dass das Nutzerverhalten einen grossen Einfluss a) auf die Funktion des Eigenverbrauchsmanagers und b) auf die arealdienliche Nutzung der EVs hat. So buchten im ersten Projektjahr mehr als die Hälfte der Nutzenden ihre Fahrten weniger als eine Stunde vorher (siehe Abbildung 21 oben). Ausserdem werden die EVs vor allem dann genutzt, wenn PV Strom produziert wird (Mittagspeak) und oftmals in den Abendstunden, wenn Lastspitzen auftreten (siehe Abbildung 21 unten).



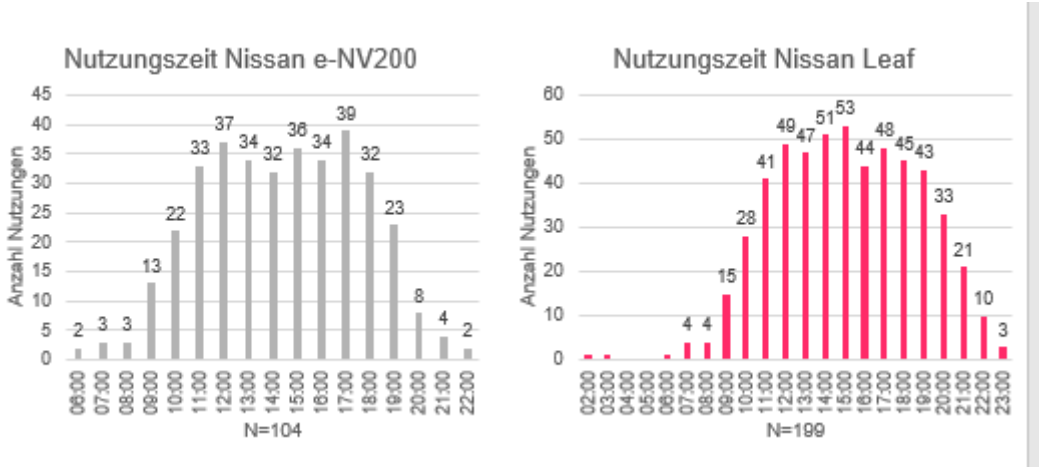


Abbildung 21: Oben: Zeitpunkt der Buchungen vor der Nutzung der Fahrzeuge. Unten: Verteilung der zeitlichen Nutzung der Fahrzeuge

Für neue Geschäftsmodelle und weitere Erträge durch den externen Einsatz der EV Batteriekapazität wurden eine Reihe möglicher Systemdienstleistungen und Arbitrage-Modelle identifiziert. Diese Valorisierungsmöglichkeiten sind a) z.T. als funktionierende Märkte etabliert (z.B. Regelenergie) oder im Entstehen (Netzengpassmanagement, Spannungshaltung) und haben b) unterschiedliche Flexibilitätsbedürfnisse und Rahmenbedingungen für einen Markteintritt. Die vorhandenen Kapazitäten der beiden EVs sind für die meisten Systemdienstleistungen zu klein. Jedoch wird in der Zukunft neben den 2 EVs im Carsharing weitere Flexibilität durch EVs der Bewohner und Mitarbeiter im Areal verfügbar sein. Daher ist ein weiteres Ergebnis, dass die Co-Simulation verschiedene Ladesituationen (z.B. workplace charging, residential charging) in Betracht ziehen sollte und hier im Projekt für diese Ladesituation Standardlastprofile genutzt werden sollten. Ein Vorschlag für ein solches Vorgehen ist in Abbildung 22 dargestellt.

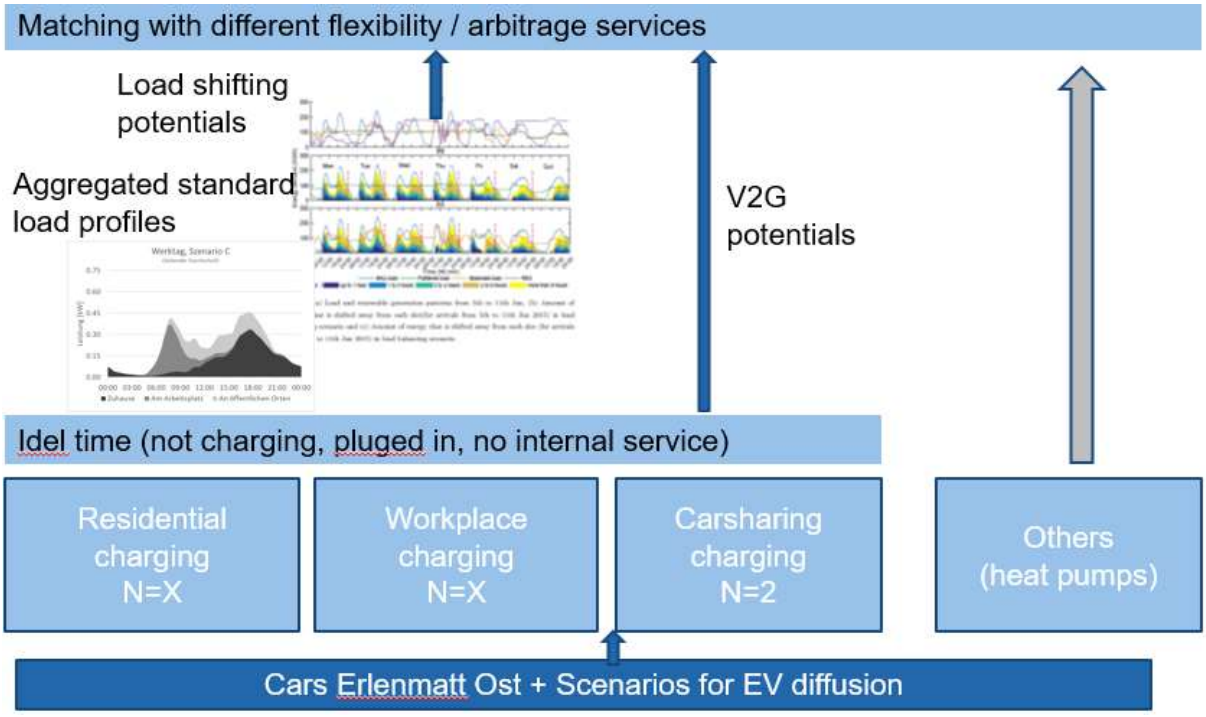


Abbildung 22: Mögliches Vorgehen für die Berechnung potenzieller EV Flexibilität und deren externer Einsatz

WP4: Systemdienstleistungen anbieten(zhaw)

2019 wurden in einem ersten Schritt potenzielle externe Valorisierungsmöglichkeiten für EV-Flexibilität durch ein Literaturreview und Expertengespräche zusammengetragen. Als potenziell interessante Valorisierungsmöglichkeiten wurden Systemdienstleistung wie Regelenergie, Blindleistung, Netzengpassmanagement, Ausgleichsenergie sowie mögliche Arbitrage-Modelle (Stromgrosshandel) identifiziert.
In einem zweiten Schritt wurden anhand von Internetrecherchen wesentliche Informationen zu den identifizierten Valorisierungsmöglichkeiten wie die Vertragspartner (Abnehmer der Flexibilität), Mechanismen und Transaktionen (bestehende Märkte, bilaterale Verträge), minimale Mengen und Zulassung (minimale Leistung), Dauer und Abruf (Gehandelte Zeitblöcke) sowie (falls vorhanden) Preise und mögliche Erträge recherchiert. Ergebnis dieser Aktivitäten ist eine umfangreiche Excel-Tabelle mit den relevanten Informationen zu den potenziellen Systemdienstleistungen, die zukünftig durch das Areal / ADEV angeboten werden könnten.
2020 wird die potenzielle EV-Flexibilität in verschiedenen Szenarien berechnet und mit den Bedürfnissen, Bedingungen und möglichen Erträgen der Systemdienstleistungen verglichen und mögliche Geschäftsmodelle identifiziert.

WP5: Dissemination, Wissenstransfer und Kommunikation (novatlantis)

Auf Basis einer Literatur- und Situationsanalyse wurde im Jahr 2019 ein Kommunikationskonzept mit Massnahmenplan erstellt, das sowohl auf den praktischen Erfahrungen des OKEE-Projektes aufbaut als auch auf den Erkenntnissen aus dem Wissens- und Technologietransfer (WTT).

Eine Projekthomepage wurde erstellt und laufend aktualisiert. Die Ergebnisse der aktiven und stetigen Kommunikationsarbeit sind zudem zahlreiche Fachvorträge, Presse-Artikel, nationale und internationale Referate sowie eine Fachveranstaltung in Erlenmatt Ost. Alle Produkte sind in Kapitel 4.5 einzeln aufgeführt. Um einen direkten Zugriff auf die Dokumente zu ermöglichen, sind sie jeweils mit der Originalquelle verlinkt.

Zusammenfassend lassen sich der Erkenntnisgewinn und die Ergebnisse des ersten Projektjahres wie folgt festhalten:

Inhaltliche Schwerpunkte im Jahr 2019 waren das technische und organisatorische Betreiben des Gebäudeenergiesystems und des Carsharings auf dem Areal in (WP Areal), die softwaretechnischen Umsetzungen (WP1 und WP2), die Vorarbeiten für die Interventionen zum Mobilitätsverhalten (WP3) sowie die Öffentlichkeitsarbeiten im Bereich Dissemination, Wissenstransfer und Kommunikation (WP5).

Alle geplanten Arbeiten konnten im ersten Projektjahr wie geplant und fristgerecht ausgeführt werden. Die Ziele Z1 (Mit E-Carsharing die Sektorkopplung umsetzen) und Z3 (Durch Einbindung von E-Mobilität den Eigenverbrauch optimieren) wurden erreicht. Die Einbindung der beiden bidirektionalen EVTEC-Ladestationen konnte dank intelligentem Lademanagement umgesetzt und dadurch der Eigenverbrauch optimiert werden.

Beim bidirektionalen Lastmanagement mit den Elektrofahrzeugen wurde durch die Integration der Buchungsplattform von IBIOLA die nächste Entwicklungsstufe der Sektorkopplung erreicht. Dadurch wurden neu alle Buchungen aktiv berücksichtigt und die Kapazität der Regelenergie konnte gesteigert werden. Mit nur zwei Fahrzeugen konnte die Kapazität der Regelenergie im Verhältnis zum Gesamtverbrauch des Areals jedoch nicht massiv gesteigert werden. Es handelt sich hier also methodisch um einen Proof of Concept. Für eine effektive Steigerung wären deutlich mehr Fahrzeuge notwendig.

Der Regelalgorithmus verhält sich wie folgt:

- Die Buchungen der Fahrzeuge werden alle 15 Minuten aus der Cloud abgerufen. Die Buchungen der nächsten 6 Stunden werden weiterverarbeitet.

Für jede Buchung wird die geplante Strecke ausgewertet und die notwendige Batteriekapazität (SOC = State of Charge) errechnet. Hierbei wird eine Sicherheitsmarge von 50% einkalkuliert. Es wird dann mit einer minimalen Ladeleistung bis zum notwendigen SOC geladen. Hat es genügend PV-Überschuss, so wird die Ladeleistung dem PV-Überschuss angepasst.

- Wird keine Buchung für die nächsten 6 Stunden gefunden, so können die Fahrzeuge bis auf einen Batteriestand von 30% entladen werden. Die Entlade- und Ladeschwelle wird dynamisch aufgrund des Lastganges der letzten 24 Stunden laufend neu berechnet. Es wird versucht, die Peaks um 20% zu brechen. Die Ladung der Fahrzeuge wird auf minimale Netzlast oder Eigenverbrauch optimiert.

- Aus dem Betrieb im ersten Jahr wurde folgendes Optimierungspotential erkannt: Eine Analyse des Buchungsverhaltens über einige Monaten hat gezeigt, dass viele Buchungen sehr kurzfristig getätigt werden. Zum Teil beträgt die Vorlaufzeit (d.h. die Zeitspanne zwischen Buchung und Abfahrt) lediglich einige Minuten. Solange es sich hierbei um Kurzdistanzen von unter 50 Kilometer handelt, ist diese unproblematisch, da die Fahrzeuge nie komplett entladen werden und immer einen minimalen Ladestand von 30% aufweisen. Sollte aber eine Buchung bei derart kurzer Vorlaufzeit für eine längere Distanz erfolgen, so kann das System nicht garantieren, dass das Fahrzeug vollgeladen ist. Das Problem liegt hier nicht in den Regelalgorithmen von Smart Energy Control, sondern in der Buchungsplattform von IBIOLA, welche ein derart kurzfristiges Buchen ermöglicht.

- Zudem zeigte die Analyse, dass eine Person während einer (vorab regulär gebuchten) Fahrt von unterwegs eine zusätzliche Buchung tätigen kann. Dies ist problematisch, da das System in diesem Fall nicht reagieren kann. Auch dies liegt an der Buchungsplattform von IBIOLA.

- Sehr kurzfristige Buchungen und kurze Fahrten: Solange nur kurzfristige Fahrten stattfinden, sollen weiterhin kurzfristige Buchungen möglich sein. Für längere Fahrten soll der Benutzer allerdings rechtzeitig voraus buchen müssen, sonst macht die Optimierung keinen Sinn.

- Nur 32 Nutzende: Die Anzahl der Nutzenden hat weniger Einfluss als die Anzahl verfügbarer Fahrzeuge. Für einen hohen Effekt als Regelenergie müsste die Anzahl der Fahrzeuge massiv erhöht werden. Aus wirtschaftlichen Gründen wird die Anzahl jedoch nur erhöht, falls die Anzahl der Nutzenden steigt. Hier sind dem Projekt wirtschaftliche Grenzen gesetzt.

- Autotyp, Nutzung und Buchungsverhalten: Der Leaf wird mehr genutzt (mehr kurzfristige Buchungen) als der Evalia (mehr mittelfristige Buchungen)

- Beide EVs sind seit Januar 2019 voll integriert.

- Die Einnahmen aus der Autovermietung (ca. 6K) decken die Kosten (ca. 12K) noch nicht.

- Änderungen in der Tarifstruktur sind angedacht auch aus Sicht der Intervention in WP 4: statt Kombination aus Strecke und Zeit (km und Stunden) wären andere Tarifsysteme denkbar. IBILOA könnte dieses entsprechend mit wenig Aufwand anpassen

- Der geschätzte Verbrauch beträgt durchschnittlich 12-18 KWh pro 100 Kilometer (der effektive Verbrauch ist nicht bekannt).

- Es bestehen unterschiedliche Situationen im Sommer (PV-Überschuss auf Areal) und im Winter (kein PV-Überschuss auf Areal). Sommer: primär Optimierung Eigenverbrauch. Winter: primär Peakshaving und evtl. mit stationären Batterien ergänzen.

- Es braucht ein Abwägen zwischen Optimierung Eigenverbrauch und Optimierung Lastgang/Netzoptimierung.

- Wenn die EVs nicht genutzt werden, ist die Arealdienlichkeit bzw. Netzdienlichkeit am höchsten. Bei einem angeschlossenen, aber nicht genutzten Elektrofahrzeug kann die

gesamte Kapazität für das Gebäude verwendet werden. Dies widerspricht jedoch einer wirtschaftlichen Nutzung und Amortisation der Fahrzeuge.

- Die Lastgänge von ca. 12 Monaten liegen vor, aber aufgrund der laufenden Bautätigkeit ist eine Datenanalyse der Versuchsanlage schwierig bzw. unmöglich. Auch die geringe Anzahl Fahrzeuge im Vergleich zur hohen Last des Areals macht eine Analyse anspruchsvoll. Es braucht also zwingend Simulationen, um die Anzahl Fahrzeuge und Nutzungen hochzurechnen.

- Die Lösung in Erlenmatt wurde für das vorliegende Pilotprojekt speziell entwickelt. Leider ist keine direkte kommerzielle Nutzung möglich, da der Markt noch nicht reif ist. Es wird davon ausgegangen, dass schon die massive Verbreitung von Elektromobilität in der Schweiz mehrere Jahre oder Jahrzehnte in Anspruch nehmen wird aufgrund fehlender Anreize. Ein weiteres Hindernis ist die Verfügbarkeit von Fahrzeugen mit bidirektionalen Lademöglichkeiten. Leider stellen heute nur die japanischen Hersteller entsprechende Fahrzeuge in Serie her. Die europäischen Hersteller sind diesbezüglich noch stark im Verzug. Auch hier sollten entsprechende Anreize geschaffen werden, um diesen Lösungen einen Vorschub zu geben. Im Vergleich zu stationären Batteriesystemen wären mobile Akkus ökologisch sinnvoller.

- Die Firma Smart Energy Control AG stellt aus finanziellen Gründen den Betrieb auf Ende Februar 2020 ein. Die Nachfolgefirma Smart Energy Engineering GmbH setzt das Forschungsprojekt jedoch wie geplant fort. Der Betrieb des Eigenverbrauchsmanagers, des Webportals und der Datenbank sind bis Projektende gesichert.

- Das Projekt hat einen hohen Bekanntheitsgrad erlangt.

- Die Kommunikation ist aufwändig und anspruchsvoll angesichts des sehr komplexen Themas und des häufig noch bestehenden Sektor-Denkens.

- Die Steuerung der Kommunikation ist nur beschränkt möglich, da JournalistInnen und/oder RedaktorInnen wichtige Textmodule und Aussagen ohne Rücksprache kürzen oder gar fehlerhaft formulieren (nur Zitate können zur Freigabe gegengelesen werden).

3.2.2 Arbeiten und Erkenntnisse im zweiten Projektjahr

Im Jahr 2020 lag der Schwerpunkt der Arbeiten auf der weiteren Optimierung des Energiemanagers und neu auf den Simulationen.
Der Energiemanager regelt bereits die Energieflüsse zwischen den Fahrzeugen und dem Areal, d.h. er misst die momentane Bezugs- bzw. Einpeiseleistung am Netzanschlusspunkt und regelt entsprechend die beiden Fahrzeuge. Dabei werden auch die anderen Verbraucher wie Wärmepumpen und die Wohnungen berücksichtigt.

Abbildung 23 zeigt das Prinzip der Regelung. Das Ziel besteht darin, den solaren Überschusses (wenn vorhanden) in den Fahrzeugen zu pufferen, um ihn dann zur Reduktion der Lastspitzen zu Hochlastzeiten einzusetzen.

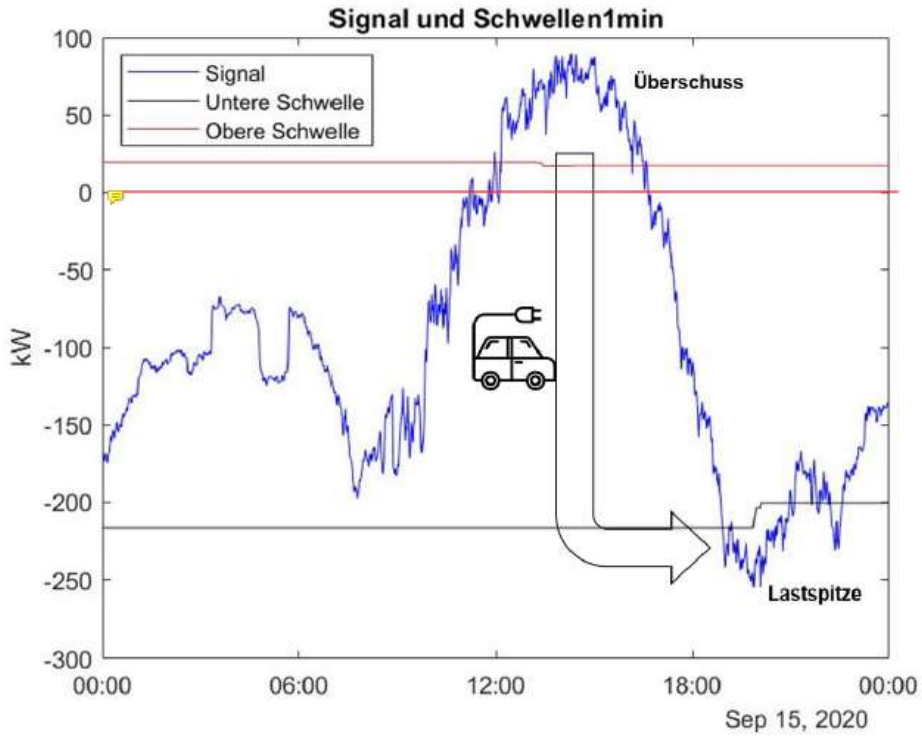


Abbildung 23: Lastspitzenreduzierung der Energiebilanz

Der Energiemanager berechnet die Lade- und Entladeschwellen adaptiv, wie Abbildung 24 zeigt. Die Schwellen werden aus den Lastgangdaten der letzten 24 Stunden berechnet. Dabei wird angenommen, dass sich der Lastgang in den nächstsen 24 Stunden ähnlich verhalten wird (einfache Prognose). Die Schwellwerte selber wurden bis anhin mit einer fest vorgegebenen 20%/80%-Regel berechnet, d.h. Laden bei 20% Peak-Einspeisung und Entladen bei 80% Peak-Bezug. Diese Regel wurde im zweiten Projektjahr optimiert.

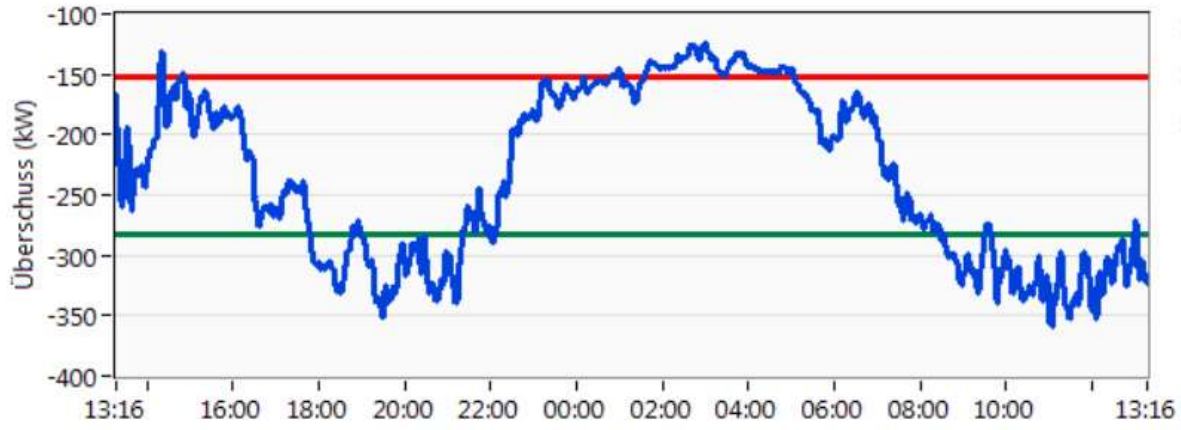


Abbildung 24: Adaptive Berechnung der Lade- und Entladeschwellen durch den Energiemanager

Abbildung 25 zeigt den Teil der Software, welche die Daten von der Buchungs-Plattform zyklisch abholt. Dabei werden die Buchungen innerhalb der nächsten 4 Stunden (einstellbar) eingelesen. Sobald eine Buchung erscheint, stellt die Software auf «Pflichtladen» um. Dies bedeutet, dass mit einer festen Ladeleistung von 5 kW (ebenfalls einstellbar) geladen wird. Auch diese Logik wurde weiter überarbeitet, da festgestellt wurde, dass das Pflichtladen in einzelnen Fällen zu einer Erhöhung statt Reduktion der Lastspitzen führte.

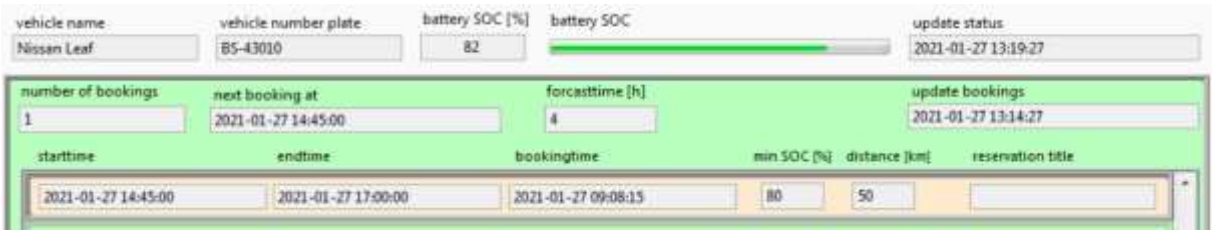


Abbildung 25: Veranschaulichung der Buchungssoftware

In Abbildung 26 ist der Lastgang sowie das Laden und Entladen eines Fahrzeugs an einem Beispieltag (26./27.01.2021) veranschaulicht. Wie ersichtlich ist, findet an diesem Tag keine Netzeinspeisung statt, sondern das Areal bezieht trotz der PV-Anlagen ganztags Strom aus dem Netz, was nicht zuletzt auf die beiden grossen Wärmepumpen zurückzuführen ist (Wärmeverbund). Zudem treten typischerweise zwei hohe Lastpeaks auf, nämlich abends und um die Mittagszeit. Der Regler lädt nun die Fahrzeuge automatisch zu Tieflastzeiten (z.B. nachts um 2 Uhr) und entlädt die Fahrzeuge zu Hochlastzeiten (sofern kein Pflichtladen stattfindet). Das Beispiel zeigt auch, dass die Entladung noch etwas zu früh startet wegen suboptimal eingestellten Schwellwerten.

Abbildung 26: Lastgang sowie Laden und Entladen eines Fahrzeuges an einem Beispieltag

Eine erste Optimierung der Schwellwerte im Jahr 2020 hat bereits zu deutlich besseren Resultaten geführt, wie Abbildung 27 zeigt. Die Adaption erfolgt nun nach einem neu definierten Leistungskriterium (statt der oben erwähnten 20%/80%-Regel). Zudem wurde der Regler schneller gemacht. Neu werden die Leistungspeaks zuverlässig reduziert.

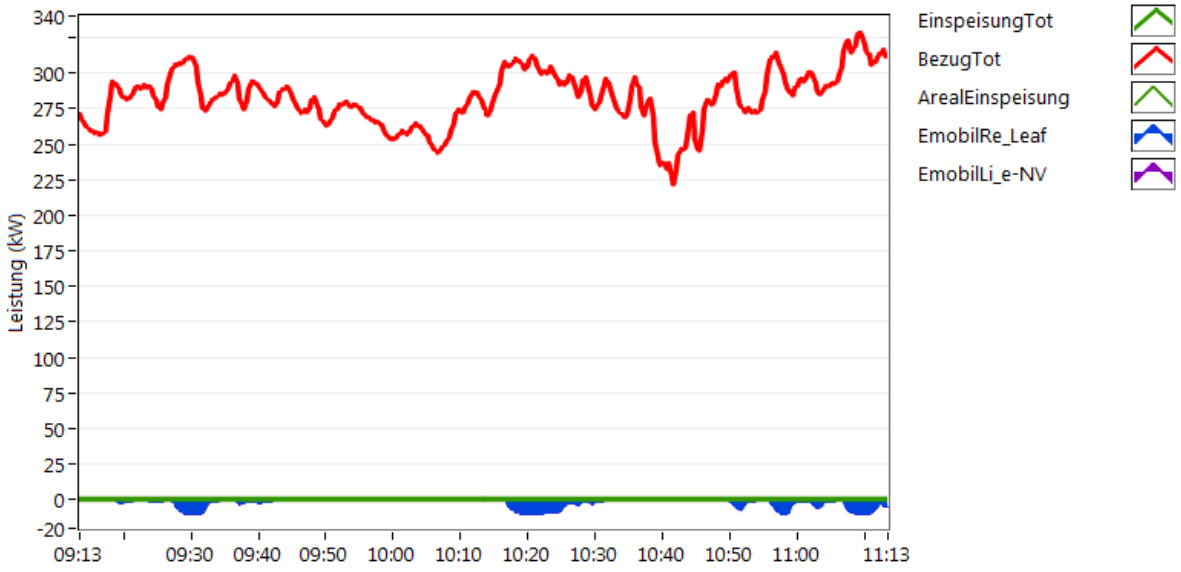


Abbildung 27: Lastgang sowie Laden und Entladen eines Fahrzeiges nach erster Optimierung

Weitere Optimierungen wurden beim Pflichtladen vorgenommen. Es wird neu nicht mehr mit einer konstanten Leistung geladen, sondern dynamisch nach Bedarf. Dabei wird die einmal berechnete obere Leistungsschwelle nicht mehr überschritten und es ist keine Erhöhung der Bezugsleistung durch Pflichtladen mehr möglich.

In Abbildung 28 ist die tägliche Lade- und Entladestatistik über einen Monat ersichtlich, d.h. die tägliche Lade- und Entlade-Energie der beiden Fahrzeuge. Es wird deutlich, dass beide Fahrzeuge massgeblich beteiligt sind am V2G.

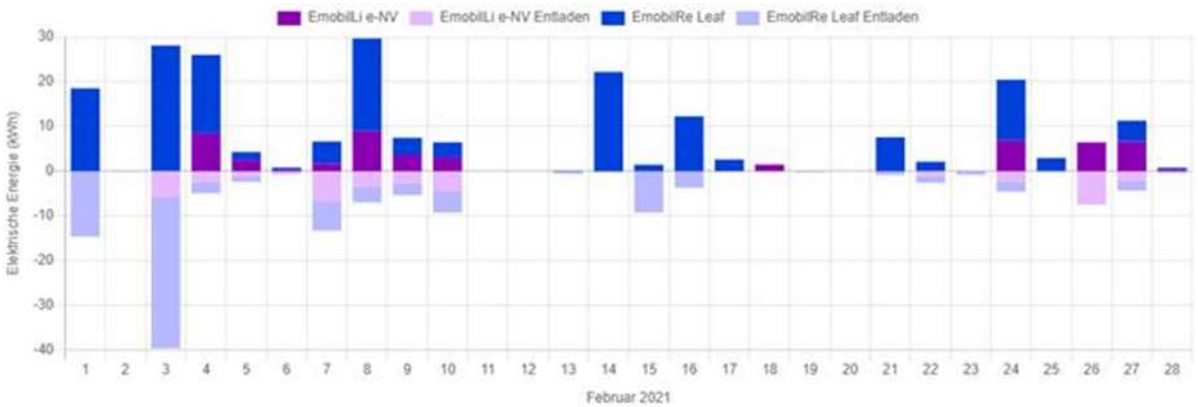


Abbildung 28: Monatsüberblick Lade- und Entladestatistik

Selbstverständlich ist die Anwesenheit der Fahrzeuge entscheidend. Abbildung 29 zeigt die mittleren täglichen Ladestände der beiden Fahrzeuge (fette Kurven) sowie die minimalen Ladestände (helle Kurven). Wie man sieht, waren an einem Tag während 24h keine Fahrzeuge eingesteckt (11. Februar, SOC = 0). In solchen Fällen kann trotz optimaler Regelung kein V2G stattfinden.

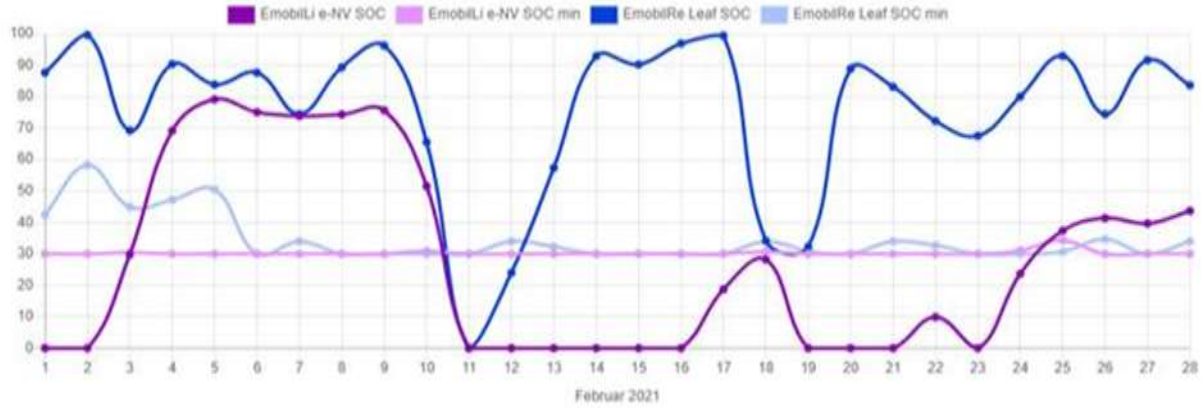


Abbildung 29: Monatsüberblick mittlere tägliche sowie minimale Ladestände beider Fahrzeuge

Obige Situation zeigt, dass eine Simulation einer grösseren Anzahl an Fahrzeugen zwingend notwendig ist, um statistische belastbare Aussagen machen zu können. Dies erfolgte in den Simulationen und Szenarien durch die zhaw.

Die Simulationen und Szenarien basieren auf der zhaw-Masterarbeit von Tim Duzkowski (vgl. Literaturverzeichnis). In dieser Arbeit wurden in zwei Szenarien zukünftige EV-Flotten für das Areal Erlenmatt Ost (AEO) und deren Einfluss auf die Lastspitzen simuliert. Das Vorgehen in der Simulation ist in Abbildung 30 dargestellt:

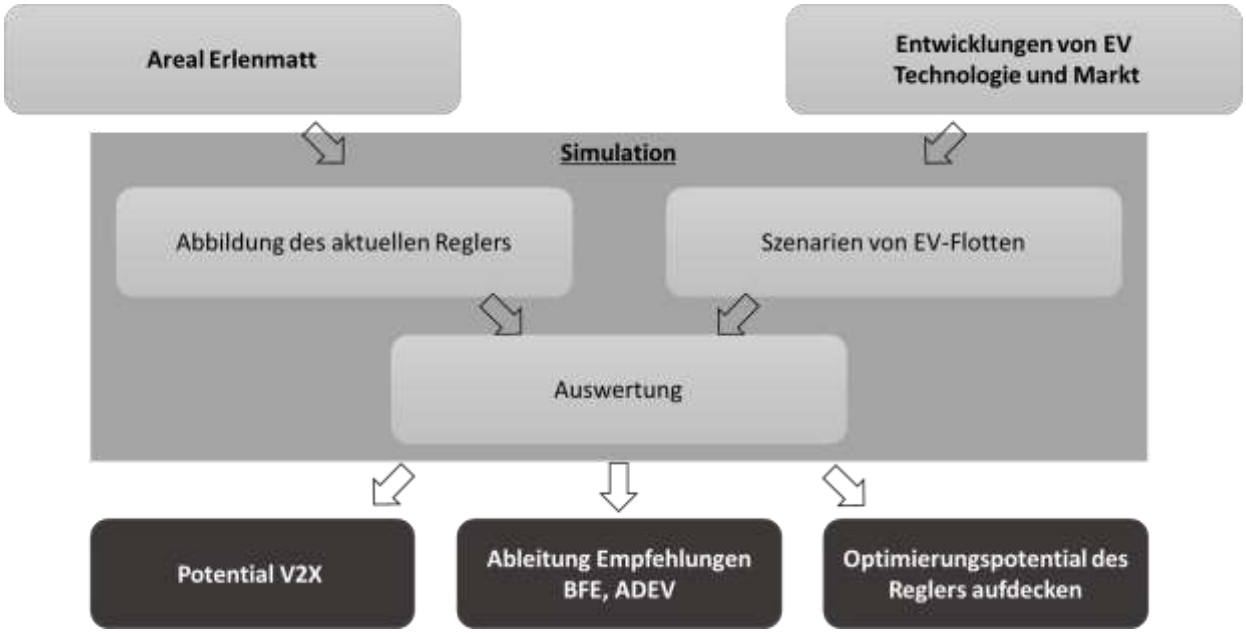


Abbildung 30: Vorgehen in der Simulation

Die Ziele bzw. Forschungsfragen der Simulation sind:

- Was sind realistische Szenarien und zukünftige Lademuster im Areal?
- Inwiefern lassen sich die Lastspitzen des Areals mit dem aktuellen Regler mit grösseren V2G-fähigen EV-Flotten reduzieren?
- Wo liegen die Potentiale, um den Regler noch effizienter zu gestalten?
- Welche Empfehlungen können durch die Simulationen für das BFE und die ADEV abgeleitet werden?

Die Energiebilanz eines Jahres ist die Grundlage der Simulation. Für die Regelung wird die V2G-Logik des Areals nachgebildet. Die Szenarien mit 29 EVs in 2030 und 58 EVs in 2040 sind aus der Mobilitätsprognose für die Schweiz von EBP abgeleitet und auf das Areal übertragen worden (siehe Tabelle 1). Die zukünftigen EV Flotten bestehen aus privaten und workplace EVs. In der Simulation wird auf diese zwei Typen eingegangen, weil diese zum Nutzermuster im Areal passen: Neben den Bewohnenden kommen einige Berufstätige auf das Areal zum Arbeiten.

Tabelle 1: Szenarien der Simulation

Typ	Szenario 1 2030	Szenario 2 2040
Private	24	47
Workplace	5	11
Gesamt	**29**	**58**

Abbildung 31 zeigt die vorläufigen Ergebnisse der Simulation. Im Vergleich der Szenarien der Flotten mit und ohne V2G wird deutlich, dass die V2G-Logik in fast allen Monaten zu einer Reduktion der Lastspitzen führt. Nur im August 2020 ergibt sich aufgrund von Pflichtladen (damalige Reglereinstellung) ein Lastpeak.
Aufgrund dieser Erkenntnisse wurden im weiteren Projektverlauf Verbesserungen des Reglers im realen System sowie in der Simulation erprobt.

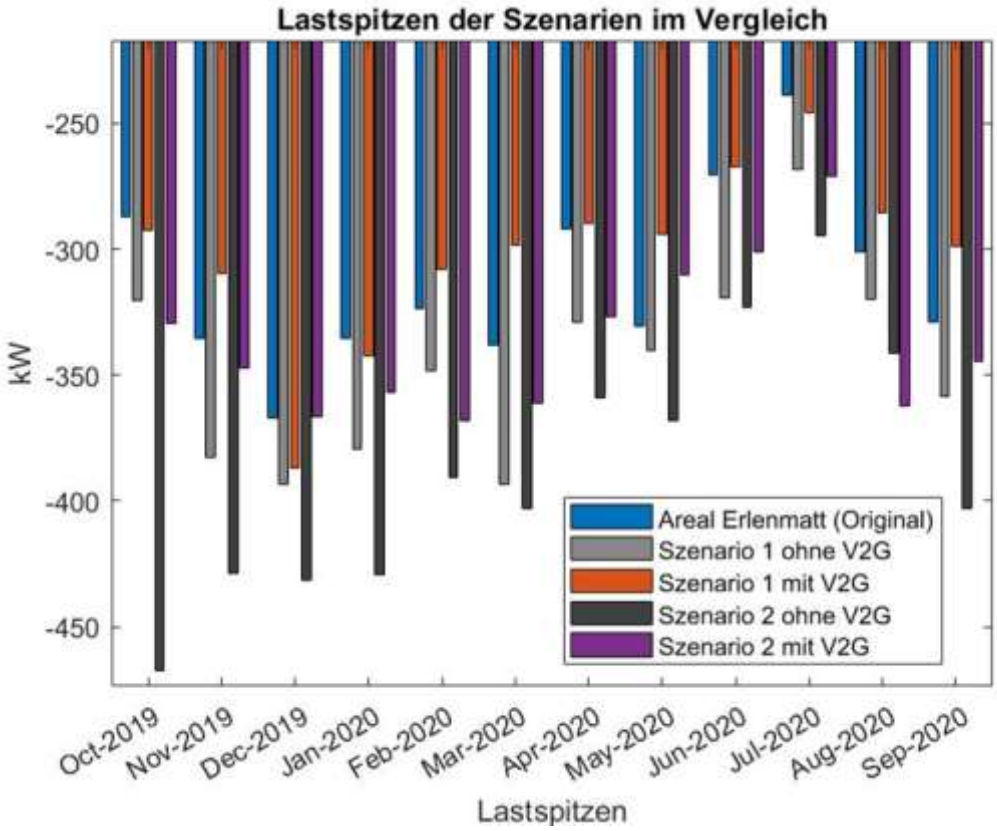


Abbildung 31: Reduzierung der Lastspitzen mit V2G

Eine weitere wichtige Projektarbeit im Jahr 2020 war das Aufgleisen der Verhaltensintervention durch die zhaw. Als Grundlage für die Entscheidung bezüglich des angestrebten Incentivierungszwecks wurde eine Analyse der Energieproduktions- und Verbrauchsdaten durchgeführt. Die Analyse bezieht sich auf einen durchschnittlichen Tag im Areal. Die optimalen Nutzungszeiten wurden so berechnet, dass die Fahrzeuge zwecks Peak-Shaving am Morgen und am Abend zur Verfügung stehen. Dadurch ergibt sich ein optimaler Nutzungszeitraum von V2G von 7 bis 12 und von 15 bis 18 Uhr (siehe Abbildung 32). In diesen Zeitfenstern werden jedoch auch die Autos im Carsharing genutzt (siehe Abbildung 33).

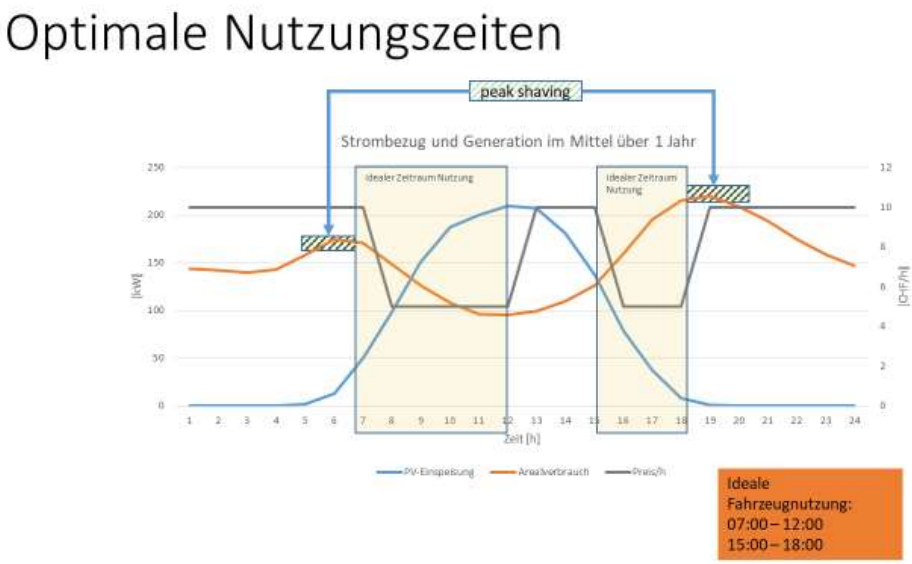


Abbildung 32: Auswertung der Arealdaten und optimale Nutzungszeiten

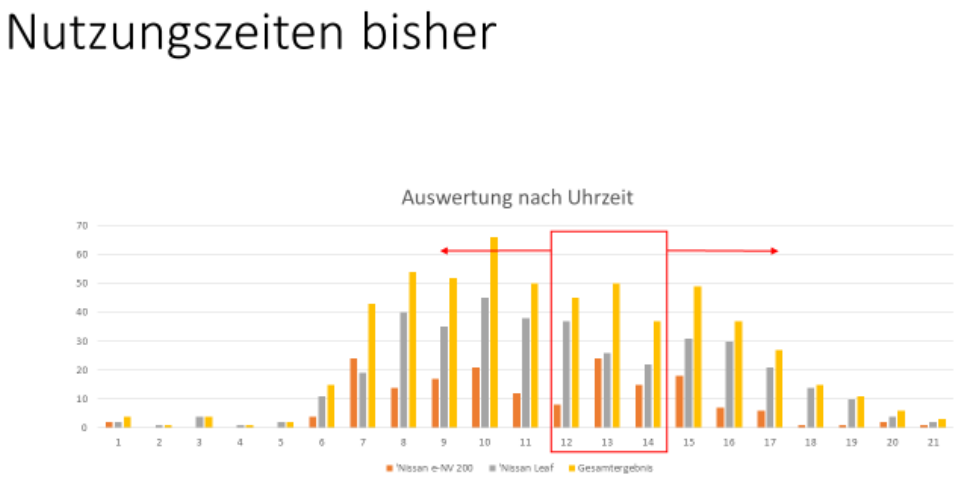


Abbildung 33: Auswertung der Buchungsplattform und bisherige Nutzungszeiten

Bezogen auf die aktuellen Nutzungszeiten impliziert die Incentivierungsstrategie, dass die Nutzungen, welche aktuell zwischen 12 und 15 Uhr stattfinden, auf die Zeit davor oder danach verschoben werden

sollen. Dies wurde mit Hilfe einer Tarifänderung im Areal real getestet (siehe Abbildung 34 für ein Beispiel).

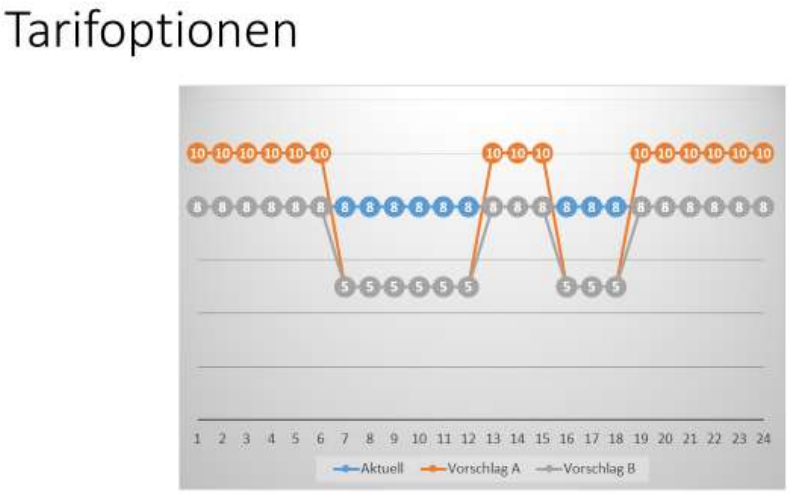


Abbildung 34: Mögliche Tarifoptionen im Areal

Der Ausgangspunkt für den Tarifänderungsvorschlag ist der Stundentarif, der aktuell bei 8 CHF/Std. liegt. Angestrebt wurde ein simpler, zweistufiger Tarif. Dazu wurden zwei Optionen geprüft:
(1) Der Hochtarif ist höher als der aktuelle Einheitstarif.
(2) Der Hochtarif bleibt gleich wie der aktuelle Einheitstarif.

Die erste Option ist zwar mit einem stärkeren Anreiz verbunden, die Nutzungszeit zu verschieben, bedeutet jedoch eine de facto Verteuerung für die weniger flexiblen Nutzenden. Für die zweite Option gilt genau das Gegenteil: Sie bestraft zwar die weniger flexiblen Nutzenden nicht, ist jedoch mit einem schwächeren Anreiz verbunden, die Nutzungszeit zu verschieben. Die aktuelle Tarifhöhe ist so gewählt worden, dass das Carsharing-Angebot konkurrenzfähig ist. Bei der Verhaltensintervention wurde zudem eine Umsetzung angestrebt, die keine massgeblichen Eingriffe in die Buchungs-App erfordert.

Die Umsetzung der Tarifanpassung wurde ursprünglich für den Zeitraum Mitte Juni bis Ende September 2021 geplant (siehe Abbildung 35). Sie wurde eingeleitet durch eine Kommunikationskampagne, die im Zeitraum Mitte Mai bis Mitte Juni stattfand. Im Anschluss an die Tarifanpassung wurden die Nutzenden anhand ihrer Nutzungszeiten vergütet und es wurde eine Online-Befragung durchgeführt. Im Fokus der Online-Befragung standen die persönlichen Faktoren, die einen Einfluss auf die Nutzungszeiten gehabt haben könnten zusätzlich zu einem allfälligen Effekt der Tarifänderung.

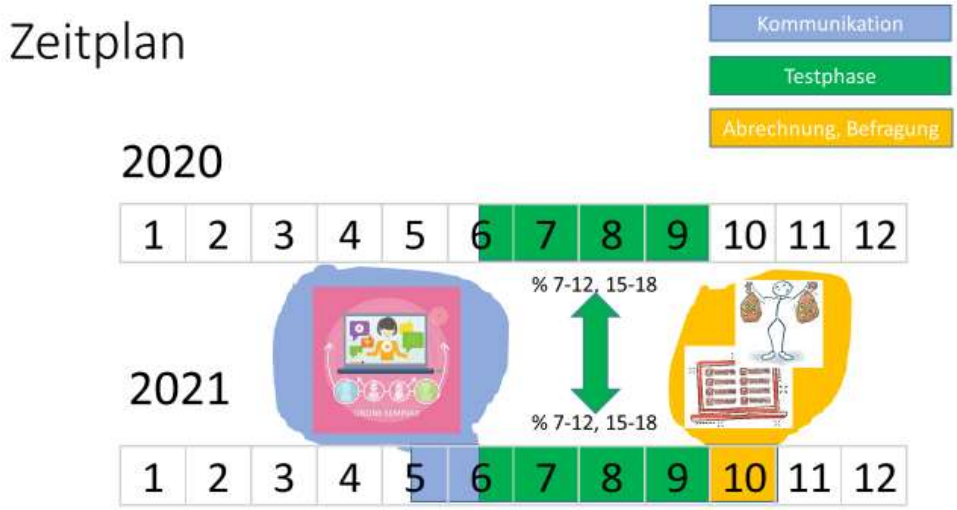


Abbildung 35: Zeitplan für die Verhaltensintervention im Jahr 2021

Zusammenfassend lassen sich der Erkenntnisgewinn und die Ergebnisse des zweiten Projektjahres wie folgt festhalten:

Im Projektjahr 2020 konnten somit die geplanten Arbeiten trotz der Pandemie und den damit verbundenen Einschränkungen fast planmässig umgesetzt werden. Lediglich die Verhaltensintervention verzögerte sich um mehrere Monate, so dass sich der Projektabschluss um 3 Monate von 12/2021 auf 3/2022 verschob.

Konkret wurde im Pandemiejahr 2020 die Mobilität in der Schweiz stark eingeschränkt, was sich naturgemäss auch auf die Mobilität der Bewohnenden im Areal Erlenmatt Ost auswirkte und daher die geplante Verhaltensintervention verunmöglichte. Bis Ende 2020 konnte daher die Verhaltensintervention nicht wie geplant abgeschlossen werden, sondern wurde auf Juni bis September 2021 verschoben.
Die Erkenntnisse und Ergebnisse des Jahres 2020 lassen sich wie folgt zusamenfassen:

Planmässig erfolgte die kontinuierliche Auswertung der Daten, insbesondere die Lade- und Entladestatistik, die mittleren täglichen Ladestände der Fahrzeuge sowie die Bilanz des gesamten Areals als tägliche Summen von Netzbezug und Einspeisung. Auch die weitere Optimierung zum Brechen der Lastspitzen erfolgte wie geplant. Es konnte gezeigt werden, dass das Peakshaving durch den smarten Energiemanager technisch gut funktioniert. Allerdings ist die absolute Reduktion der geglätteten Leistungsspitzen klein und damit der finanzielle Anreiz noch gering. Beispielsweise wurde im März 2021 der maximale Peak-Bezug über den gesamten Monat mit einem Fahrzeug um 5 kW reduziert (von 355 auf 350 kW), wobei das zweite Fahrzeug über längere Zeit abwesend war.

Ein praktisches Problem stellt das Einsteckverhalten der Nutzenden dar. So zeigte sich, dass die Fahrzeuge teilweise während 24 Stunden oder sogar mehreren Tagen vor Ort waren, aber nicht

eingesteckt wurden. Teilweise betraf dies bedauerlicherweise Zeiten, in denen die Fahrzeuge zum Peakshaving hätten genutzt werden können. Ob und mit welchen Mitteln das Einsteckverhalten verbessert werden kann, ist eine Aufgabe, die im Jahr 2021 genauer – unter anderem mit der Verhaltensintervention – angeschaut wird.

Die Optimierung des Areal-Lastgangs beinhaltet neben der technischen Herausforderung auch eine finanzielle Seite, die durch die tarifliche Situation vorgegeben wird: Der finanzielle Anreiz für ein einmaliges, monatliches Peakshaving ist gering - die Projekt-Software könnte jedoch täglich den Peak brechen. Obwohl das netzdienlich wäre, wird dies vom Energieversorgungsunternehmen jedoch nicht belohnt.

Die Masterarbeit zum Lastverschiebungspotential von Elektromobilen auf Basis der Erkenntnisse aus dem Projekt sowie der Daten des Areals wurde wie geplant verfasst. Die Haupterkenntnis aus den Simulationen ist, dass gemäss der aktuellen V2G-Logik eine Reduktion der Lastspitzen auf dem Areal in fast allen Monaten möglich ist, falls eine grössere Flotte von bidirektionalen EVs im Areal betrieben würde.

Ein Highlight der Öffentlichkeitsarbeit zum Projekt war die Auszeichnung des Projektes durch die Arbeitsgemeinschaft Energie Binningen (AEB). Sie verlieh den Energiepreis Binningen 2020 an die Stiftung Habitat in Basel und an die ADEV Energiegenossenschaft in Liestal für die innovative Energielösung auf dem Areal Erlenmatt Ost in Basel. In der Laudatio heisst es u.a. «In dem zukunftsgerichteten Mobilitätskonzept mit zwei Elektromobilen, die neu auch Strom speichern und zurückspeisen können, wird Pionierarbeit geleistet, die in einem Forschungsprojekt in Kooperation mit der Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften (ZHAW), novatlantis und dem Amt für Umwelt und Energie in Basel begleitet wird.» Die feierliche Übergabe der Urkunde fand im kleinen Rahmen im Juni 2020 im neu umgebauten Silogebäude auf Erlenmatt Ost statt. Die ursprünglich geplante Übergabe im Rahmen des Energieapéros am 13. Mai 2020 in Binningen musste coronabedingt verschoben werden. Ein Referat von Anna Roschewitz wurde für den Mai 2021 terminiert.

3.2.3 Arbeiten und Erkenntnisse im dritten Projektjahr

Im dritten und letzten Projektjahr, das sich Pandemie-bedingt um 3 Monate verlängerte, lagen die Schwerpunkte der Arbeiten auf der Verhaltensintervention und der kontinuierlichen Auswertung der Daten. Es fand ein online Projekt-Meeting mit Luca Castglioni am 4.2.2021 statt.
Konkret wurde die Mobilität in der Schweiz stark eingeschränkt, was sich naturgemäss auch auf die Mobilität der Bewohnenden im Areal Erlenmatt Ost auswirkte und daher die geplante Verhaltensintervention verunmöglichte. Bis Ende 2020 konnte daher die Verhaltensintervention nicht wie geplant abgeschlossen werden, sondern wurde auf Juli bis September 2021 verschoben. Dies war die grösste Anpassung im Gesamtprojekt. Zuerst war geplant, die Verhaltensintervention von Mitte Juni 2021 laufen zu lassen (Abbildung 35). Der Beginn wurde jedoch aufgrund der quartalsweisen Abrechnung der Nutzungsgebühren auf Anfang Juli verschoben.

Die Grundidee der Verhaltensintervention war herauszufinden, inwiefern sich die Nutzungszeiten des E-Carsharings zugunsten eines optimalen Energiemanagements, insbesondere zum Zwecke des Peak-Shavings am Abend, beeinflussen lassen. Zu diesem Zwecke wurden zuerst drei Interviews mit den Nutzenden des E-Carsharings durchgeführt, um die Perspektive der Nutzenden besser zu verstehen. Darauffolgend wurde eine zeitlich befristete Intervention entwickelt und durchgeführt. Der

Interventionseffekt wurde im Anschluss an die Intervention anhand der Buchungsdaten gemessen. Nach der Intervention wurde ebenfalls eine Online-Umfrage durchgeführt, welche als Ziel hatte, die dem Interventionseffekt zugrundeliegenden Mechanismen besser zu verstehen.

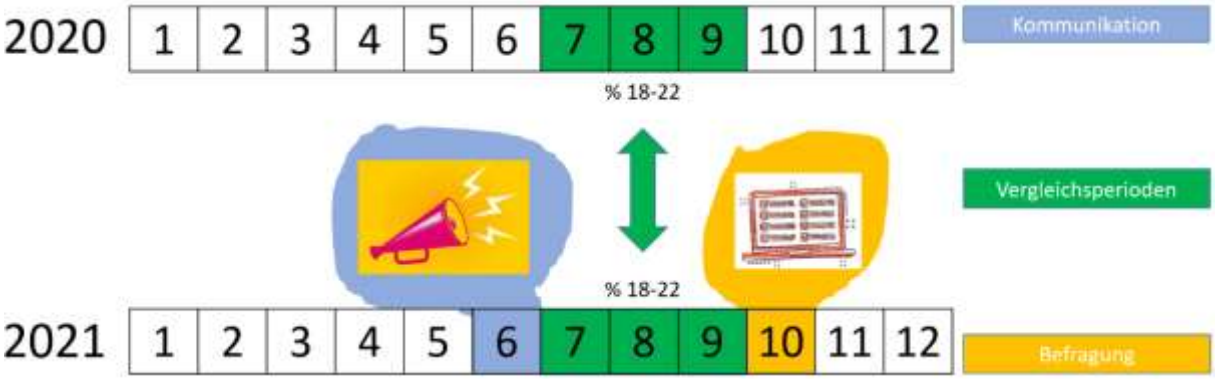


Abbildung 36: Zeitplan der Intervention und deren Begleitung

Bei der Intervention, die im Areal Erlenmatt-Ost durchgeführt wurde, um eine zeitliche Verschiebung der Nutzung von E-Carsharing-Fahrzeugen im Sinne eines Energiemanagements mit Einbezug der V2G-Technologie herbeizuführen, handelte es sich um einen zeitlich befristeten zweiteiligen Tarif. Wie aus der Abbildung 15 ersichtlich, befindet sich die Lastspitze am Abend im Zeitraum zwischen 20 und 22 Uhr, jedoch gibt es auch eine Lastspitze um 8:00 Uhr am Morgen. Zuerst war geplant während beider Lastspitzen und mittags zwischen 12:00 und 15:00 Uhr ein Hochtarif einzuführen (siehe Abbildung 34). Der Hochtarif zur Mittagszeit sollte dazu dienen, dass die Fahrzeuge mit Solarstromüberschüssen geladen werden können. Das hätte bedeutet, dass nur zwischen 7:00 und 12:00 Uhr und 15:00 und 18:00 Uhr ein Niedertarif eingeführt wäre (Abbildung 35). Nach den Auswertungen der Lastspitzen vom Jahr 2020 wurde aufgrund der Komplexität von mehr als einem Hochtarif pro Tag beschlossen, den Fokus auf die grösste Lastspitze zu legen (die Lastspitze am Abend). Damit genügend Zeit zum Aufladen der Fahrzeuge zur Verfügung steht, wurde der Beginn des Hochtarifzeitfensters 2 Stunden vor der Lastspitze am Abend (20-22 Uhr) festgelegt. Der Hochtarif wurde also im Zeitfenster 18 bis 22 Uhr eingeführt, während der Niedertarif im Zeitfenster 22 bis 18 Uhr zur Anwendung kam. Der ursprünglich einheitliche Stundentarif von 8 CHF wurde im Hochtarif auf 16 CHF erhöht und im Niedertarif auf 0 CHF gesenkt. Damit wurde der Stundentarif drastischer angepasst als ursprünglich geplant (Abbildung 34), das Ziel dabei war, starke Anreize zu schaffen für eine Nutzung ausserhalb des Hochtarifs. Der Kilometertarif blieb dabei unverändert.
Die Intervention wurde im dritten Quartal 2021 durchgeführt. Der Interventionseffekt wurde, wie in der Abbildung 36 dargestellt, mittels eines Vorher-Nachher-Vergleichs mit den Buchungsdaten aus dem 3. Quartal 2020 gemessen. Die Kommunikation fand im Juni 2021 statt über die Webseite, E-Mails, Flyers im Briefkasten und in den E-Carsharing-Autos sowie Plakate (siehe Anhang 2, Abbildung 69) an mehreren Stellen auf dem Arealgelände. Nach Abschluss der Intervention wurde eine Online-Umfrage mit den Nutzenden des E-Carsharings durchgeführt, um das Nutzungsverhalten während der Intervention sowie die Wahrnehmung der Intervention durch die Nutzenden besser zu verstehen. Planmässig erfolgte die kontinuierliche Auswertung der Daten, insbesondere die Lade- und Entladestatistik, die mittleren täglichen Ladestände der Fahrzeuge sowie die Bilanz des gesamten Areals als tägliche Summen von Netzbezug und Einspeisung. Auch die weitere Optimierung zum Brechen der Lastspitzen erfolgte wie geplant. Es konnte gezeigt werden, dass das Peakshaving durch

den smarten Energiemanager technisch gut funktioniert. Allerdings ist die absolute Reduktion der geglätteten Leistungsspitzen klein und damit der finanzielle Anreiz noch gering. Beispielsweise wurde im März 2021 der maximale Peak-Bezug über den gesamten Monat mit einem Fahrzeug um 5 kW reduziert (von 355 auf 350 kW), wobei das zweite Fahrzeug über längere Zeit abwesend war.

Ein praktisches Problem stellt das Einsteckverhalten der Nutzenden dar. So zeigte sich, dass die Fahrzeuge teilweise während 24 Stunden oder sogar mehreren Tagen vor Ort waren, aber nicht eingesteckt wurden. Teilweise betraf dies bedauerlicherweise Zeiten, in denen die Fahrzeuge zum Peakshaving hätten genutzt werden können. Ob und mit welchen Mitteln das Einsteckverhalten verbessert werden kann, ist eine Aufgabe, die im Jahr 2021 genauer – unter anderem mit der Verhaltensintervention – angeschaut wird.

Die Optimierung des Areal-Lastgangs beinhaltet neben der technischen Herausforderung auch eine finanzielle Seite, die durch die tarifliche Situation vorgegeben wird: Der finanzielle Anreiz für ein einmaliges, monatliches Peakshaving ist gering - die Projekt-Software könnte jedoch täglich den Peak brechen. Obwohl das netzdienlich wäre, wird dies vom Energieversorgungsunternehmen jedoch nicht belohnt.

Die Masterarbeit zum Lastverschiebungspotential von Elektromobilen auf Basis der Erkenntnisse aus dem Projekt sowie der Daten des Areals wurde wie geplant verfasst. Die Haupterkenntnis aus den Simulationen ist, dass gemäss der aktuellen V2G-Logik eine Reduktion der Lastspitzen auf dem Areal in fast allen Monaten möglich ist, falls eine grössere Flotte von bidirektionalen EVs im Areal betrieben würde.

Ein Highlight der Öffentlichkeitsarbeit zum Projekt war die Auszeichnung des Projektes durch die Arbeitsgemeinschaft Energie Binningen (AEB). Sie verlieh den Energiepreis Binningen 2020 an die Stiftung Habitat in Basel und an die ADEV Energiegenossenschaft in Liestal für die innovative Energielösung auf dem Areal Erlenmatt Ost in Basel. In der Laudatio heisst es u.a. «In dem zukunftsgerichteten Mobilitätskonzept mit zwei Elektromobilen, die neu auch Strom speichern und zurückspeisen können, wird Pionierarbeit geleistet, die in einem Forschungsprojekt in Kooperation mit der Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften (ZHAW), novatlantis und dem Amt für Umwelt und Energie in Basel begleitet wird.» Die feierliche Übergabe der Urkunde fand im kleinen Rahmen im Juni 2020 im neu umgebauten Silogebäude auf Erlenmatt Ost statt. Die ursprünglich geplante Übergabe im Rahmen des Energieapéros am 13. Mai 2020 in Binningen musste coronabedingt verschoben werden. Das Referat von Anna Roschewitz fand im Mai 2021 statt.

Der Erkenntnisgewinn und die Ergebnisse des dritten Projektjahres sind im Detail eingeflossen in Kapitel 4 «Ergebnisse und Diskussion».

4 Ergebnisse und Diskussion

Im vorgehenden Kapitel 3 ist der Ablauf der Projektarbeiten in den gut 3 Jahren Laufzeit beschrieben. Dabei wurde ausführlich auf den jeweiligen Erkennnisgewinn und die provisorischen Ergebnisse des jeweiligen Jahres eingegangen. Dies, weil der gesamte **Prozess** im Sinne des Wissens- und Technologietransfers auch für externe Interessierte von Bedeutung ist.
Das folgende Kapitel 4 fokussiert auf die **Ergebnisse** und Diskussion derselben. Dieses Kapitel ist angesichts der Ausführungen in Kapitel 3 bezüglich der Ergebnisse eher kompakt gehalten.

4.1 Die Umsetzung im Areal

Die Umsetzung des E-Carsharing mit Sektorkopplung im Areal Erlenmatt Ost ist in Kap. 2.3- ausführlich beschrieben. Bei den Ergebnissen ist zu bedenken, dass das Forschungsprojekt in einem sich im Bau befindlichen Areal umgesetzt wurde. Die Eigenverbrauchsgemeinschaft (EVG) der ADEV bestand bei Projektbeginn bereits und wurde mit jedem neu erstellten Baufeld erweitert. Neu im Rahmen des Projektes wurde die EVG technisch ergänzt durch die beiden bidirektionalen E-Mietautos für die (wachsende) Bewohnerschaft und organisatorisch durch die DEV als Mobilitätsanbieterin.
Die Optimierung des Eigenverbrauchs trat im Projekt in den Hintergrund. Dies, da insbesondere in den Wintermonaten ein grosser Lastüberhang vorhanden ist. Aus diesem Grund wurde der Regelalgorithmus dermassen optimiert, dass in den Tieflastphasen geladen und in den Hochlastphasen entladen wird. Der primäre Fokus des Regelalgorithmus war daher die Brechung der Bezugs-Lastspitzen. Dies wird vertieft in Kapitel Abschnitt 4.2 beschrieben und ausgewertet.

4.2 Brechen von Lastspitzen im realen System

Folgend werden die Resultate der Lastspitzenbrechung im realen System im Areal Erlenmatt Ost mit zwei Fahrzeugen dargestellt. Tabelle 2 zeigt die monatlichen und jährlichen Lastspitzenreduktionen in kW (Kilowatt) in der untersuchten Zeitperiode von Anfangs Februar 2021 bis Ende Januar 2022. Im gelb hinterlegten Feld (rechts in Tabelle 2) sind die erreichten Lastspitzenreduktionen im heute üblichen 15-Minuten-Intervall aufgezeigt. Dazu wurde auch der heute gültige Leistungstarif von CHF 8.51 pro kW und Monat hinterlegt. Die erreichten monatlichen Kostenreduktionen schwanken je nach tatsächlicher Spitzenlastreduktion zwischen 0 und 80 CHF. Die jährliche Kostenreduktion beläuft sich auf CHF 443. Dieser Betrag ist im Verhältnis zu den zusätzlichen Investitionskosten für die beiden bidirektionalen Ladeboxen unter heutigen Bedingungen (je ca. CHF 10'000.-) äusserst gering und es würde sich eine Amortisationszeit von ca. 45 Jahren ergeben.

Tabelle 2: Resultate der Lastspitzenreduktion für das Jahr 2021 (Schwarze Line: Benutzer-Intervention)

	Fiktiver 1-Minuten-Tagestarif Zukunft			Fiktiver 15-Minuten-Tagestarif Zukunft			Realer 15-Minuten-Monatstarif heute		
	kW Reduktion	Tages-Tarif	CHF Reduktion	kW Reduktion	Tages-Tarif	CHF Reduktion	kW Reduktion	Monats-Tarif	CHF Reduktion
Monat	1' Tagesspitze	CHF/kW	15' Tagesspitze	15' Tagesspitze	CHF/kW	15' Tagesspitze	15' Monatsspitze	CHF/kW	15' Monatsspitze
Feb 21	168.5	1.00	168.50	131.9	1.00	131.88	0.0	8.51	0.00
Mär 21	144.9	1.00	144.92	92.7	1.00	92.74	4.7	8.51	40.11
Apr 21	75.2	1.00	75.21	56.8	1.00	56.78	0.0	8.51	0.00
Mai 21	116.5	1.00	116.53	71.3	1.00	71.26	4.6	8.51	39.45
Jun 21	136.4	1.00	136.37	94.4	1.00	94.38	1.7	8.51	14.67
Jul 21	77.3	1.00	77.26	65.0	1.00	65.02	0.0	8.51	0.00
Aug 21	252.5	1.00	252.49	171.8	1.00	171.75	6.3	8.51	53.30
Sep 21	249.1	1.00	249.11	154.1	1.00	154.14	5.2	8.51	44.06
Okt 21	213.2	1.00	213.22	125.7	1.00	125.71	8.7	8.51	73.72
Nov 21	271.2	1.00	271.24	177.2	1.00	177.16	3.5	8.51	29.81
Dez 21	223.5	1.00	223.54	184.2	1.00	184.16	8.1	8.51	68.56
Jan 22	260.1	1.00	260.12	235.3	1.00	235.29	9.4	8.51	79.85
Summe	**2188.5**		**2188.51**	**1560.3**		**1560.26**	**52.1**		**443.52**

Als Vergleich wurden zwei weitere Szenarien untersucht. Im dunkelblau hinterlegten Feld (Mitte in Tabelle 2) wurde eine tägliche Lastspitzenreduktion untersucht, ebenfalls mit einem Intervall von 15 Minuten. Hier wurde also das Potential der Regelalgorithmen besser ausgenutzt, welche effektiv eine tägliche Lastspitzenreduktion vornehmen können, nicht nur eine monatliche. In der Tabelle 2 wurde ein fiktiver Tarif von CHF 1 pro kW und Tag hinterlegt. Damit wären deutlich höhere monatliche Einsparungen von CHF 56 bis CHF 235 möglich und eine jährliche Einsparung von CHF 1’560. Mit heutigen Zusatzkosten für die beiden bidirektionalen Ladeboxen von CHF 20'000 würde sich eine Amortisationszeit von ca. 13 Jahren ergeben.

Im weiteren Szenario wurde im hellblau hinterlegten Feld (links in Tabelle 2) ebenfalls eine tägliche Lastspitzenreduktion untersucht, jedoch mit einem Intervall von 1 Minute. Hier wurde also das Potential der Regelalgorithmen noch besser ausgenutzt, welche effektiv eine Lastspitzenreduktion im Minutenbereich vornehmen können, nicht nur im 15-Minuten-Bereich. Mit einem fiktiven Tarif von CHF 1 pro kW und Tag wären monatliche Einsparungen von CHF 75 bis CHF 260 möglich und eine jährliche Einsparung von CHF 2’188. Mit heutigen Zusatzkosten für die beiden bidirektionalen Ladeboxen von CHF 20'000 würde sich eine Amortisationszeit von ca. 9 Jahren ergeben.
Es ist anzunehmen, dass die Preise für bidirektionale Ladeboxen in naher Zukunft stark sinken werden. Technologisch sind solche Ladeboxen verwandt mit Wechselrichtern aus dem PV-Bereich, welche in wesentlich höheren Stückzahlen gefertigt werden. Rechnet man mit zusätzlichen Investitionskosten von CHF 2’000 pro Ladebox bzw. CHF 4'000 für die zwei Ladeboxen im Projekt, würden sich die Amortisationszeiten auf ca. 9 Jahre für den heutigen Tarif (gelb hinterlegt), ca. 2.5 Jahre für einen fiktiven Tagestarif mit 15-Minuten-Intervall (dunkelblau) und ca. 1.8 Jahre für einen fiktiven Tagestarif mit 1-Minuten-Intervall (hellblau) ergeben. Wie man sieht, sind in Zukunft sehr kurze Amortisationszeiten möglich, wenn das Anreizsystem entsprechend angepasst wird und die Investitionskosten sinken.

Die grösste Problematik im realen System war die effektive Anwesenheit der beiden Fahrzeuge. Bei den in Tabelle 2 rot hinterlegten Zahlen waren die Fahrzeuge zum Zeitpunkt der Spitzenlast nicht anwesend, weshalb der Regler auch keine Reduktion vornehmen konnte (Reduktion 0 kW). Dies hat sich nach der Benutzer-Intervention deutlich geändert (schwarze Linie). Dabei wurden die Benutzer nochmals klar instruiert, dass sie die Fahrzeuge immer einstecken müssen. Auch der tarifliche Anreiz hat dazu geführt, dass die Fahrzeuge zu den Hochlastzeiten anwesend waren.
Abbildung 37 zeigt die mittleren Ladestände für jeden Monat im Jahr 2021 und auch die Anwesenheit der EVs. Ein Ladestand von 0 bedeutet, dass das entsprechende Fahrzeug nicht anwesend bzw. nicht eingesteckt war. Dies galt z.B. für den Nissan e-NV, welcher in den Monaten Mai und Juni in der Werkstatt war und daher nich tzur Verfügung stand. Auch in den übrigen Monaten stand dieses Fahrzeug wesentlich weniger zur Verfügung.

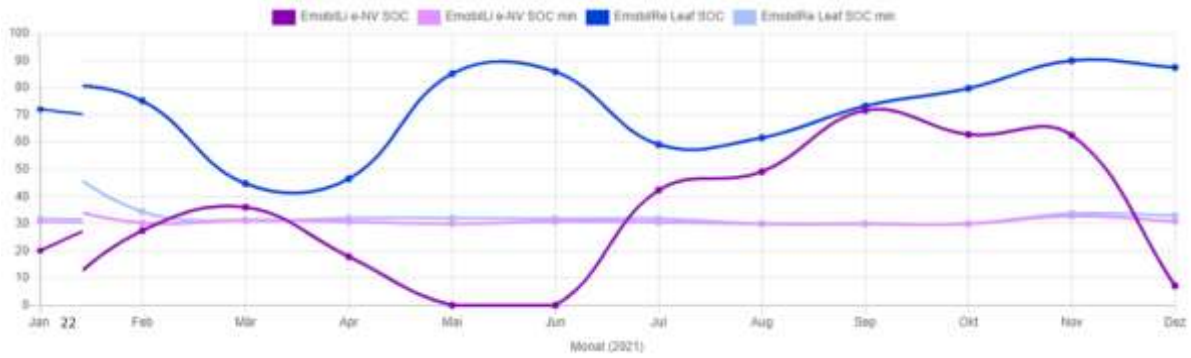


Abbildung 37: Mittlerer monatliche Ladestände (SOC) der Fahrzeuge im Jahr 2021

Legende: SOC = State of Charge, SOC min = minimaler State of Charge, e-NV = Nissan Evalia und e-Nv Leaf = Nissan Leaf. Der Januar 22 ist links überlagert dargestellt, die restlichen Monate entsprechen dem Jahr 2021.

Die positive Wirkung der Intervention ist in Abbildung 37 deutlich erkennbar ab den Monaten Juli/August 2021. Die hellen Kurven zeigen den minimalen Ladestand, welcher von der Software vorgegeben wurde (es wurden 30% SOC konfiguriert). Falls anwesend, wurden die Fahrzeuge auf diesen minimalen SOC geladen, um jederzeit eine minimale Reichweite zu haben.

Die effektiven monatlichen Lade- und Entladeenergien sind in Abbildung 38 dargestellt. Demnach wurden die Fahrzeuge vor allem in den Wintermonaten stark genutzt für die Spitzenlastreduktion. Die Ladeenergien sind höher als die Entladeenergien, weil die Fahrzeuge genutzt wurden. Ein kleiner Anteil ist auch auf die Verluste in den Batterien zurückzuführen. Auch hier ist ersichtlich, dass in den Monaten Mai und Juni nur ein Fahrzeug anwesend war. Die Wirkung der Intervention ist hier ebenfalls ersichtlich (ab den Monaten Juli/August).

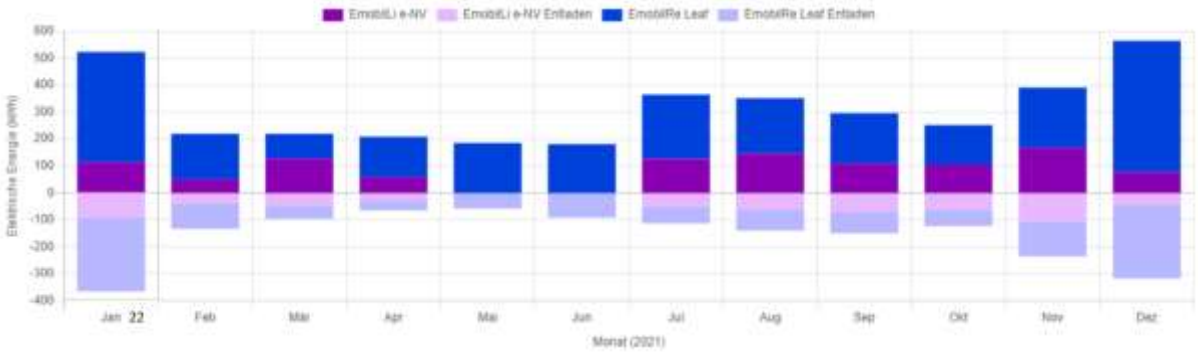


Abbildung 38: Monatliche Lade- und Entladeenergien in Kilowattstunden (kWh).

Legende: Ladeenergien positiv (nach oben), Entladeenergien negativ (nach unten). e-NV = Nissan Evalia und e-Nv Leaf = Nissan Leaf. Der Januar 22 ist links überlagert dargestellt, die restlichen Monate entsprechen dem Jahr 2021.

4.3 Simulationen und Szenarien

In Zukunft kann mit einer grösseren EV-Flotte im Areal gerechnet werden und zudem verändern sich die Ladeleistung der Ladestationen und die Batteriekapazität der EVs. Neben dem Realsystem mit zwei E-Autos wurden daher verschiedene EV-Flotten in 4 Szenarien simuliert und die Auswirkungen auf Lastspitzen und Strombezugskosten bzw. Gesamtkosten des Arealbetreibers analysiert.

Dazu wurde in dem Programm Matlab eine umfangreiche Simulationsumgebung aufgebaut. D.h. der existierende Regler wurde in einem ersten Schritt in seiner Funktionsweise nachgebaut und mit den Lastgängen des Areals und den zwei EVs im Carsharing-Setting simuliert. In einem zweiten Schritt wurden Szenarien und Parameter entwickelt und mit dem existierenden Regler simuliert. Da der existierende Regler nicht auf das Laden von grossen EV Flotten ausgelegt ist (grosse EV Flotten führen durch ungesteuertes Laden zu neuen Lastspitzen), wurde anhand der Erkenntnisse dieser Simulation ein neuer Regler (Iteration1) entwickelt[1] und anschliessend für alle folgenden Simulationen und Szenarien angewendet. Im folgenden Abschnitt werden die Szenarien und Parameter kurz eingeführt und anschliessend die Ergebnisse der Simulationen dargestellt.

4.3.1 Szenarien und Parameter

Die simulierte EV-Flotten bestehen aus unterschiedlich vielen Fahrzeugen und decken unterschiedliche Leistungsmerkmale ab. Das «Business As Usual» (BAU) Szenario dient als Ausgangspunkt. Die anderen Szenarien variieren bezüglich Ladeleistung sowie Batteriekapazität.

Tabelle 3: Leistungsmerkmale der Szenarien

Variable	2 Carsharing EVs	BAU	BAU +Batterie	BAU +Leistung	Long-Term
Lademodus	V2X	V2X	V2X	V2X	V2X
Batterie-kapazität [kWh]	40	40	80	40	80
Lade-leistung [kW]	-10 bis 10	-20 bis 20	-20 bis 20	-50 bis 50	-50 bis 50

[1] Die Schritte und Erkenntnisse aus der Reglerentwicklung sind in Kapitel 4.2 dargestellt.

Zusätzlich zu den Leistungsmerkmalen werden Flotten verschiedener Grössen simuliert. Die Flotten bestehen immer aus dem gleichen Verhältnis von *Private* und *Workplace* EVs. Dabei entsprechen 59 EVs dem Anteil an EVs, welche in einer Mobilitätsprognose (EBP 2018) – umgerechnet auf die ca. 750 Bewohnenden das Areals Erlenmatt Ost – für das Jahr 2040 prognostiziert wurde.

Tabelle 4: Flottengrössen

Flottengrösse gesamt	Anz. Private	Anz. Workplace
15	12	3
29	24	5
59	48	11

Bei der Entwicklung in Richtung einer Flotte mit 59 EVs werden zunächste kleinere Flotten auf dem Areal bestehen. In den Szenarien wurden die Flotten mit 15 und 29 EVs so gewählt, dass sich die Flotte jedes Mal verdoppelt, bis die 59 EVs erreicht sind.

Des Weiteren sind die Strombezugskosten aus der Sicht eines Arealbetreibers relevant für die Simulation. In der Betrachtung der Kosten werden die Strombezugskosten auf Netzebene 5 sowie Verdienst und Kosten durch das Laden und Entladen der EVs berücksichtigt, jedoch nicht die Kosten für die Installation und Instandhaltung von Infrastruktur. Für die ADEV fallen die Strombezugskosten auf Netzebene 5 an, die alle monatlich abgerechnet werden. Diese setzen sich aus dem Leistungstarif (angewendet auf die Monatslastspitze), Normaltarif, Spartarif und der Einspeisevergütung zusammen.

Tabelle 5: Strombezugskosten

Kostenart	Anwendung	Preis
Leistungstarif	Monatlich auf die Monatslastspitze in kW	8,51 CHF/kW
Normaltarif	Mo – Fr 06:00 bis 20:00 Uhr monatlich pro kWh	0,14 CHF/kWh
Spartarif	20:01 bis 05:59 Uhr immer sowie Sa und So ganztägig monatlich pro kWh	0,10 CHF/kWh
Einspeisevergütung	Monatlich pro kWh:	0,14 CHF/kWh bei Einspeisepeak kleiner 100 kW 0,11 CHF/kWh bei Einspeisepeak größer 100 kW

Der höhere Leistungstarif von 8,51 CHF/kW leistet den Anreiz, die monatlichen Lastspitzen zu reduzieren. Es ist zudem günstiger, die EVs nachts zu laden als tagsüber - es sei denn, der PV-Stromüberschuss wird genutzt.

Die EVs, welche in den Simulationen auf dem Areal laden, bringen einen zusätzlichen Energiebedarf mit. Selbst wenn neue Lastspitzen vermieden werden, steigt der Energiebedarf, der über den Normal- und Spartarif Kosten entstehen lässt. In der Praxis dürften die EVs nicht gratis laden, weshalb auch hierfür ein Tarif gewählt wurde. Dieser Tarif ist für alle EVs zu jeder Zeit gleich.

Für jede kWh, die das EV lädt, verdient die ADEV gemäss dieser Simulation 0,265 CHF/kWh. Wenn die EVs aufgrund des Reglers entladen, entstehen der ADEV Kosten in der gleichen Höhe pro kWh.

Somit sind Erträge für das Laden und Kosten für das Entladen aus Sicht der EVs abgebildet. Da diese aber immer konstant sind, spiegeln sie noch kein Anreizsystem und keine Tarifgestaltung wider. Der Tarif wird bewusst konstant gehalten, um die Auswirkungen des Reglers auf die Kosten zu verstehen und nicht, um Tarife zu testen.

4.3.2 Ergebnisse Lastspitzenreduktion in verschiedenen Szenarien

a) Lastspitzenvergleich geregelter und ungeregelter EV-Flotten

Abbildung 39 zeigt die Lastspitzen jedes Monats von drei Lastgängen. „Areal ohne Flotte“(schwarzer Balken) ist der Lastgang des Areals inklusive der zwei Carsharing EVs; „mit ungeregelter Flotte“ (roter Balken) ist der Lastgang einer Flotte von 59 EVs mit den Leistungsmerkmalen des Szenario BAU. Diese EV-Flotte ist nicht geregelt, d.h. sie wird immer und sofort vollgeladen, wenn die EVs angeschlossen werden. Die nicht geregelte Flotte erzeugt durch das direkte Aufladen nach Ankunft neue Lastspitzen. Der rote Balken zeigt damit auf, was mit dem Lastgang des Areals passieren würde, wenn eine EV-Flotte ohne Regelung hinzukäme. „mit geregelter Flotte“ (grüner Balken) entspricht dem Areal inklusive einer durch den Regler Iteration1 gesteuerten Flotte mit 59 Fahrzeugen des BAU Szenarios.

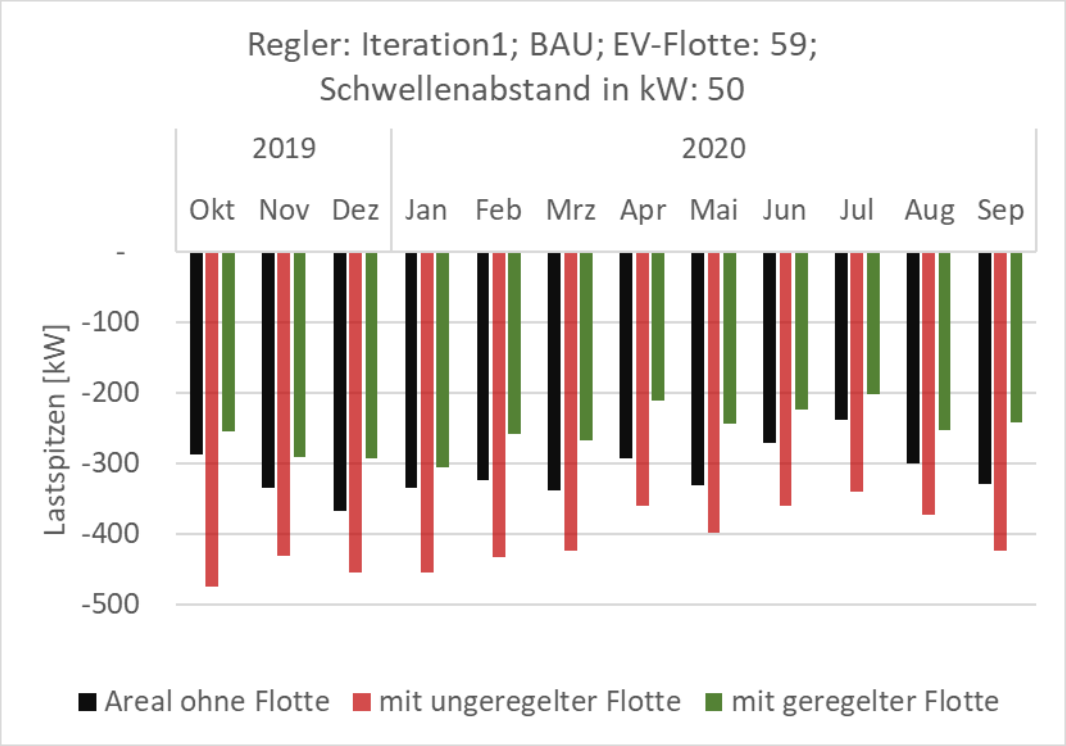


Abbildung 39: Monatlicher Lastspitzenvergleich

In Abbildung 39 ist ersichtlich, dass die Lastspitzen mit einer ungeregelten Flotte deutlich steigen und dass der auf Flottenladen optimierte Regler (Iteration 1) folgende Eigenschaften aufweist:

- er kann EV-Flotten so nutzen, dass der optimierte Lastgang in allen Monaten besser ist als ohne Flotte (schwarz) und
- er ist hinsichtlich der Lastspitzenreduzierung sehr erfolgreich.

b) Analyse verschiedener Szenarien in Bezug auf Lastspitzenreduktion

Bei der Analyse verschiedener Szenarien in Bezug auf die Lastspitzenreduktion liegt der Fokus zuerst auf den grossen Flotten mit 59 EVs und es wird untersucht, welche Leistungseigenschaften die Lastspitzen am besten reduzieren. Für die Ergebnisse ist zu erwarten, dass die EV-Flotten mit grösseren Batterien die Lastspitzen besser reduzieren, weil sie mehr Kapazität haben. Ausserdem ist zu erwarten, dass sich die höheren Ladeleistungen positiv auf die Lastspitzenreduzierung auswirken.

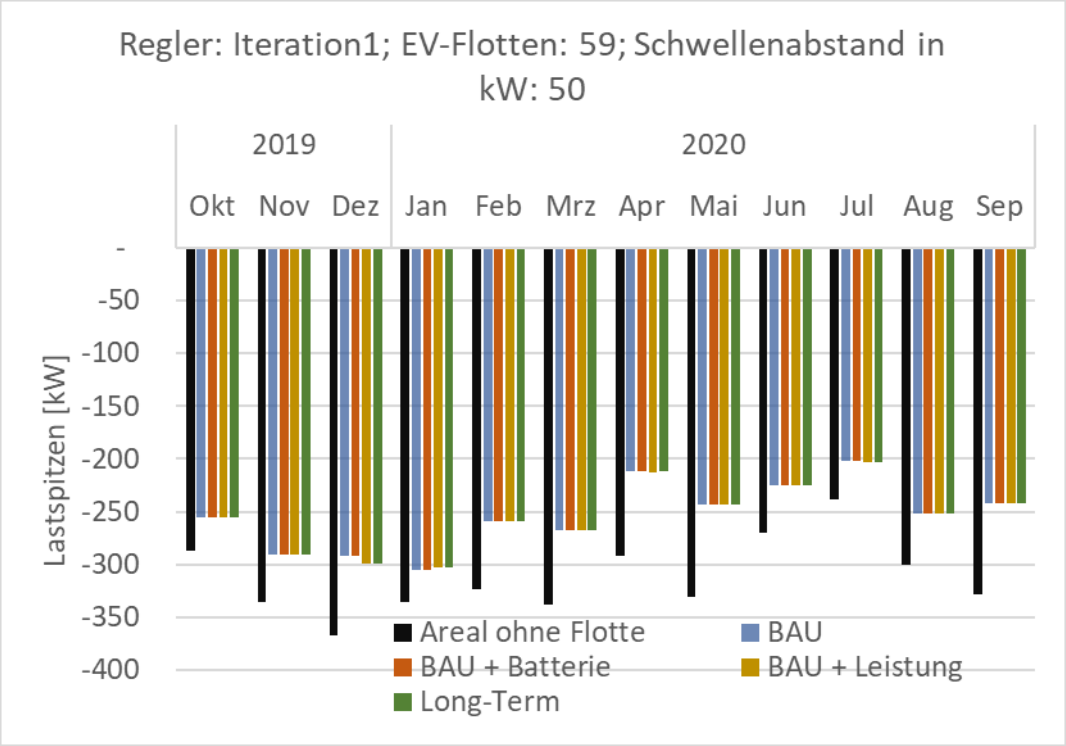


Abbildung 40: Monatliche Lastspitzen der vier Szenarien mit grossen EV-Flotten

Abbildung 40 zeigt die Lastspitzen des Areals nach der Regelung der verschiedenen Flotten (bunte Balken) gegenüber dem Areal ohne die Flotten (schwarzer Balken). In allen Monaten können die Lastspitzen mit den EV-Flotten reduziert werden. Auffallend ist, dass alle Flotten sehr ähnliche Ergebnisse erzielen. Dies widerspricht der Erwartung, dass die Leistungsmerkmale den Erfolg der Lastspitzenreduzierung beeinflussen. Die Lastspitzenreduzierung (in Abbildung 40) führt aufgrund einer Mischung von Faktoren zu den gleichen Lastspitzen. Dies liegt zum einen an dem Mechanismus des Reglers2 und zum anderen sind die EV-Flotten mit 59 Fahrzeugen scheinbar so gross gewählt, dass während der kritischen Zeitpunkte immer genügend EVs vorhanden sind. Also werden die Lastspitzen gleich gut reduziert und die anderen Parameter haben keine Auswirkung. Im Umkehrschluss kann hier erahnt werden, dass nicht die volle Kapazität sowie Leistung der Flotte genutzt wird. Das bedeutet, dass hier Kapazitäten vorhanden sind, die anderweitig genutzt werden könnten. Welcher Nutzen aus den verbleibenden Flexibilitäten der EVs am Regelenergiemarkt erzielt werden kann, wird später aufgezeigt werden.

[2] Die Lastspitzen werden durch die untere Schwelle definiert. Die Schwelle definiert aber nicht nur die Zeitpunkte der Lastspitzen, sondern auch den Stellwert, um den diese reduziert werden soll. Dieser Stellwert wird auf die EVs aufgeteilt. Sind immer ausreichend viele EVs vor Ort, die gemeinsam den Stellwert erfüllen, so führt dies zu den gleichen Lastspitzenreduktionen.

Aufgrund dieses Ergebnisses wird im Folgenden der Einfluss der Flottengrösse analysiert. Zuerst wird das Szenario BAU mit unterschiedlich grossen EV-Flotten betrachtet (Abbildung 41). Das Areal ohne EV-Flotte dient wieder als Referenzwert. Die Lastspitzen zu „15“, „29“, „59“ Flottenfahrzeugen entsprechen den Lastspitzen des Areals nach Anwendung des Reglers (Iteration1). Es sei hier nochmals kurz erwähnt, dass die EVs während Lastspitzen nicht laden dürfen. Trotz steigender EV-Flotten werden damit neue entstehende Lastspitzen verhindert.

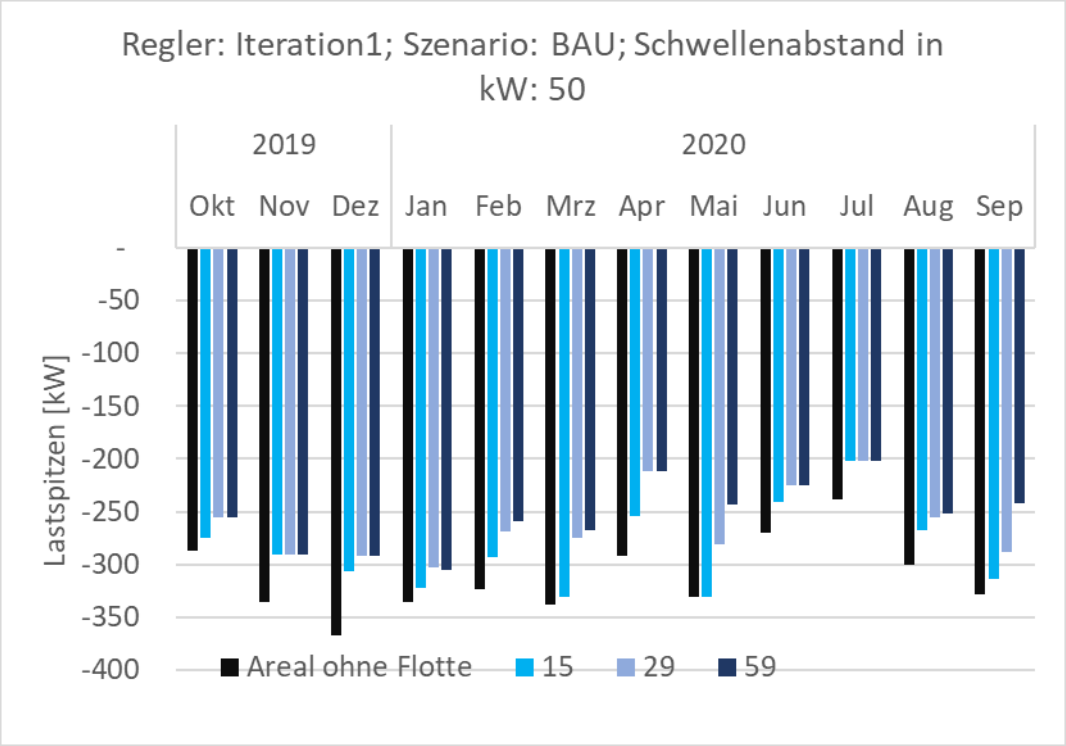


Abbildung 41: Monatliche Lastspitzenreduzierung Szenario BAU mit unterschiedlich grossen EV-Flotten

In Abbildung 41 wird deutlich, dass im Szenario BAU mit allen Flottengrössen Lastspitzen reduziert werden. In den Monaten November und Juli erzielen alle Flotten die gleiche Reduzierung, da jeweils genügend Flexibilität der EVs vorhanden ist. Allerdings werden Unterschiede in der Lastspitzenreduzierung im Februar, März, Mai und September deutlich. In diesen Monaten zeigt sich, dass grössere Flotten die Lastspitzen besser reduzieren können. Der Grund liegt in der Anzahl verfügbarer EVs mit geladenen Batterien, die während der Lastspitzen verfügbar sind. Mit mehr EVs sind die Chancen deutlich höher, dass EVs verfügbar sind. Es ist aber auch zu beobachten, dass die Verdopplung der Fahrzeuge einer Flotte von 29 auf 59 teilweise nur geringen zusätzlichen Nutzen zeigt, wie z.B. im Dezember, März und Juni. Hingegen zeigt die Steigerung der EV-Flotte von 15 auf 29 EVs in vielen Monaten deutliche Verbesserungen. Schlussendlich lässt sich feststellen, dass bei dem entwickelten Regler Iteration1 zuerst ein grosser Nutzen durch jedes zusätzliche EV auftritt, der mit wachsender Flotte jedoch abnimmt.

Abbildung 42 betrachtet die Entwicklung der Lastspitzen des Long-Term Szenarios mit den gleichen Flottengrössen. Gegenüber dem BAU-Szenario sind die Batterien mit 80 kWh nun doppelt so gross,

genau wie die Ladeleistungen, welche nun 50 kW und nicht mehr 20 kW betragen. Die in Abbildung 42 ausgewerteten EVs sind also deutlich leistungsstärker.

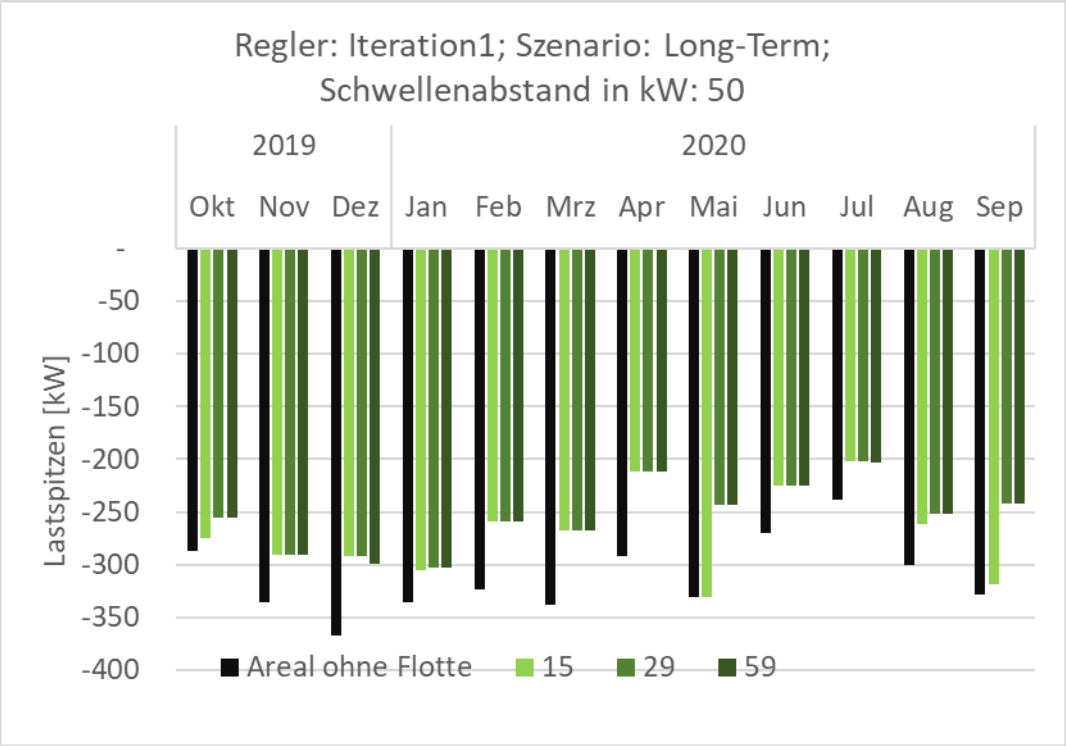


Abbildung 42: Monatliche Lastspitzenreduzierung Szenario Long-Term mit unterschiedlich grossen EV-Flotten

Die Lastspitzen des Areals mit den geregelten Flotten zeigen, dass 15 EVs in einigen Monaten zu den kritischen Zeiten nicht verfügbar sind, um die Lastspitzen zu reduzieren. Es verhält sich hier ähnlich wie im BAU-Szenario zuvor (Abbildung 41). Anders sieht die Situation bei den grösseren Flotten aus. Es gibt kaum noch Monate, in denen die Verdopplung der Flotten von 29 auf 59 EVs Verbesserungen zeigt. Daraus lässt sich schliessen, dass der Nutzen pro Fahrzeug für die Lastspitzenreduzierung schneller abnimmt, je leistungsstärker diese sind.

Es wurde bereits gezeigt, dass grosse EV-Flotten mit 59 Fahrzeugen die Lastspitzen gleich gut reduzieren, unabhängig von deren Leistungsmerkmalen. Das liegt an der grossen Anzahl der EVs, die während der Lastspitzen vorhanden sind. Dieses Kapitel zeigt, dass die Leistungseigenschaften der verschiedenen Szenarien dann einen Einfluss haben, wenn die verfügbare Anzahl der EVs der begrenzende Faktor der Lastspitzenreduzierung ist.

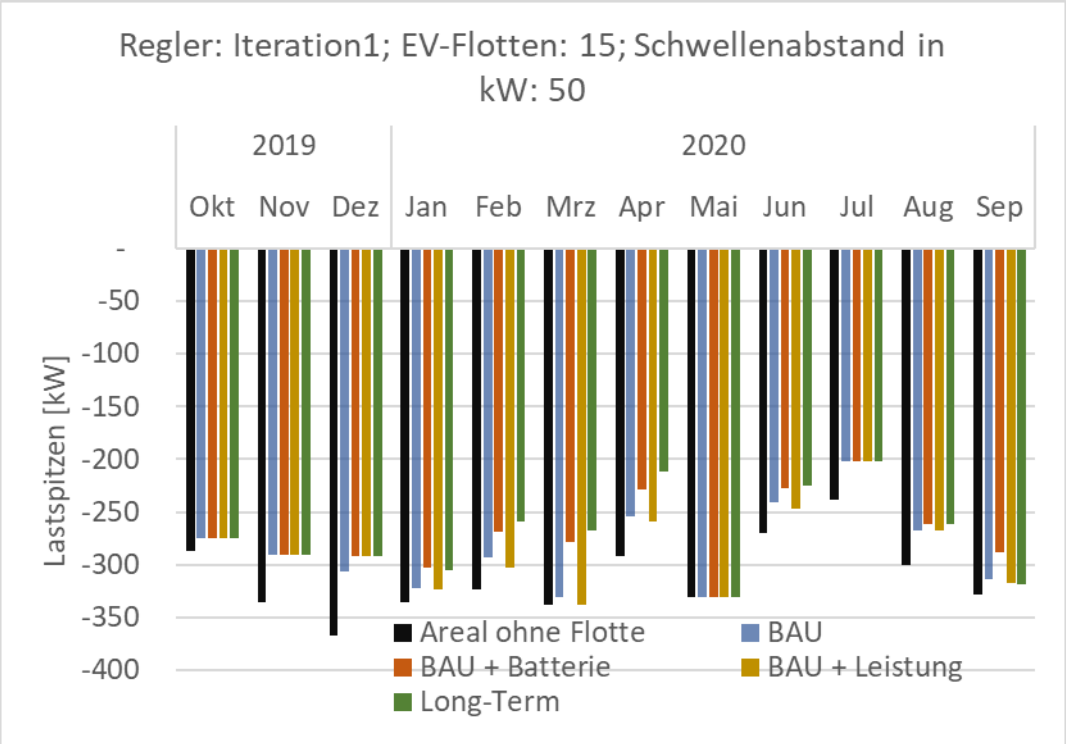


Abbildung 43: Lastspitzenreduzierungen kleiner EV-Flotten

In Abbildung 43 werden die Lastspitzen nach der Regelung mit Regler Iteration1 mit denen des Areals vor der Regelung inklusive der zwei Carsharing EVs (Areal ohne Flotte) verglichen. In den Monaten, in denen während der Monatslastspitzen genügend EVs vorhanden sind, gelingt die Lastspitzenreduzierung mit den verschiedenen Szenarien gleich gut (Okt, Nov, Jul). In den anderen Monaten wurden die Lastspitzen unterschiedlich reduziert. Das ist auf die Leistungsmerkmale der EVs zurückzuführen. Im Januar, Februar, März und Juni können die Szenarien BAU + Batterie und Long-Term die Lastspitzen besonders gut reduzieren. Hierfür ausschlaggebend ist die grössere Batteriekapazität. Das Szenario BAU + Leistung mit der hohen (Ent-)Ladeleistung von 50 kW, aber der kleinen Batterie mit 40 kWh, ist in keinem Monat am besten. Oftmals ist es sogar schlechter als das BAU-Szenario, weil die EVs aufgrund der hohen Entladeleistungen zu schnell entladen werden und dann die Lastspitze nicht vollständig reduzieren können. Im Mai reduziert keine der Flotten die Lastspitzen, was daran liegt, dass zur kritischen Lastspitze des Monats kein EV verfügbar ist, um diese zu reduzieren. Folglich hat die grössere Batteriekapazität einen deutlich besseren Einfluss auf die Lastspitzenreduzierung als die grosse (Ent-) Ladeleistung. Ausserdem wird deutlich, dass die Leistungsmerkmale der EVs einen grösseren Einfluss auf die Lastspitzenreduzierung haben, je kleiner die EV-Flotte ist.

Als Fazit kann festgehalten werden: Die Variation der Flottengrösse zeigt, dass der Nutzen pro Fahrzeug mit jedem zusätzlichen Fahrzeug abnimmt, je grösser die Flotte wird. Ab einer Flottengröss von 29 EVs sind mit Regler Iteration1 nur in wenigen Monaten deutliche Verbesserungen der Lastspitzenreduzierungen gegenüber der grossen Flotte von 59 EVs zu erreichen. Für die Praxis bedeutet dies, dass sich die Ladestrategie an die Flottengrösse anpassen sollte. Ab einer gewissen Flottengrösse kommt es zu dem Punkt, an dem nicht mehr alle EVs für die Lastspitzenreduzierung eingebunden werden müssen und besser für Energiedienstleistungen oder die Steigerung des

Eigenverbrauchs genutzt werden sollten. Weiterhin wird deutlich, dass die Leistungsmerkmale der EVs vor allem bei kleinen Flotten wichtig sind und auf das Ergebnis der Lastspitzenreduzierung Einfluss haben.

4.3.3 Analyse potenzieller Erträge durch Regelenergie

Für die Berechnung der möglichen Erträge aus Energiedienstleistungen am Regelenergiemarkt werden die vier Szenarien aus Tabelle 3 und die Flottengrösse von 59 Fahrzeugen verwendet. Bei der Simulation der Lastspitzenreduzierung hat sich gezeigt, dass weitere Residual-Batteriekapazität der 59 EVs vorhanden ist, um Regeldienstleistungen anbieten zu können. Ausserdem ist es die grösste Flotte, so dass diese die höchsten Erträge erzielen könnte.

Die Ertragsmöglichkeiten am Regelenergie-Markt hängen von der verfügbaren Flexibilität der EVs im Areal ab. Flexibilität hat dabei zwei Dimensionen: die zeitliche Dimension und die Leistungs-Dimension. Mit Flexibilität wird die Kapazität beschrieben, mit der ein EV geladen und entladen werden kann, bis der geplante Endladestand erreicht wird. Für diese Simulation wurde die Flexibilität der EV-Flotten ermittelt und berücksichtigt, nachdem sie für das Lastspitzenbrechen im Areal eingesetzt wurden. Anschliessend wurde analysiert, wieviel diese Flexibilität in Bezug auf die Bereitstellung von Primär-, Sekundär- und Tertiärregelleistung wert ist. Für die Berechnung der Erträge werden historische Daten zu den gezahlten Preisen bei Swissgrid herangezogen.[3] Für die Simulation wird davon ausgegangen, dass die ADEV oder ein anderer Aggregator als Anbieter der Regelenergie auf ein Portfolio von über 2MW zurückgreifen kann (sogenanntes virtuelles Powerplant) und dass jedes EV eine eigene Ladestation hat. Zudem wird angenommen, dass jedes abgegebene Gebot bei Swissgrid angenommen wird. Das beinhaltet, dass die angebotene Flexibilität und der Preis akzeptiert werden. Ausserdem wird davon ausgegangen, dass die Gebote fristgerecht für das jeweilige Produkt gestellt werden.

Exkurs: Berechnung der Flexibilität von EVs

Die Flexibilitäten werden pro EV berechnet. Dies veranschaulicht Abbildung 44. Dabei zeigt die graue Kurve den Batterieladestand (SOC) nach der Regelung durch Regler Iteration1 an. Die Flexibilitäten für das Laden sowie das Entladen werden separat berechnet, da sie sich unterscheiden.
Flexibilität für das Laden tritt auf, wenn sich der SOC des EVs nicht ändert oder er zunimmt. Denn dann kann das EV zusätzlich geladen werden. Die „ChargePower“ gibt die Zeiträume und Leistung an, mit der dann geladen werden kann (in Abbildung 44: Flexibilitäten für ein EV an einem Beispieltag grün dargestellt und an der sekundären y-Achse abzulesen). Würde diese Leistung abgerufen, entstünde die neue SOC Kurve „SOCifcharged“ (in gelb dargestellt).
Für die Entladeflexibilität „DischargePower“ verhält es sich ähnlich (in orange dargestellt und auch an der sekundären y-Achse abzulesen). Würde das EV so entladen werden, entstünde die blau gestrichelte Kurve „SOCifdischarged“.

[3] Diese Preise sind zurzeit sehr niedrig. Es wird aber prognostiziert, dass sie zukünftig stark ansteigen werden.

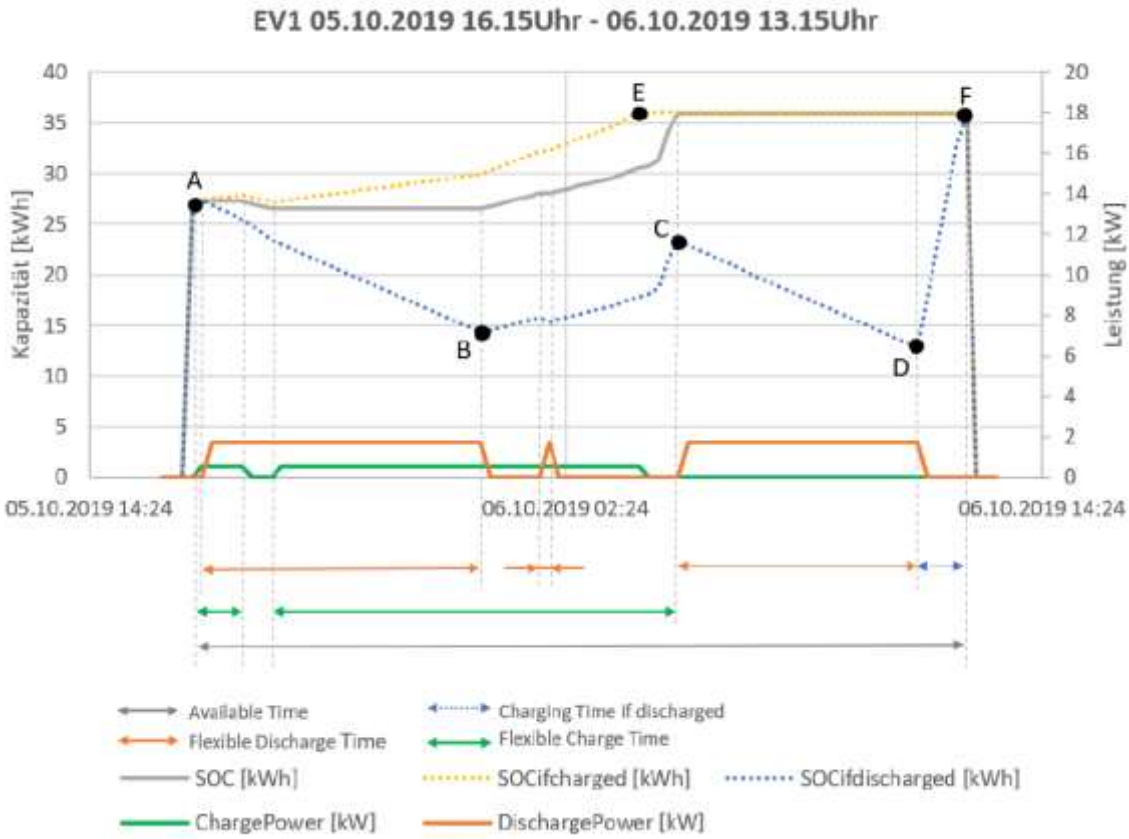


Abbildung 44: Flexibilitäten für ein EV an einem Beispieltag

Für die Berechnung der Flexibilitäten gibt es einige Bedingungen, die einzuhalten sind. Es darf maximal mit der Leistung des definierten Szenarios – siehe Tabelle 3 – geladen oder entladen werden. Ausserdem darf nur zwischen den vorgegebenen 30% bis 90% der Batteriekapazität geladen und entladen werden. Damit hält sich auch die Steuerung der Flexibilität an die gleichen Bedingungen wie der Regler Iteration1. Ist das EV also vollgeladen, kann nur Flexibilität für das Entladen „Discharging“ gegeben werden. Ist das EV leer, kann nur Flexibilität für das Laden „Charging“ gegeben werden. Am Ende der Verbindung des EVs muss der Ladestand erreicht werden, den der Regler Iteration1 erzielt hatte. Während das EV entlädt, kann keine Flexibilität fürs Laden auftreten und umgekehrt. Die Leistung der Flexibilität wird während eines Zeitraums der Flexibilität konstant auf den ganzen Zeitraum verteilt.

Die „ChargePower“ und „DischargePower“ in Abbildung 44 entsprechen den Flexibilitäten eines EVs während der angegebenen Zeit. Diese einzelnen Flexibilitäten werden für alle EVs der Flotte aufsummiert und ergeben damit die Entlade- und Lade-Flexibilitäten für die Regelleistung. Es wird anschliessend berechnet, wann die Leistung der Flexibilitäten neue Lastspitzen erzeugen würde. Immer dort, wo das geschehen könnte, wird die Flexibilität so reduziert, dass keine neue Lastspitze entstehen kann. Damit wird die Flexibilität für das Laden der EVs begrenzt.

Die Flexibilität der Flotte schwankt sehr stark. Sind viele EVs an den Ladestationen angeschlossen, so ist auch die Flexibilität höher. Dies ist häufig nachts der Fall, weil sich dann viele der privaten EVs auf dem Areal befinden.

Weitere Annahmen: In den Flexibilitäten der Flotte zeigt sich oftmals auch, dass zu einigen Zeiten nur geringe Leistungen verfügbar sind. Aus Sicht der Regelleistungsprodukte, wo zu jedem Zeitpunkt die verkaufte Flexibilität abrufbar sein muss, dürfte man immer nur das Minimum der Leistung anbieten. Dürfte man den Durchschnitt (Mean) verkaufen, wären die Erlöse der Regelleistung deutlich besser.

Folgendes Beispiel veranschaulicht anhand von Tabelle 6 die Zusammenhänge: Für ein Regelleistungsprodukt liegen die Leistungen zu den Zeitpunkten A bis D vor, welche zusammen genau der Produktdauer entsprechen. Nur zu Zeitpunkt B ist die Flexibilität 2 kW und damit deutlich tiefer als zu den anderen Zeitpunkten. Mit dem strengen Ansatz, dass die verkaufte Flexibilität immer verfügbar sein muss, können nur 2 kW Flexibilität verkauft werden. Das entspricht dem MIN der Zeitpunkte. Argumentiert man jedoch, dass man als Areal notfalls andere Verbraucher reduzieren oder weitere Reserven anzapfen könnte, ist der Ansatz durchaus vertretbar, den Durchschnitt, also MEAN, an Flexibilität anzubieten. Mit dem MEAN-Ansatz könnten in diesem Zeitraum 8 kW Flexibilität als Regelleistung verkauft werden. Die nachfolgenden Kapitel zeigen die deutlichen Unterschiede der Ertragsmöglichkeiten für das ganze simulierte Jahr auf. Es wird dann jedoch auf die Erträge aus der MEAN-Methode fokussiert.

Tabelle 6: Veranschaulichung MIN und MEAN Flexibilität

Zeitpunkt	A	B	C	D
Flexibilität [kW]	10	2	10	10

Im Folgenden werden die potenziellen Erträge von EVs am Regelenergie mit verschiedenen Methoden und Szenarien berechnet. Nochmals zur Rekapitulation:

- Es werden die Flexibilitäten der EVs berücksichtigt, die noch verfügbar sind, nachdem der Regler die Lastspitzenreduzierung realisiert hat.
- Alle EV-Flotten bestehen aus 59 Fahrzeugen.
- Bei dem MIN-Ansatz werden nur die Flexibilitäten als Regelleistung verkauft, welche verfügbar sind. Damit ist es der restriktivere Ansatz für die Schätzung der Ertragsmöglichkeiten. Die MEAN-Methode hingegen adressiert die durchschnittliche Flexibilität über gewisse Zeiträume.

Abbildung 45 zeigt, welche Produkte der Regelleistung verkauft werden können. Aufgrund der sehr strengen Sicht der Datenlücken, in denen Flexibilitäten angeboten werden können, werden nicht alle Produkte verkauft. Sehr selten wird SRL (Sekundärregelleistung) als Wochenprodukt verkauft. Am häufigsten werden die 4-Stunden-Produkte für die TRL (Tertiärregelleistung) verkauft. In diesem Szenario BAU und mit dem strengen Ansatz der MIN Methode können jährlich ca. CHF 80 erwirtschaftet werden.

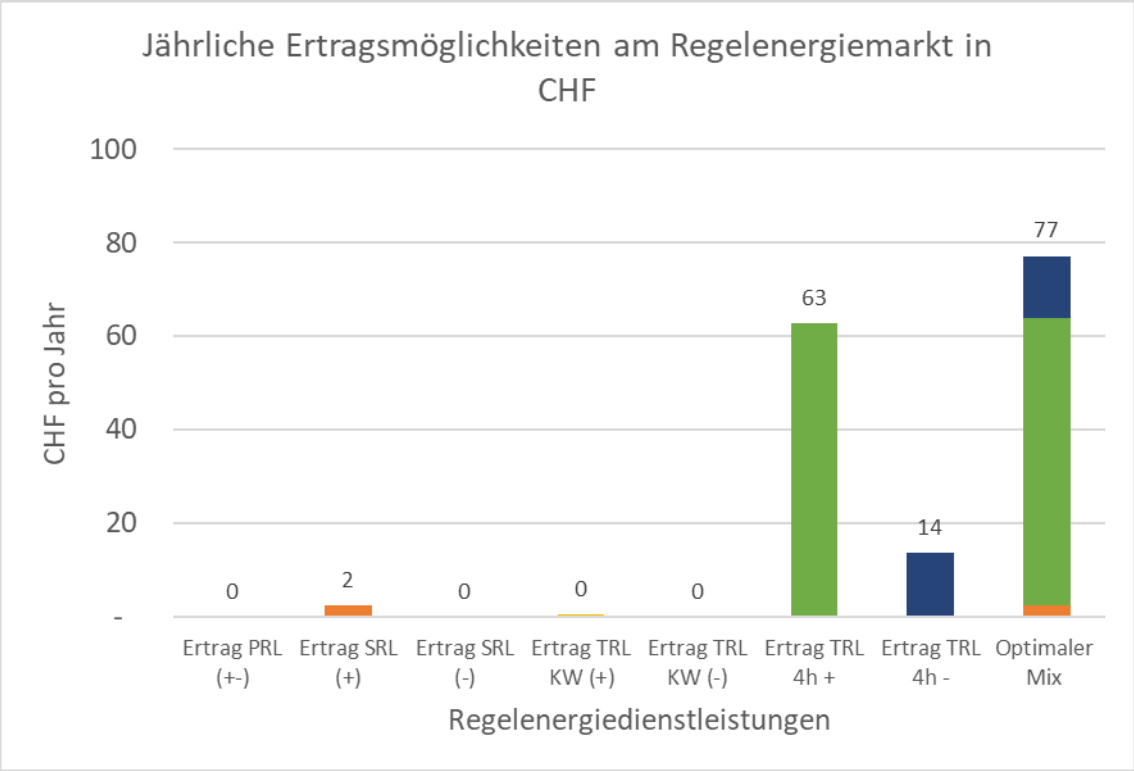


Abbildung 45: Erträge Regelleistungen Szenario BAU mit MIN-Methode

Legende: SRL Sekundärregelleistung, TRL Tertiärregelleistung

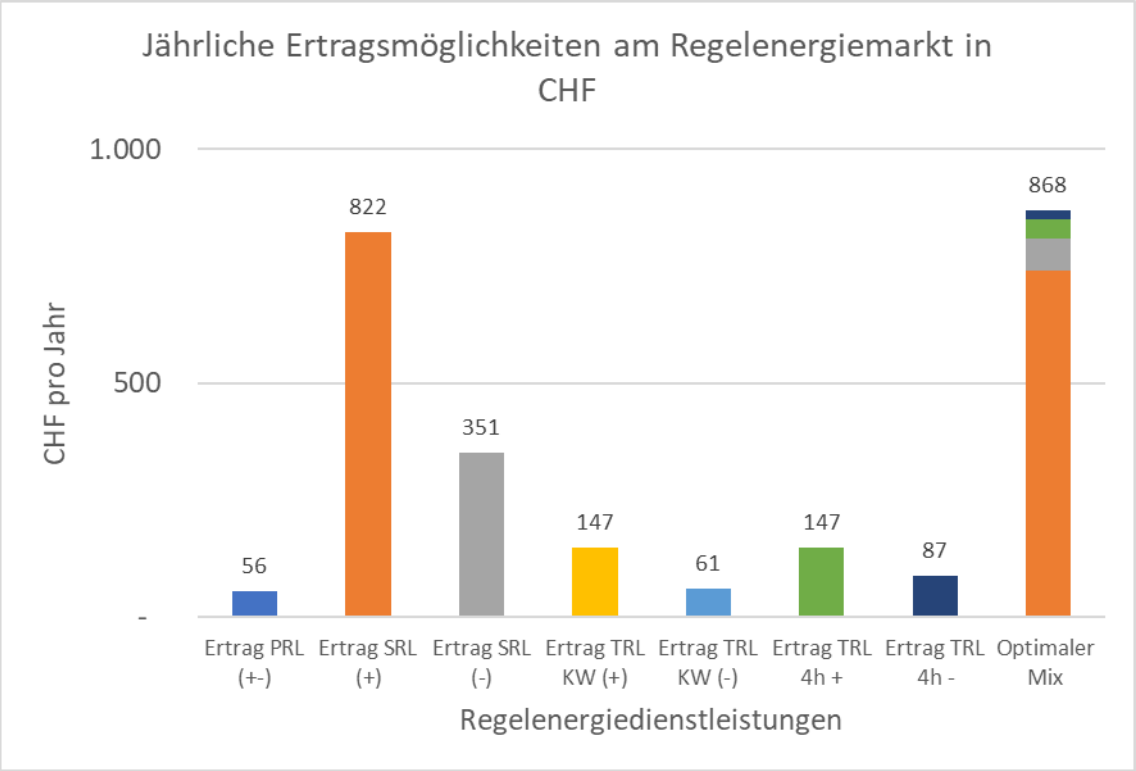


Abbildung 46: Erträge Regelleistungen Szenario BAU mit MEAN-Methode

Legende: SRL Sekundärregelleistung, TRL Tertiärregelleistung

Im Vergleich zum MIN-Ansatz zeigt der MEAN-Ansatz für das BAU-Szenario Ertragsmöglichkeiten mit allen Produkten. Müsste man ein Produkt für das ganze Jahr wählen, wäre SRL (+) am Sinnvollsten. Im optimalen Mix zeigt sich, dass neben SRL (+) auch SRL(-) sowie die beiden 4-Stunden-Produkte der Tertiärregelleistung zum besten Ergebnis beitragen. Die jährlichen Ertragsmöglichkeiten mit dem optimalen Mix liegen hier bei ca. CHF 870 und damit mehr als 10-mal so hoch, wie mit dem MIN-Ansatz.

Als weitere Analyse potenzieller Erträge wird das Long-Term Szenario mit den doppelt so grossen Batterien und grösseren Ladeleistungen betrachtet. Mit der MIN-Methode sind auch hier wegen der Datenlücken nur wenige Regelleistungsprodukte möglich, siehe Abbildung 47. Im Vergleich zum BAU-Szenario sind die erzielten Erträge im optimalen Mix aber schon mehr als doppelt so hoch. Mit der MEAN-Methode, vgl. Abbildung 48, wird deutlich, dass wieder alle Produkte verkauft werden können. Auch hier ist die SRL (+) das dominante Produkt im optimalen Mix. Die möglichen Erträge sind auch bei der MEAN-Methode doppelt so hoch wie die des BAU-Szenarios in Abbildung 46. Die grösseren Batterien und Ladeleistungen haben also einen deutlichen Einfluss auf die möglichen Erträge mit Regelleistungen als Regelenergie.

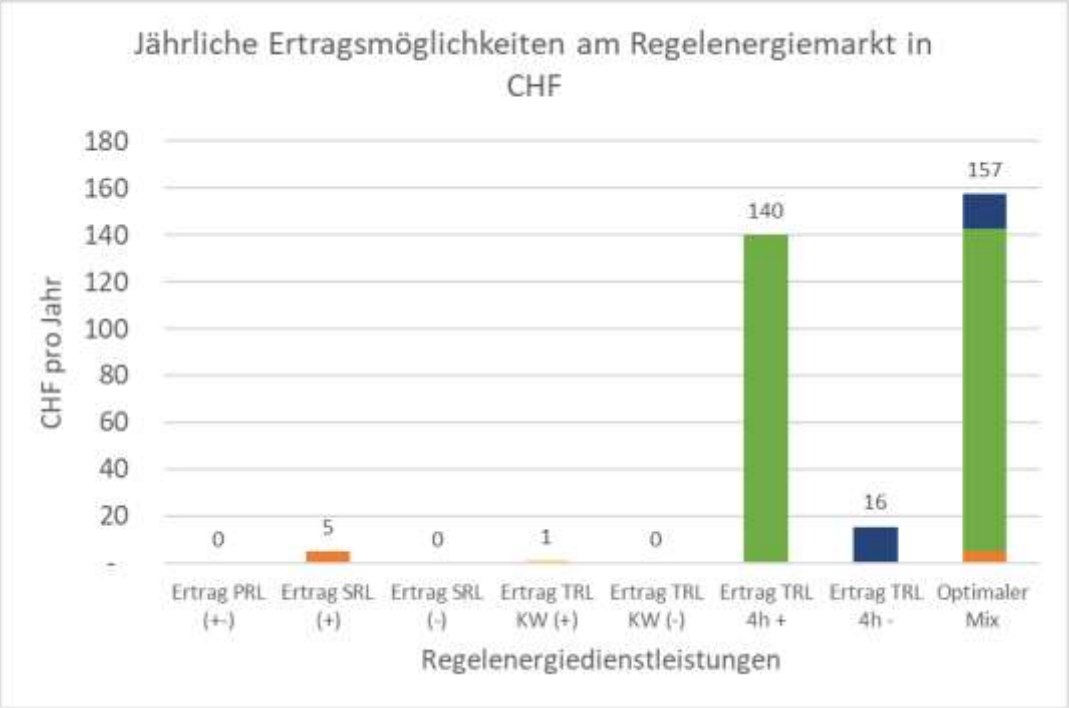
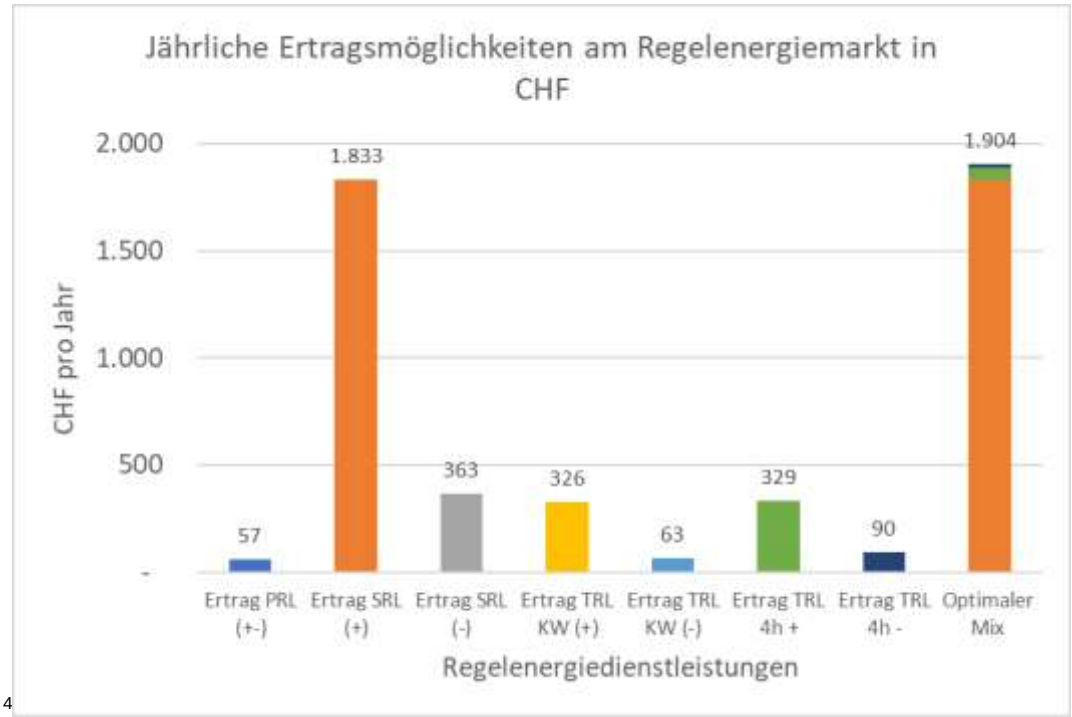


Abbildung 47: Erträge Regelleistungen Szenario Long-Term mit MIN Methode



[4]

Abbildung 48: Erträge Regelleistungen Szenario Long-Term mit MEAN-Methode

[4] Legende Abbildungen: SRL Sekundärregelleistung, TRL Tertiärregelleistung

Mit der Annahme, dass die Flexibilitäten mit dem MEAN-Ansatz erfüllt werden können, werden nun die maximalen Ertragsmöglichkeiten aller Szenarien verglichen (vgl. dazu Abbildung 49). Die Zusammensetzung dieser optimalen Mixe erfolgt immer nach der zuvor veranschaulichten Logik. Auf den ersten Blick fällt auf, dass alle Szenarien eine sehr ähnliche Zusammensetzung der optimalen Mixe haben. Im Vergleich zum BAU-Szenario werden die Erlöse in allen weiteren Szenarien gesteigert. Die grössten Erlöse können im Long-Term Szenario erzielt werden. Im Szenario BAU + Batterie werden deutlich höhere Erlöse erzielt als BAU + Leistung.
Es lässt sich bei den gegebenen Flotten also feststellen, dass eine grössere Batteriekapazität für die Regelleistung mehr bringt als höhere Ladeleistungen. Ist beides gegeben, wie beim Szenario Long-Term, entstehen die höchsten Ertragsmöglichkeiten am Regelenergiemarkt.

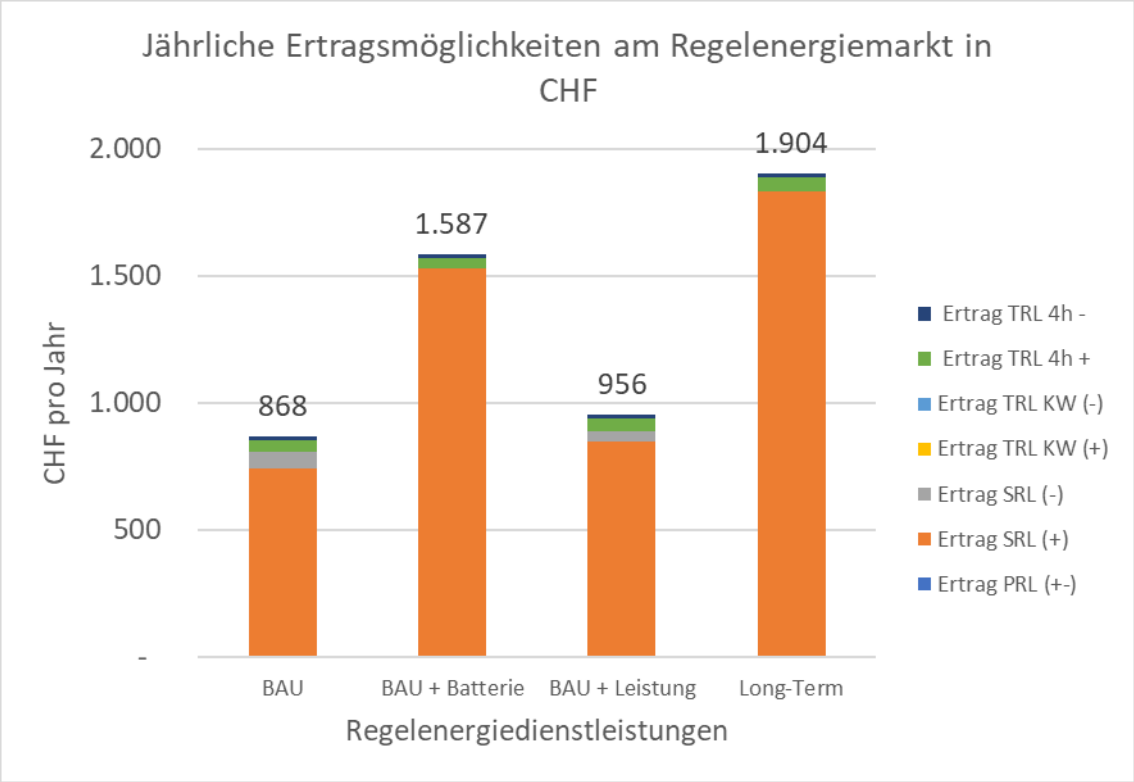


Abbildung 49: Maximale Erträge (optimale Mixe) der Regelleistungen aller Szenarien mit MEAN-Methode

4.3.4 Analyse der Gesamtkosten für den Arealbetreiber in verschiedenen Szenarien

Um die Gesamtkosten für den Arealbetreiber in verschiedenen Szenarien zu veranschaulichen, werden diese Kosten in Abbildung 50 für das Szenario BAU mit 59 EVs mit dem Regler Iteration1 visualisiert. Angegeben sind die Kosten für ein Jahr (Oktober 2019 bis September 2020). Die Abbildung stellt die Kosten für den Arealbetreiber dar. Folglich sind Einnahmen und Verdienste durch Einspeisung und Laden der EVs negativ dargestellt. Auf der x-Achse sind die einzelnen Kostenpositionen dargestellt. Die Positionen „Leistungstarif“ bis „Einspeisung“ entsprechen den Kosten in Tabelle 5. Danach kommen die Einnahmen für das Laden der Private EVs (P_Charging) sowie die Kosten für dessen Entladen (P_Discharging). Die letzten zwei Positionen entsprechen dem

Verdienst durch das Laden der Workplace EVs (W_Charging) sowie den Kosten für das Entladen dieser (W_Discharging). Der schwarze Balken stellt das Areal ohne Flotte, aber mit den 2 Carsharing EVs dar und dessen Kosten. In rot ist das Areal inklusive der EV-Flotte ohne Regelung dargestellt, was bedeutet, dass diese direkt bei Ankunft voll aufgeladen werden. Das Areal mit geregelter Flotte vom Regler Iteration1, damit V2H geregelt, ist in grün dargestellt.

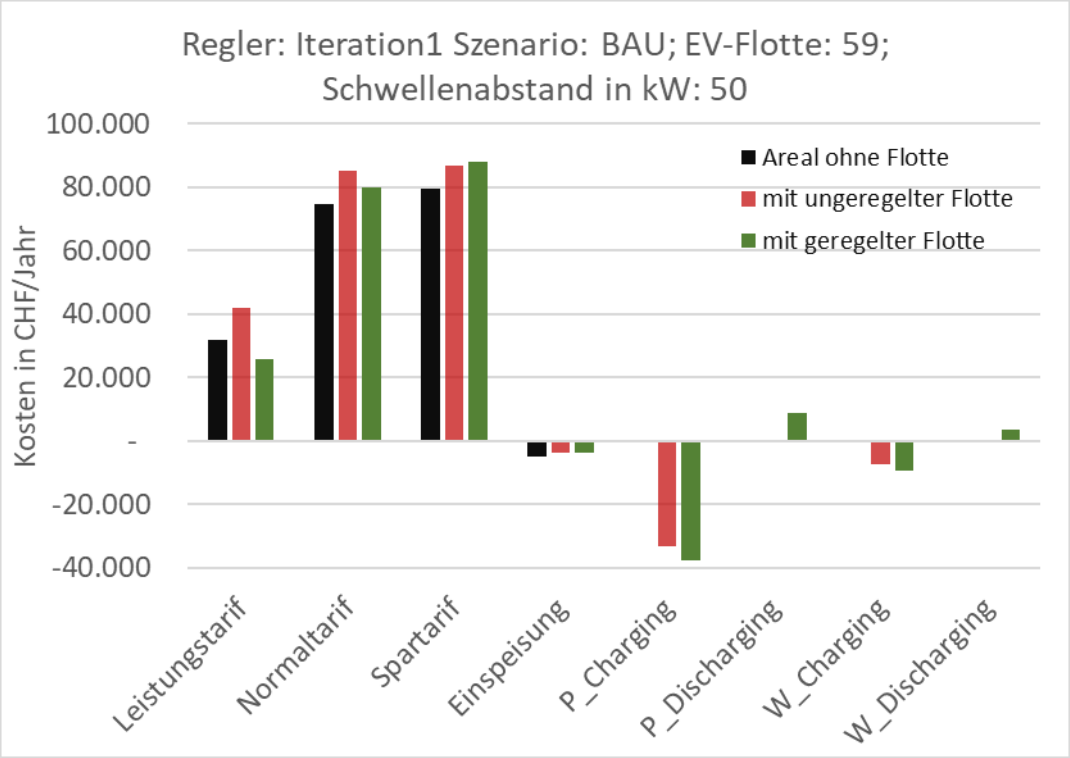


Abbildung 50: Strombezugskosten und (Ent-)Ladekosten für Szenario BAU mit 59 EVs

In Abbildung 50 hat das Areal ohne Flotte verständlicherweise keine Kosten für das (Ent-)Laden der EVs. Die Kosten des Leistungstarifs werden von den Monatslastspitzen getrieben, weshalb diese reduziert werden sollen. Das Areal mit ungeregelter Flotte verstärkt die Kosten im Leistungstarif durch die neu auftretenden Lastspitzen, wie Abbildung 39 zeigt. Es ist plausibel, dass die Kosten im Normal- und Spartarif steigen, weil die EV-Flotten zusätzlichen Energiebedarf verursachen. Diese Kosten werden jedoch durch den Verdienst beim Aufladen der EVs überkompensiert. Die geregelte Flotte schafft es, die Lastspitzen zu reduzieren, so dass die Kosten im Leistungstarif sinken, sogar gegenüber dem Areal ohne Flotte. Die EVs werden durch den Regler etwas mehr zu Zeiten des Spartarifs geladen, als die EVs ohne Regelung. Das war nicht explizit geplant, ist aber der logische Nebeneffekt, wenn die EVs während der Lastspitzen, die typischerweise im Zeitfenster des Normaltarifs liegen, nicht laden dürfen. Da die EVs zum Reduzieren der Lastspitzen entladen, entstehen durch den definierten Entladetarif entsprechende Kosten.

Als Fazit zu den Kosten in Abbildung 50 kann festgehalten werden, dass die Kosten für den zusätzlichen Energiebedarf der EVs durch den Tarif für das Laden der EVs an die Besitzer weitergegeben werden. Bei dem angewendeten Tarif von 0,265 CHF/kWh wird sogar ein Verdienst generiert, der die Kosten für den Energiebedarf bei 0,14 oder 0,10 CHF/kWh übersteigt. Mit dem Regler Iteration1 können weiter Kosten eingespart werden, weil die Lastspitzen reduziert werden.

Ausserdem verschiebt sich das Laden der EVs leicht in die Zeiträume des Spartarifs, gegenüber der ungeregelten Flotte.

Werden diese verschiedenen Kosten aufsummiert, so ergeben sich daraus die Jahresbezugskosten, welche für die weiteren Kapitel relevant sind. Ausserdem werden zusätzliche Ertragsmöglichkeiten mit den verbleibenden Flexibilitäten der EVs am Regelenergiemarkt untersucht.
Im Folgenden werden die Ergebnisse einerseits der Kosten der Lastspitzenreduzierung mit dem neu entwickelten Regler Iteration1 und andererseits den Erträgen mit Regelleistung zusammengebracht. Dabei sind die Kosten für den Strombezug und Einspeisung, das Laden und Entladen der EVs zu einem konstanten Tarif sowie die maximalen Erträge aus der der Regelleistung mit dem MEAN-Ansatz berücksichtigt. Kosten für die Installation von Infrastruktur und dessen Wartung sind nicht berücksichtigt.

Die folgenden Abbildungen (Abbildung 51 bis Abbildung 54) zeigen die jährlichen Gesamtkosten des Areals jeweils als Wasserfalldiagramm. Dargestellt sind a) in schwarz das Areal ohne Flotte, b) in rot das Areal mit ungeregelter Flotte, c) in grün das Areal mit geregelter Flotte, d) in blau der Ertrag aus der Regelenergie und e) in grau das Areal mit Flotte und Regelenergie.
Deutlich wird die Kostenreduzierung mit einer EV-Flotte, die ungeregelt ist. Diese ungeregelte Flotte verstärkt zwar die Lastspitzen und steigert den Energiebedarf des Areals, erzeugt aber durch den hohen Tarif für das Laden der EVs mehr Erlöse als Kosten. Deshalb sinken die Kosten mit dieser Flotte bereits. Die durch Iteration1 geregelte EV-Flotte reduziert die Lastspitzen unter Anwendung von V2H. Die ungeregelte und geregelte Flotte berücksichtigt die Kosten, wie Abbildung 50 dargestellt. Die verbleibende Flexibilität der EV-Flotte wird dann als Regelleistung verkauft. Der Ertrag aus der Regelenergie entspricht denen des optimalen Mix unter Anwendung der MEAN-Methode in Abbildung 49. Der recht Balken zeigt die verbleibenden Kosten für die ADEV, würde die EV-Flotte mit Regler Iteration1 geregelt sein. Dies entspricht den verbleibenden Kosten des Areals nach Lastspitzenreduzierung und inklusive der Erlöse der Regelenergie.

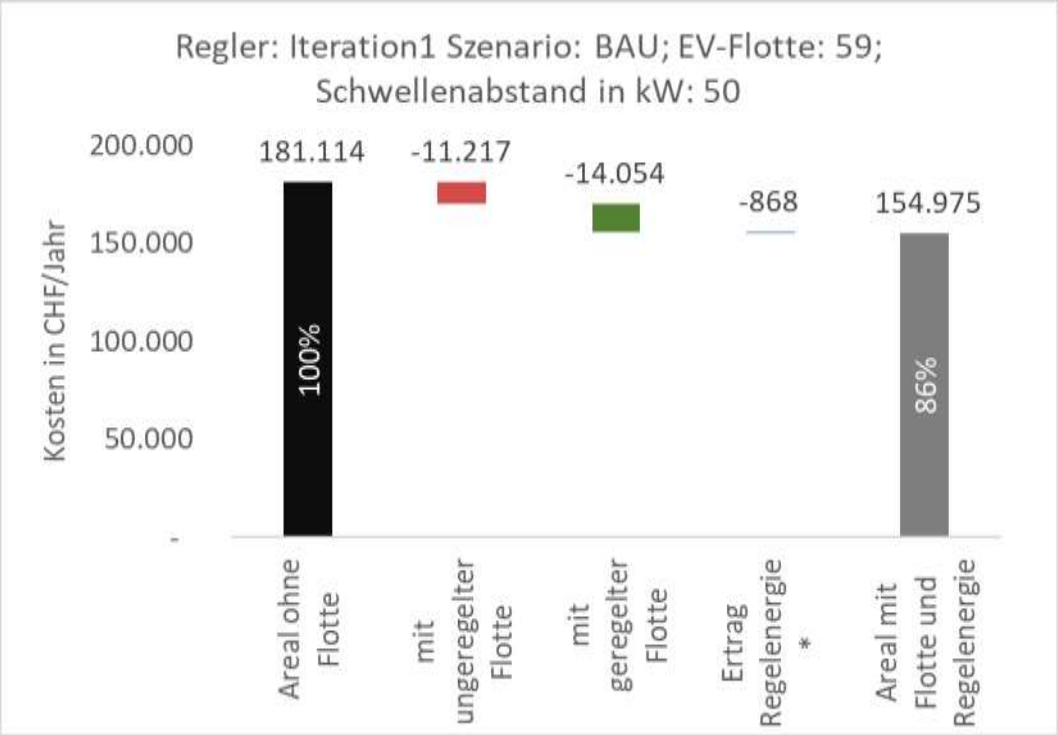


Abbildung 51: Gesamtkosten als Wasserfalldiagramm Szenario BAU

In Abbildung 51 wird das BAU-Szenario dargestellt. Wegen des hohen Tarifs für das (Ent-)Laden erscheint bereits die ungeregelte EV-Flotte mit positivem Einfluss auf die Kosten, dabei verstärkt diese die Lastspitzen des Areals. Die gesparten Kosten durch den hohen Tarif für das Laden der EVs bringt eine Kostenreduzierung von etwa CHF 11‘220 jährlich. Das entspricht etwa 6% der Kosten ohne Flotte. Mit der Steuerung der Flotte könnten durch die Reduzierung der Lastspitzen jährlich ca. CHF 14‘050 Kosten eingespart werden. Das entspricht ca. 8% der Jahresbezugskosten des Areals. Die Kostenersparnis der geregelten Flotte betragen insgesamt ca. CHF 25‘270 (11‘217 + 14‘054). Die Regelleistung ist mit ca. CHF 870 pro Jahr nicht besonders ertragreich verglichen mit der Lastspitzenreduzierung. Unter der Berücksichtigung der Regelleistung und der Lastspitzenreduzierung können mit dem BAU-Szenario insgesamt ca. 14% der Jahresbezugskosten eingespart werden.

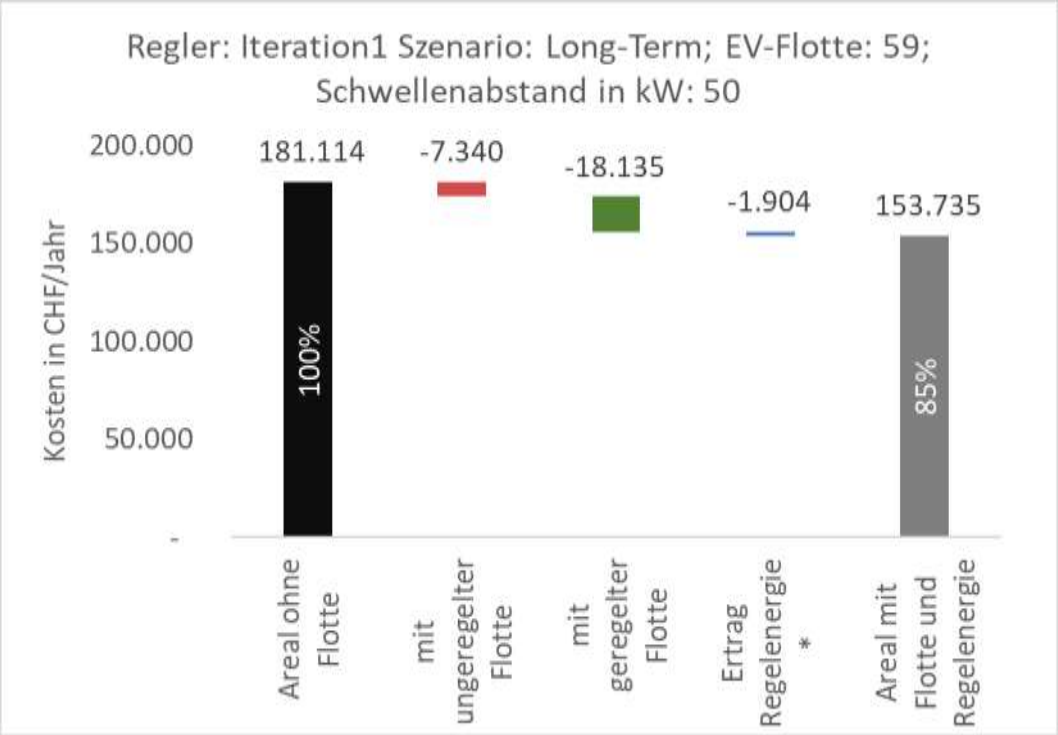


Abbildung 52: Gesamtkosten als Wasserfalldiagramm Szenario Long-Term

Im Szenario Long-Term in Abbildung 52 haben die EVs mit 80 kWh doppelt so grosse Batterien wie diejenigen in Abbildung 51. Ausserdem ist die Ladeleistung mit 50kW grösser als die des BAU Szenarios mit 20 kW. Diese anderen Leistungsmerkmale zeigen sich in der geringeren Kostenersparnis mit der ungeregelten Flotte. Da die EVs nun mit höheren Ladeleistungen kurz vor Abfahrt pflichtladen, sind die Lastspitzen im Long-Term Szenario ohne Regelung zunächst höher. Damit steigen die verursachten Kosten. Trotzdem erfolgt (vgl. roter Balken) eine Kostenersparnis, was an dem hohen Ladetarif liegt, der die Kosten der Lastspitzen und des zusätzlichen Energiebedarfs weiterhin übersteigt. Mit dem Regler Iteration1 können die Lastspitzen etwa gleich gut reduziert werden wie im BAU-Szenario (vgl. Abbildung 40). Die Kostenersparnis der geregelten Flotte beträgt insgesamt ca. CHF 25‘480 (7‘340+ 18‘135). Die geregelte Long-Term EV-Flotte erzielt also mit V2H bei der Lastspitzenreduzierung eine ähnliche Kostenreduzierung wie diejenige im Szenario BAU. Allerdings sind die Erträge der Regelenergie deutlich höher, nämlich mehr als doppelt so hoch. Insgesamt könnten so 15% der Jahresbezugskosten gespart werden, ein Prozent mehr als im BAU-Szenario. Hier wird ersichtlich, dass die Leistungsmerkmale einen klaren Einfluss auf die Ertragsmöglichkeiten mit Regelleistung haben. Im Gesamtbild machen diese jedoch wenig aus.

Die Kostenreduzierung durch die Lastspitzenreduzierung ist bei diesen beiden Szenarien trotz der unterschiedlichen Leistungsmerkmale der EVs der Flotte sehr ähnlich. Das liegt an der Funktionsweise des Reglers Iteration1, der aufgrund der grossen EV Flotten beider Szenarien (BAU und Long-Term) mit 59 EVs ähnliche Zielwerte für die Lastspitzenreduzierung berechnet. Oftmals sind nämlich nicht die verfügbaren EVs der limitierende Faktor der Lastspitzenreduzierung, sondern der berechnete Zielwert des Reglers. Ambitioniertere Lastspitzenreduzierungen könnten nur zu Lasten der Energiebedarfe und damit der Reichweite der EVs erzielt werden.

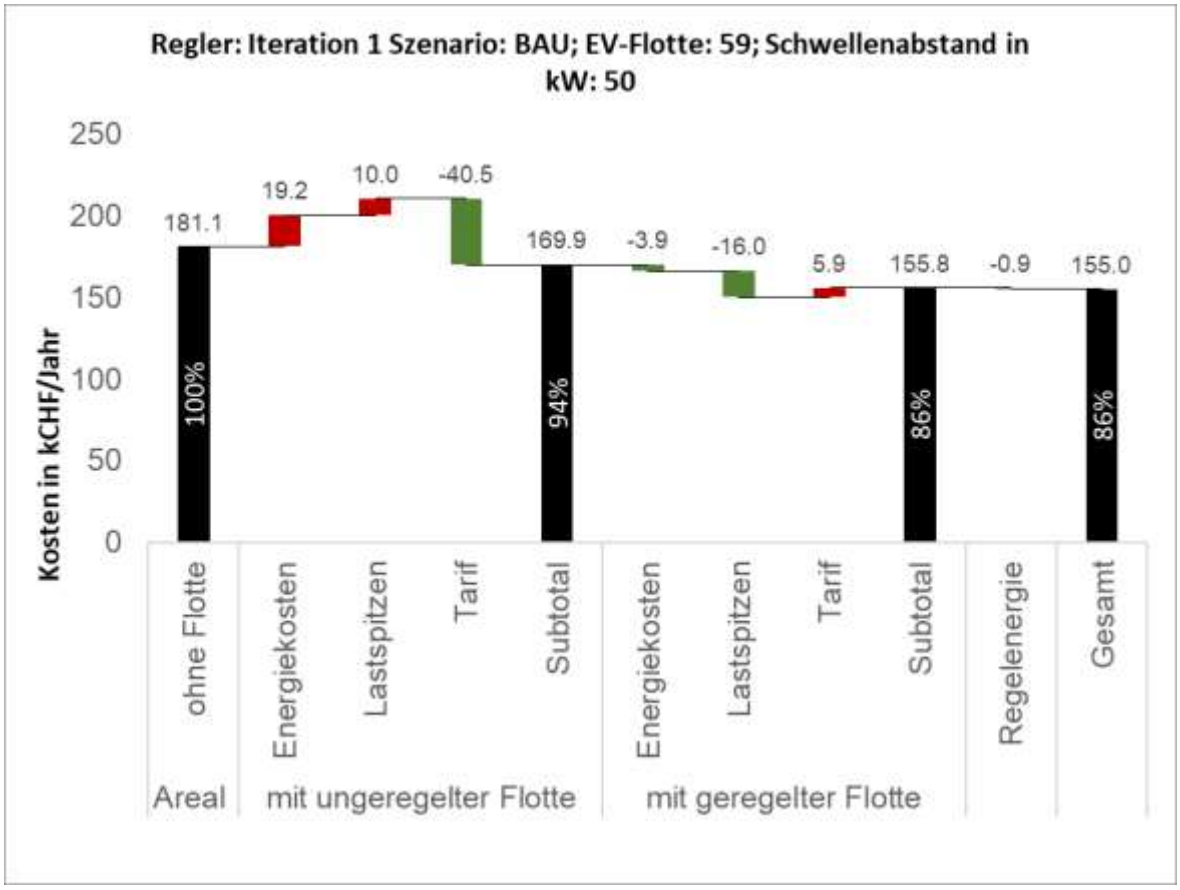


Abbildung 53: Jährliche Stromgesamtkosten für den Strombezug nach Effekten für Szenario BAU

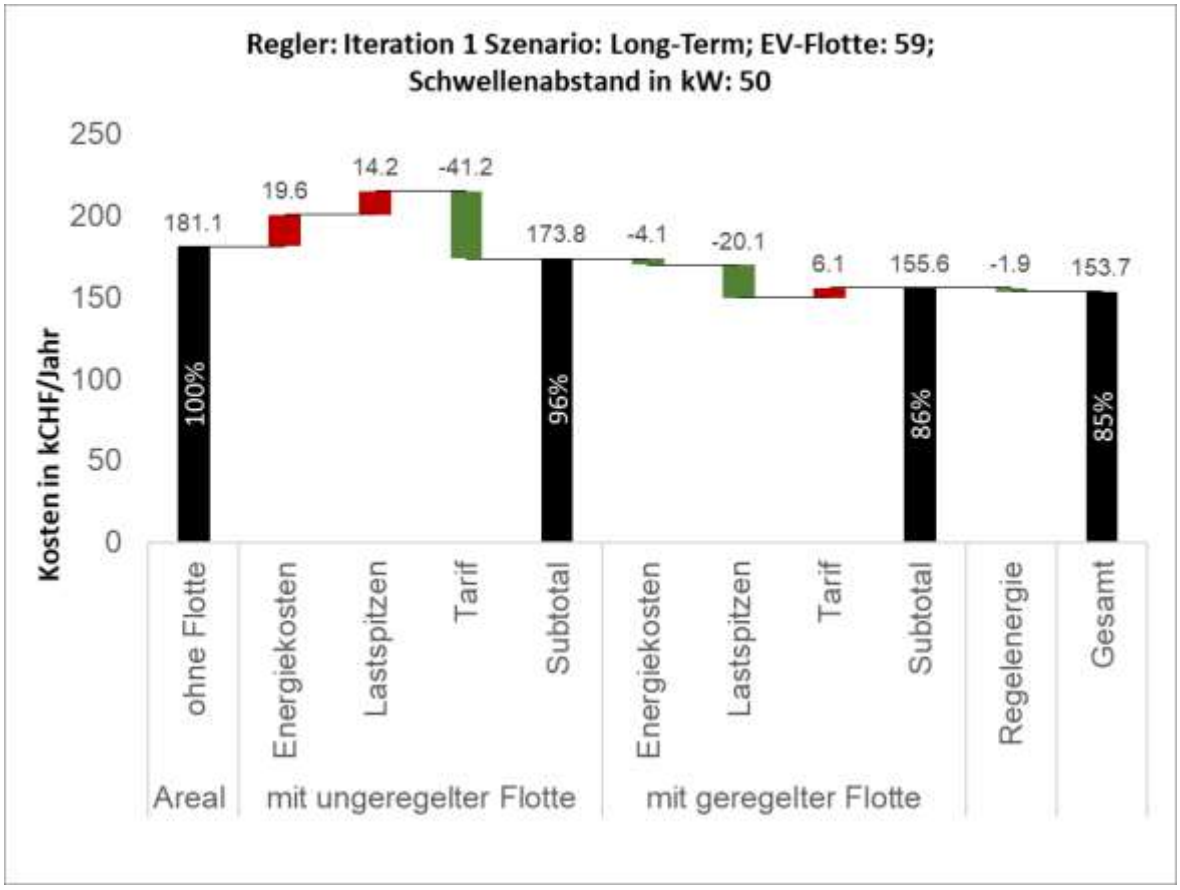


Abbildung 54: Jährliche Stromgesamtkosten für den Strombezug nach Effekten für Szenario Long-Term

Abbildung 53 und Abbildung 54 zeigen die Entwicklung der einzelnen Kosten etwas detaillierter und mchen damit die Dynamiken zwischen den einzelnen Posten besser verständlich. Bei den „Energiekosten“ handelt es sich um die Veränderung der Kosten zum Normaltarif, Spartarif und die Einspeisung nach Tabelle 5. „Lastspitzen“ entspricht der Veränderung der Kosten zum Leistungstarif nach Tabelle 5. Durch das Laden der EVs werden durch den definierten Tarif von 0,265 CHF/kWh auch Erträge (negativ dargestellt, da die Grafik die Kostensicht zeigt) erzielt.

In Abbildung 53 und Abbildung 54 steigen die Kosten für die Energienachfrage und die Lastspitzen mit der ungeregelten EV-Flotte. Die Lastspitzen werden also durch die ungeregelte EV-Flotte höher als zuvor. Gleichzeitig kompensieren die hohen Einnahmen des Tarifs den Anstieg der Kosten. Im Subtotal der ungeregelten Flotte werden die Kostensteigerungen durch die Lastspitzen und den erhöhten Energiebedarf für das Areal nicht deutlich, weil der Ladetarif reltiv hoch gewählt ist. Mit dem Regler Iteration1 können die Kosten für die Lastspitzen deutlich gesenkt werden. Das Ziel der Lastspitzenreduzierung ist damit erfüllt. Durch die Funktionsweise des Reglers, bei der die EVs während der Lastspitzen nicht laden dürfen, sinkt der Energiebedarf und damit die Energiekosten im Vergleich zu der ungeregelten Flotte. Folglich werden die EVs weniger geladen, wodurch auch die Erträge durch den Tarif geringer ausfallen als bei den ungeregelten Flotten.
Bei der Reduzierung der Kosten spielen die Erträge aus der Regelenergie keine wesentliche Rolle. Zur Berechnung der tatsächlichen Effekte der Kosten für die geregelte Flotte müssen diese mit denen der ungeregelten Flotte addiert werden. Beispiel: Wieviel Kosten konnten nur durch die

Lastspitzenreduzierung beim Szenario Long-Term im Vergleich zum Areal ohne Flotte gespart werden (Abbildung 54)? Lastspitzen ungeregelt (14,2 kCHF/Jahr) + Lastspitzen geregelt (-20,1 kCHF/Jahr) = Lastspitzenreduzierung mit geregelter Flotte gegenüber Areal ohne Flotte (-5,9 kCHF/Jahr). Insgesamt lässt sich somit festhalten, dass die Kostenreduzierungen von 14% mit der geregelten Flotte (vgl. Abbildung 53 und Abbildung 54) nur etwa zu 25% durch die Lastspitzenreduzierung resultieren. Die verbleibenden 75% kommen von dem Tarif für das Laden der EVs.

4.3.5 Fazit aus den Simulationen

Mit dem verbesserten Regler Iteration1 ist es gelungen, die Lastspitzen des Areals mit unterschiedlichen Flottengrössen zuverlässig zu reduzieren. Dabei wird deutlich, dass die Grösse der EV-Flotten in Klassen eingeteilt werden kann. Kleine Flotten (15 EVs) bringen pro Fahrzeug einen grossen zusätzlichen Nutzen für das Reduzieren von Lastspitzen, haben aber keine zuverlässige Verfügbarkeit während der Lastspitzen. Dadurch können nicht in jedem Monat die entscheidenden Lastspitzen optimal reduziert werden. Mittelgrosse EV-Flotten (29 EVs) zeigen bereits bessere Ergebnisse der Lastspitzenreduzierung und haben eine deutlich bessere Verfügbarkeit. Allerdings sind während einiger Lastspitzen bereits mehr EVs vorhanden als für die Reduzierung benötigt würden. Bei grossen Flotten (59 EVs) ist der zusätzliche Nutzen für die Lastspitzenreduzierung gegenüber der mittleren Flotte gering.

Aus den Ergebnissen wird ersichtlich, dass nicht alle EVs benötigt werden, um die angestrebten Lastreduzierungen zu erreichen. Daher wäre es denkbar, im Kontext der EV-Diffusion in einem Areal die Nutzung der EV-Flotte für verschiedene Energiedienstleistungen zu unterscheiden. Beispielsweise kann angestrebt werden, mit kleinen Flotten den Eigenverbrauch zu steigern. Mit mittelgrossen Flotten könnte mit allen EVs Lastspitzenreduzierung betrieben werden. Bei sehr grossen Flotten wäre eine Unterteilung der Flotte denkbar, so dass einige EVs für Lastspitzenreduzierung genutzt würden, während andere für Regeldienstleistungen bereitstünden. In diese Überlegungen fliesst bereits mit ein, dass die EVs für die verschiedenen Aufgaben, wie Regelleistung und Lastspitzenreduzierung, anders gesteuert werden sollten, um diese Aufgaben bestmöglich zu erfüllen. Dies, weil das Nutzen eines EVs für alle Services schwer umsetzbar ist, da Zielkonflikte eine Regelung erschweren.

Die verschiedenen Leistungsmerkmale der EVs zeigen besonders bei kleinen Flottengrössen ihren Einfluss auf die Lastspitzenreduzierung. Dabei zeichnet sich ein besonders grosser Nutzen durch die grössere Batteriekapazität ab. Mit der zusätzlichen Kapazität können längere Zeiträume von Lastspitzen abgedeckt werden. Insgesamt ist jedoch zu beobachten, dass die Leistungseigenschaften der EVs an Bedeutung verlieren, je grösser die Flotte ist.

Mit dem implementierten Regler Iteration1 und grossen Flotten mit 59 EVs lassen sich die Jahresgesamtkosten (exkl. Investitions- und Instandhaltungskosten) um bis zu15% reduzieren. Dabei wird der zusätzliche Energiebedarf mittels Ladetarif für die EV-Besitzer kompensiert. Zusätzlich werden die Lastspitzen reduziert und mit der verbleibenden Flexibilität der EVs am Regelleistungsmarkt Erlöse erzielt. In der Betrachtung der Gesamtkosten zeigen sich die Erträge aus der Regelenergie mit etwa 1% der Jahresgesamtkosten als gering. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Priorität des Reglers auf der Lastspitzenreduzierung liegt. Die Erträge aus Regelleistung könnten unter Anwendung einer anderen Regelung, auf Kosten der Erträge aus der Lastspitzenreduzierung, stark verbessert werden. Wegen der aktuell tiefen Preise scheint die Priorisierung von Regelleistung jedoch nicht sinnvoll.

Die Lastprofile der Areale ändern sich abhängig von der Steuerung der EV-Flotten. In jedem Fall steigt der Energiebedarf der Areale mit jedem EV. Werden die Flotten nicht geregelt, so werden die Areale zusätzlich neue und stärkere Lastspitzen besitzen. Bei der Regelung der EV-Flotte sind unterschiedliche Ziele möglich. Erstens die Eigenverbrauchsoptimierung, in der Stromüberschuss bspw. durch PV-Anlagen tagsüber in den EVs gespeichert wird und während der Lastspitzen am Abend und Morgen von den EVs entnommen wird. Zweitens ist eine reine Lastspitzenoptimierung denkbar, wie durch Regler Iteration1 in den Simulationen umgesetzt. Eine dritte Möglichkeit ist die optimale Regelung für Erträge aus Regelleistung. Da alle drei Steuerungsziele andere Verhaltensweisen der EVs voraussetzen, scheint es nicht sinnvoll, einen Regler zu konzeptionieren, der alle drei Ziele gleichzeitig mit allen EVs verfolgt. Bei kleinen Flotten erscheint es sinnvoll, nur ein Ziel, z.B. die Eigenverbrauchsoptimierung, auszuwählen. Bei grossen Flotten könnte es sinnvoll sein, die Flotte aufzuteilen, um mit den Teilflotten die einzelnen Ziele zu verfolgen.

Für das Areal Erlenmatt-Ost bedeuten diese Ergebnisse, dass der Fokus für zukünftige Flotten auf der Lastspitzenreduzierung liegen sollte. Die Optimierung des Eigenverbrauchs macht aufgrund der starken Lastüberhänge (wenige Monate mit Überschuss, meistens deutlich stärkerer Verbrauch) nur bedingt Sinn. Viele andere Wohnareale haben deutlich eher symmetrische Lastprofile, wo der tägliche Überschuss die Lastspitzen decken könnte. In diesem Fall würde die Eigenverbrauchsoptimierung sinnvoller sein. Sollten dort trotzdem Lastspitzen reduziert werden, könnte die Logik des Reglers Iteration1 angewendet werden, auch wenn die Parameter zur Berechnung der Schwellen angepasst werden müssten. Bei der Regelenergie sind die Preise aktuell noch tief, was die Ertragsmöglichkeiten stark einschränkt.

Allgemein zeichnet sich ab, dass die Kombination von Lastspitzenreduzierung und Regelenergie über die gesamte Flotte nicht sinnvoll ist. Die beiden Ziele erfordern andere Voraussetzungen bei der Steuerung der EV-Batterien. Erst bei grossen Flotten könnte es sinnvoll sein, die Flotte aufzuteilen und den unterschiedlichen Zielen zuzuordnen. Für die Erreichung der Ziele ist es auch wichtig, die Nutzer/ Besitzer der EVs für die entsprechenden Themen zu motivieren und zu informieren. Bisher stellten sich die Bemühungen, die Nutzer für frühzeitige Buchungen zu gewinnen, um den Planungszeitraum für den Regler zu verlängern, als schleppend heraus. Die Grundlage für V2X ist, dass die EVs nicht zu jedem Zeitpunkt und oftmals auch bei Entnahme von der Ladestation nicht voll geladen sein müssen. Um jedoch zu vermeiden, dass die Reichweite nicht gewährleistet wird, benötigt es gute Forecasts oder die Information zu geplanten Strecken (besonders für ausserordentlich lange Strecken und atypische Nutzungszeiten). Die Besitzer von EVs – nach den Typen Private und Workplace – zur Mithilfe zu motivieren, wird für den Erfolg der Steuerung von EV-Flotten wesentlich sein.

Ein weiterer Aspekt, der in der Umsetzung einer Steuerung im Areal berücksichtigt werden muss, betrifft die Tatsache, dass nicht alle EVs die gleichen Leistungsmerkmale haben. Neben den Herausforderungen in der Abbildung dieser Unterschiede, liegen auch Chancen zur besseren Nutzung der verschieden grossen Batterien und (Ent-) Ladeleistungen. Bei einem Tesla mit einer 100 kWh-Batterie reicht es vermutlich für die alltägliche Nutzung, wenn dieser bei Fahrtbeginn 50 kWh (50% SOC) aufweist. Bei einem Fahrzeug wie dem Nissan Leaf mit einer 40 kWh-Batterie könnte ein 50% SOC von 20 kWh unter Umständen zu wenig sein. Diese unterschiedlichen Merkmale könnten unter intelligener Berücksichtigung vom Regler zu einer verbesserten Nutzung der EV-Flotte führen. Neben den Leistungsmerkmalen wäre es zudem spannend und ggf. sogar nötig, die unterschiedlichen Bereitschaften der EV-Besitzer für V2X Services abzubilden. So könnten wenig genutzte Fahrzeuge

mit viel eingeräumter Flexibilität des Besitzers besser zu V2X beitragen, während andere Fahrzeuge aufgrund eher kompromissloser Besitzer wenig bis gar nicht für V2X genutzt werden.

4.4 Einbinden der Nutzenden und Steuern des Mobilitätsverhaltens

4.4.1 Interviews

Es wurden insgesamt drei ca. einstündige semi-strukturierte Interviews mit den Nutzenden des ADEV-E-Carsharings durchgeführt: am 21.05.2021, 28.05.2021 und 04.06.2021. Zu den Interviewten gehörten eine weibliche Person im Alter von 39 Jahren, eine männliche Person im Alter von 60 Jahren und eine männliche Person im Alter von 36 Jahren. Die Interviews setzten sich zusammen aus einem kurzen Begrüssungsteil, einem Warm-up-Teil mit den Fragen zur Nutzung des ADEV-E-Carsharing-Angebots, einem kurzen Interviewerinput zum Thema V2G, Fragen zum Vorwissen und Einstellungen zum Thema V2G, Fragen zu den möglichen Massnahmen zur Förderung der Einbindung der Nutzenden in das Energiemanagement mittels der V2G-Technologie sowie einem kurzen Abschlussteil (siehe Interviewleitfaden im Anhang 1, Tabelle 7). Die wichtigsten Ergebnisse aus den Interviews lassen sich folgendermassen zusammenfassen:

- Der Wissensstand zum Thema V2G variiert zwischen den Interviewten.
- Die Einstellungen zum Thema V2G sind vorwiegend positiv.
- Bei einigen Nutzenden ist eine gewisse Flexibilität bzgl. der Nutzung des E-Carsharings grundsätzlich vorhanden.
- Die Interviewten sehen im zweiteiligen Tarif die erfolgversprechendste Massnahme zur Verschiebung der Nutzungszeiten des E-Carsharings im Sinne eines Energiemanagements mit Einbezug der V2G-Technologie.
- Die Interviewten sehen zudem einen Aufklärungsbedarf zum Thema V2G.

4.4.2 Interventionseffekt: Buchungsdaten

Zur Messung des Interventionseffekts wurden Daten aus der Buchungsplattform im Zeitraum vom 1. Januar 2019 bis 30. September 2021 ausgewertet. Die Rohdaten wurden in einem ersten Schritt aufgearbeitet, wobei 82 unvollständige Einträge nicht berücksichtigt wurden. Zudem mussten einige Nutzungen zusammengeführt werden, da es pro Nutzung mehrere redundante Einträge gab. Nach der Datenbereinigung sind 711 Nutzungen ermittelt worden, wovon 225 den Nissan eNV200 und 486 den Nissan Leaf betrafen.
Abbildung 55 zeigt die Anzahl Nutzungen aufgeschlüsselt nach einzelnen Nutzenden. In oranger Farbe ist der Mittelwert von 15.46 Nutzungen pro Nutzenden dargestellt. Insgesamt gab es über den betrachteten Zeitraum 46 aktive Nutzende. Aktive Nutzende wurden als Nutzende definiert, welche mindestens einmal ein Fahrzeug gebucht haben.

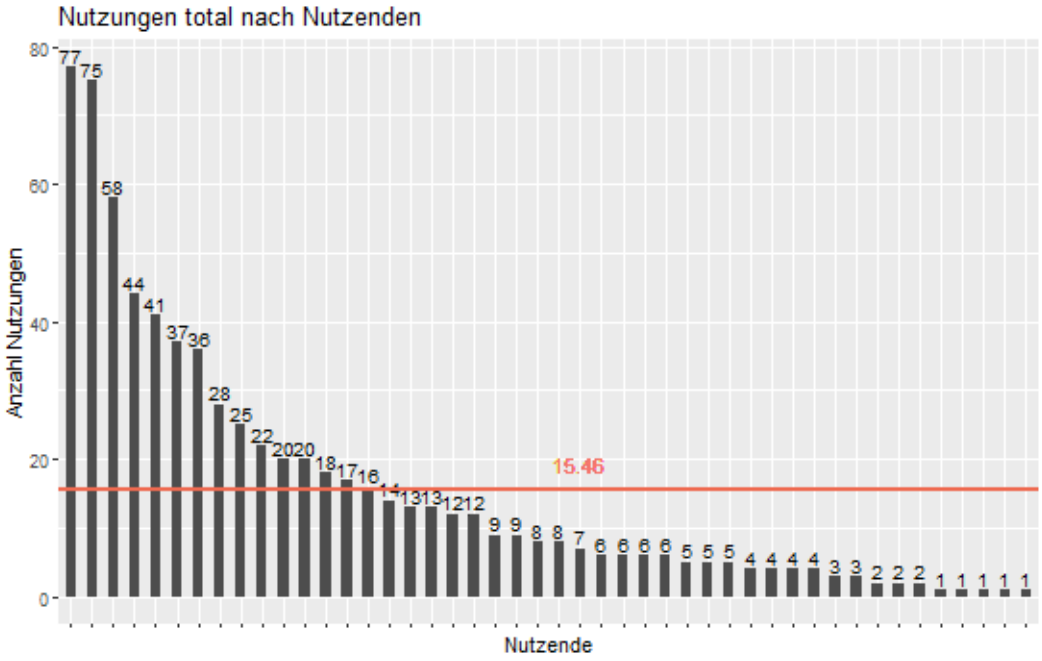


Abbildung 55: Anzahl Nutzungen, aufgeschlüsselt nach Nutzer, Periode 2.1.2019 bis 30.9.2021, in orange ist der Mittelwert der Anzahl Nutzungen pro Nutzende dargestellt

Die Analyse der Nutzungsdauer pro Nutzung hat ergeben, dass diese grösstenteils zwischen 8 und 120 Minuten betrug (Abbildung 56). Die mittlere Nutzungszeit betrug 56 Minuten.

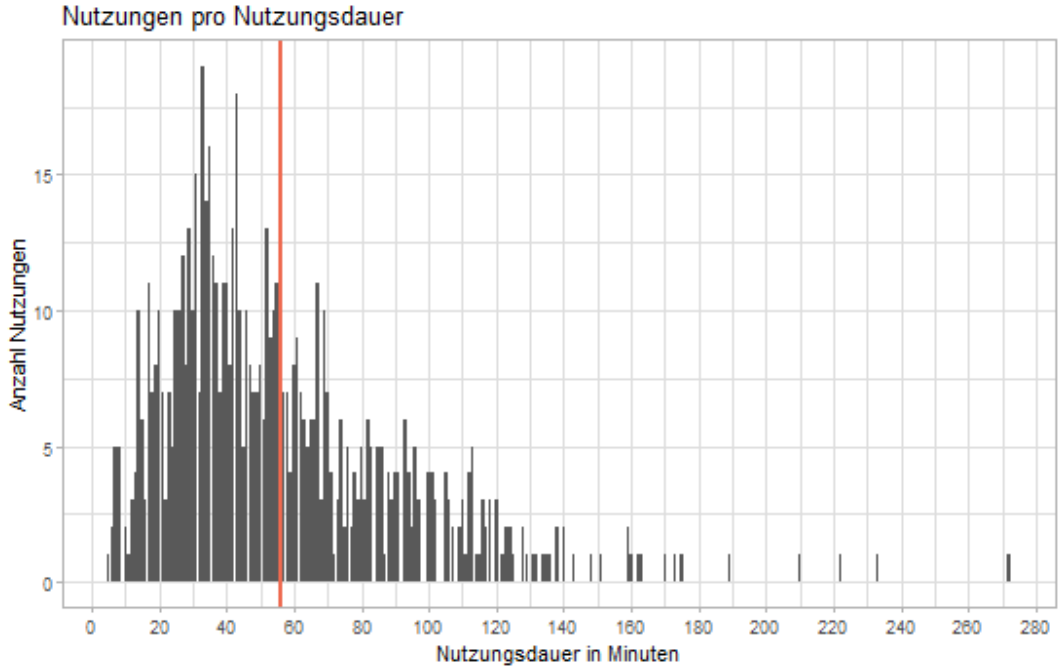


Abbildung 56: Nutzungen pro Nutzungsdauer, Periode 2.1.2019 bis 30.9.2021, in orange ist die mittlere Nutzungszeit von 56 Minuten markiert

Bei der Analyse der Abholzeitpunkte wurde ersichtlich, dass die Fahrzeuge vorwiegend zwischen 9:00 und 15:59 Uhr abgeholt wurden. Dabei variierten die Werte pro Stunde zwischen 65 und 76 Abholungen (Abbildung 57). Die Retournierungen sind hingegen weniger gleichmässig verteilt. Es gibt einen deutlichen Peak zwischen 16:00 und 16:59 Uhr mit 107 Retournierungen (Abbildung 58).

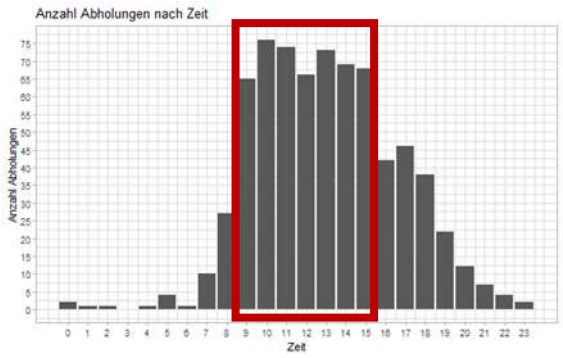


Abbildung 57: Abholzeiten nach Uhrzeit, über die Periode vom 2. Januar 2019 bis 30. September 2021, der rote Kasten verdeutlicht den beliebtesten Abholzeitraum.

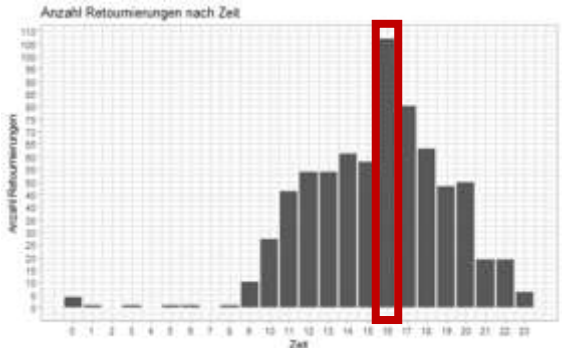


Abbildung 58: Retournierungszeiten nach Uhrzeit, über die Periode vom 2. Januar 2019 bis 30. September 2021, der rote Kasten verdeutlicht den Spitzenwert.

Wie aus Abbildung 59 ersichtlich, waren insgesamt 43 Nutzende entweder im 3. Quartal 2020 oder im 3. Quartal 2021 aktiv. Von diesen 43 Nutzenden waren 13 sowohl im 3. Quartal 2020 als auch im 3. Quartal 2021 aktiv. Während 8 Nutzende im 3. Quartal 2020, aber nicht im 3. Quartal 2021 aktiv waren, waren 9 Nutzende im 3. Quartal 2021, aber nicht im 3 Quartal 2020 aktiv.

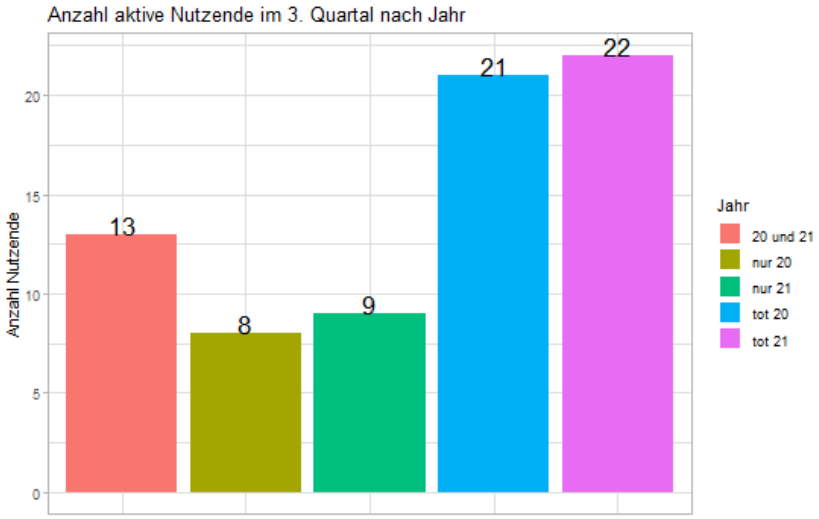


Abbildung 59: Anzahl aktive Nutzende im 3. Quartal nach Jahr

Abbildung 60 zeigt, dass es in der Interventionsphase zwei Nutzende gab, die das Angebot sehr häufig genutzt haben (16 respektive 14 Nutzungen). Bei den Nutzenden, die das Angebot in beiden Jahren genutzt haben, ist keine deutliche Veränderung in der Interventionsphase betreffend der Nutzungshäufigkeit festzustellen. Es gab in beiden Jahren 16 Nutzende, welche das Angebot ein- bis dreimal beansprucht haben.

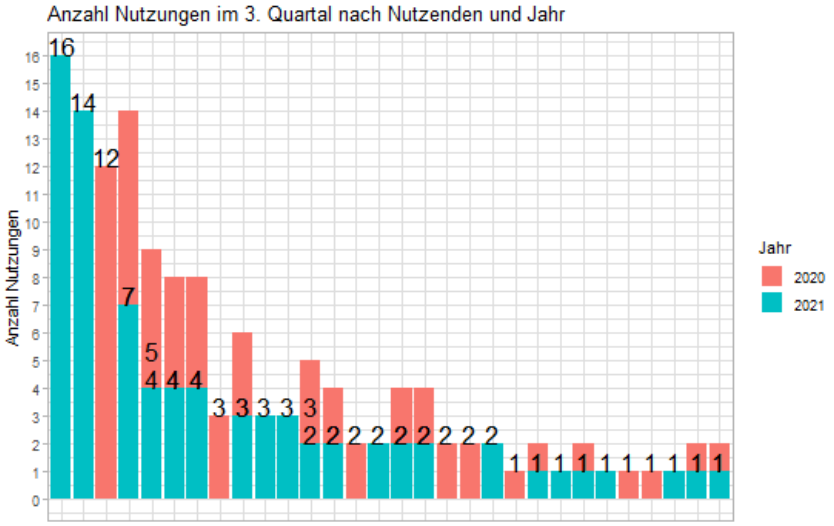


Abbildung 60: Vergleich der Anzahl Nutzungen, nach Nutzenden und Jahr sortiert

In Abbildung 61 wurden die Nutzungen nach Jahr und Monat dargestellt, um einen visuellen Überblick zu erhalten. Der Mittelwert der Nutzungen pro Monat wird mit einer orangen Linie dargestellt und liegt bei 21.6. Zu Beginn der Intervention (01.07.2021) war ein deutlicher Anstieg der Nutzungen von 12 auf 36 Nutzungen zu beobachten. Im 2. und 3. Monat nach Start der Intervention nahm die Anzahl Nutzungen zuerst auf 29 und dann weiter auf 18 Nutzungen ab.

Bei dem Vergleich der 3. Quartale der Jahre 2020 und 2021 zeigt sich, dass es insgesamt deutlich mehr Nutzungen im 3. Quartal 2021 gab (83 gegenüber 54 Nutzungen). Der Unterschied in der Anzahl Nutzungen ist allerdings hauptsächlich von einem starken Anstieg im ersten Interventionsmonat getrieben. Während die Anzahl Nutzungen im zweiten Interventionsmonat nur noch leicht höher als im Vorjahr ist, kommt es im dritten Interventionsmonat zu einer kompletten Angleichung.

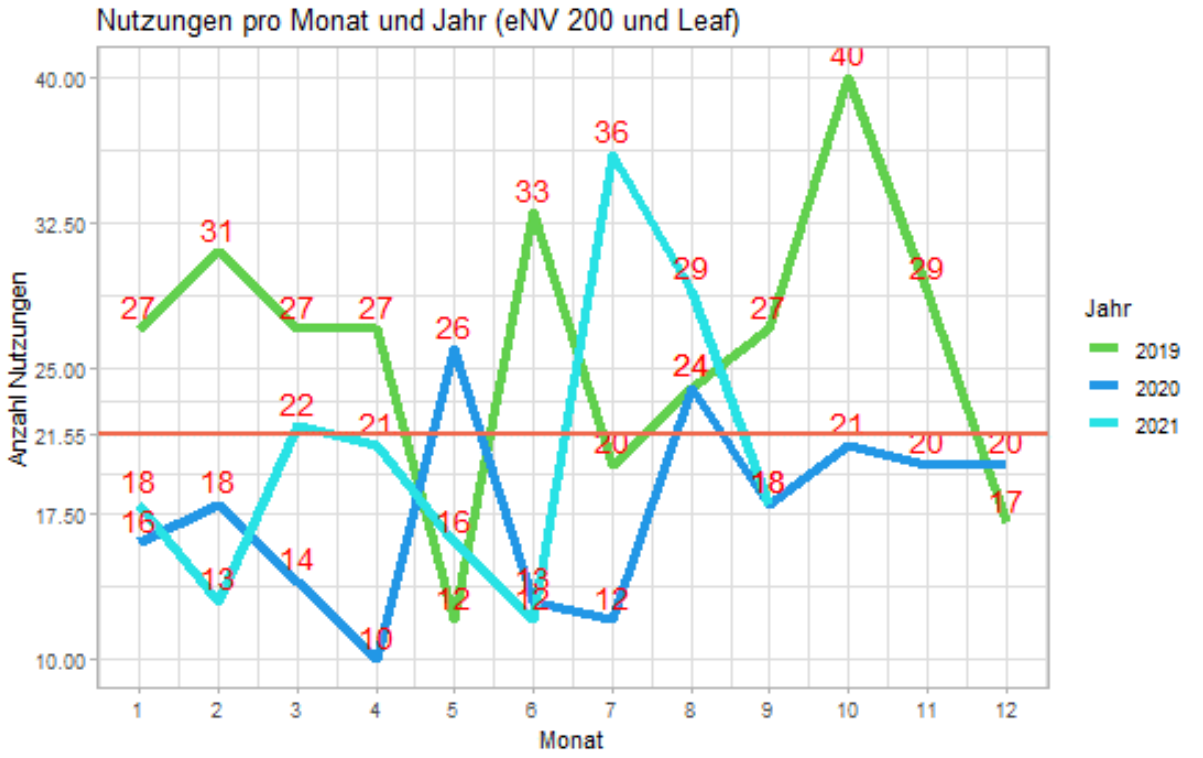


Abbildung 61: Anzahl Nutzungen, nach Jahr und Monat (Periode 2.1.2019 bis 30.9.2021); in orange ist der Mittelwert der Anzahl Nutzungen pro Nutzer dargestellt

Abbildung 63 ist der Vergleich der Abhol- und Retournierungszeiten im 3. Quartal der Jahre 2020 und 2021 dargestellt. Aus den Abbildungen ist eine Verschiebung sowohl der Abhol- als auch der Retournierungszeiten von der Hochtarif- zu der Niedertarifzeit zu beobachten. Die Ergebnisse des Fisher's exakten Tests zeigen, dass diese Verschiebungen bei den Abholungen mit einen p-Wert von 0.0085 und bei den Retournierungen mit einem p-Wert von 0.0199 signifikant sind.
Die festgestellte Verschiebung der Nutzungen konnte auch bei der Analyse der Nutzungsdauer nachgewiesen werden. So stieg der Anteil der Nutzungsdauer im Niedertarif von 85% im Jahr 2020 um 12% auf 97% im Jahr 2021 an. Die Signifikanz der Verschiebung wurde mit einem Fisher's exakter Test überprüft und durch einen p-Wert von 0.0015 bestätigt.

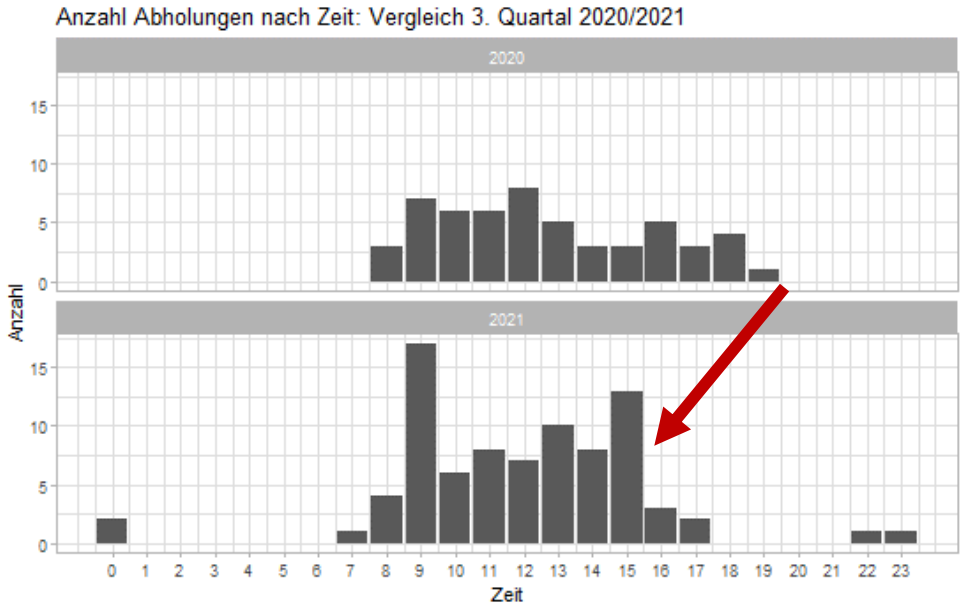


Abbildung 62: Vergleich der Abholzeiten vom 3. Quartal zwischen den Jahren 2020 und 2021; der rote Pfeil stellt die Verschiebung der Zeiten der Abholungen dar

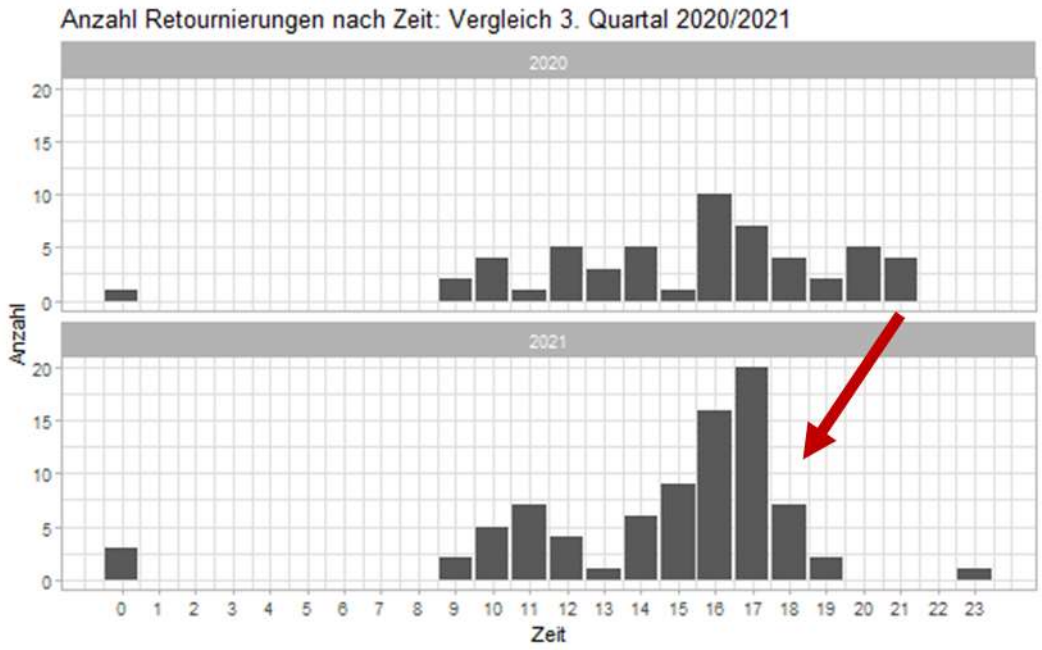


Abbildung 63: Vergleich der Retournierungszeiten vom 3. Quartal zwischen den Jahren 2020 und 2021; der rote Pfeil stellt die Verschiebung der Zeiten der Retournierungen dar

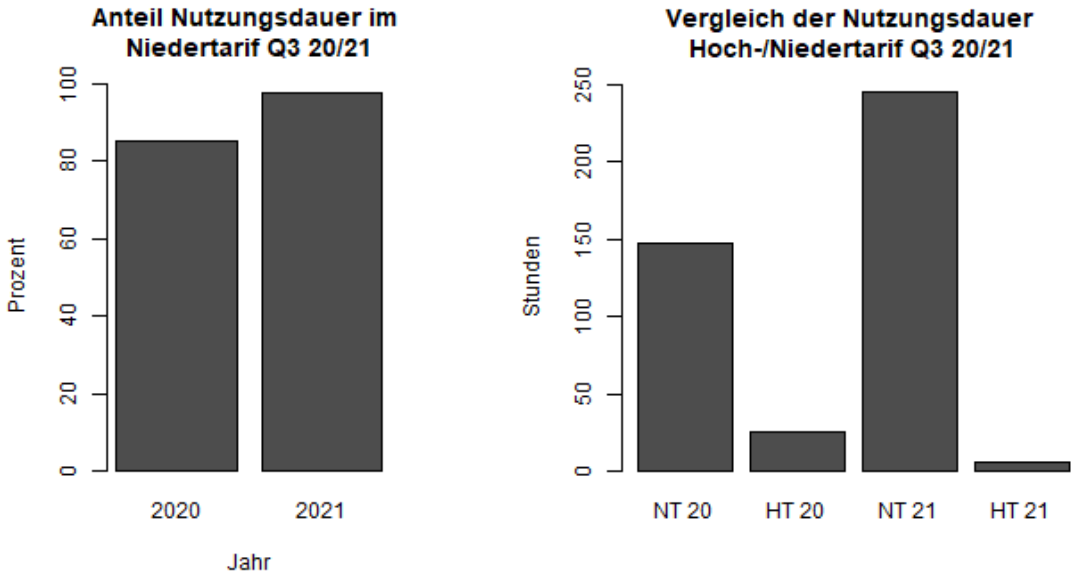


Abbildung 64: Links: Vergleich des Anteils der Nutzungsdauer vom 3. Quartal zwischen den Jahren 2020 und 2021 im Niedertarif in Prozent; Rechts: Vergleich der Nutzungsdauer im Hoch- und Niedertarif vom 3. Quartal zwischen den Jahren 2020 und 2021 in absoluten Werten

Zusammenfassend lässt sich basierend auf der Datenauswertung festhalten, dass die Intervention sowohl eine signifikante Verschiebung der Nutzungszeiten als auch den Anstieg der Nutzungen bewirkt hat. Der Effekt auf die Anzahl Nutzungen nimmt jedoch im Laufe der Zeit ab. Bei der Interpretation der Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass das Gesamtsample mit 43 Nutzenden klein war.

4.4.3 Interventionseffekt: Umfrage

Die Umfrage wurde mit dem Online-Umfragetool Unipark durchgeführt. Die Einladung zur Teilnahme an der Umfrage wurde sowohl per E-Mail als auch per Brief versendet. Die erste Einladung per E-Mail wurde am 07.10.2021 gesendet, gefolgt von einem Reminder am 20.10.2021. Von insgesamt 79 registrierten Nutzenden, welche angeschrieben wurden, haben 27 die Umfrage vollständig ausgefüllt, was eine Rücklaufquote von 34% ergibt. Die Umfrage befasste sich im Wesentlichen mit der Nutzungshäufigkeit im Allgemeinen sowie während der Intervention, mit der Wahrnehmung des Interventionsziels, mit dem Bewusstsein der Nutzenden über E-Autos als mobile Speicher, mit der zeitlichen Flexibilität der Nutzenden in der Nutzung des E-Carsharings, mit dem wahrgenommenen Einfluss der Intervention auf die Nutzung während der Intervention, mit der Anwesenheit der Nutzenden während der Intervention sowie mit den sozio-demographischen Angaben der Nutzenden. Eine detaillierte Übersicht über die Fragen und die Antwortkategorien aus der Umfrage ist in Tabelle 8 im Anhang 3 dargestellt.

Die soziodemographische Zusammensetzung der Stichprobe kann man folgendermassen beschreiben. Die Altersgruppe zwischen 36 und 45 Jahren war am stärksten vertreten. Von denjenigen, die ihr Geschlecht angegeben haben (26 von 27 Personen), waren genau 50% Frauen und 50% Männer. Mit 23 von 27 Personen mit tertiärer Bildung ist die Stichprobe mit einem weitaus

überdurchschnittlichen Bildungsgrad verbunden. Die am stärksten vertretene Kategorie bzgl. des monatlichen Haushaltseinkommen war zwischen 6'001 und 9'000 CHF.
Die überwiegende Mehrheit der Befragten (24/27) war höchstens 3 bis 4 Wochen während der 3 Monate dauernden Intervention abwesend. Was die Nutzungshäufigkeit betrifft, so gaben mehr als die Hälfte der Befragten (15/27) an, einige Male pro Jahr das E-Carsharing-Angebot zu nutzen. Während der Intervention aber gaben 11 von 27 Befragten an, kein einziges Mal das E-Carsharing genutzt zu haben.

19 von 27 Befragten gaben an, dass der Einsatz der mobilen Speicher für Energiemanagementzwecke etwas ist, was sie kennen und worin sie Potential sehen. 4 von 27 Befragten hingegen behaupteten, dass der Einsatz von mobilen Speichern für Energiemanagementzwecke ihnen nicht bekannt ist. Während 23 von 27 Befragten angaben, in der Nutzung von ADEV-E-Carsharing zeitlich einigermassen (19 von 27) bis sehr (4 von 27) flexibel zu sein, behaupteten 22 von 27 Befragten, dass der Verzicht auf die Nutzung von ADEV-E-Carsharing zwischen 18 und 22 Uhr für sie möglich wäre, sei es im Falle einer Kompensation (10 von 27) oder weil sie dadurch zum Energiemanagement in ihrer Siedlung beitragen (7 von 27) oder aus anderen Gründen (5 von 27).

Von den 16 Befragten, die angeben, mindestens einmal während der Intervention das E-Carsharing genutzt zu haben, gaben 14 an, dass die sie die Tarifänderung dazu veranlasste, das E-Carsharing öfter zu nutzen, als sie es sonst gemacht hätten, davon 12 , weil für sie durch die Tarifänderung das Angebot attraktiver geworden ist und 2, weil sie das Ziel der Intervention unterstützen wollten. 2 Befragte gaben an, dass sie die Intervention nicht dazu veranlasst hat, das E-Carsharing öfter zu nutzen, als sie es sonst gemacht hätten. Von den 16 Befragten, die angeben, mindestens einmal während der Intervention das E-Carsharing genutzt zu haben, gaben 10 Befragte an, dass sie die Tarifänderung dazu veranlasste, mindestens einmal das E-Carsharing in der Niedertarifzeit statt in der Hochtarifzeit zu nutzen: 8 Befragte, weil durch die Tarifänderung die Nutzung in der Niedertarifzeit für sie attraktiver geworden ist, 2 Befragte, weil sie das Ziel der Intervention unterstützen wollten.

4.5 Kommunikation, Dissemination und Wissenstransfer

Für die Aufgabenbereiche Kommunikation, Dissemination und Wissenstransfer des Forschungsprojektes wurde im Jahr 2019 ein Kommunikationskonzept erstellt, mit dem Projektteam geteilt und der Auftraggeberin vertragsgemäss eingereicht. Das übergeordnete Ziel des Konzeptes war es, die Dissemination, den Wissenstransfer und die Öffentlichkeitsarbeit für das Forschungsprojekt zu planen und dank Massnahmenplan die Umsetzung sicherstellen.

Dem Konzept lag die Idee zugrunde, dass das multi- und transdisziplinäre Forschungsprojekt “Smarte Mobilität mit nachhaltigem E-Carsharing und bidirektionalem V2X» hohe Anforderungen an die Kommunikation stellt. Daher zielte es darauf ab, verschiedenen Stakeholdern das komplexe Forschungsprojekt sowohl nach innen (Bewohnende und Mitarbeitende des Areals) als auch nach aussen (regional, national) bekannt zu machen. Neben der eigentlichen Dissemination (Kommunikation mit der wissenschaftlichen Community) kam dabei dem Transfer der Resultate von der Forschung in die Wirtschaft und in die breite Öffentlichkeit besondere Bedeutung zu.

Seitens Gesellschaft und Politik besteht die Erwartung an die Wissenschaft, wissensbasierte Informationen in einer Weise aufzubereiten, dass sie unmittelbar oder mittelbar gesellschaftlich nutzbar sind. Häufig ist damit auch der Anspruch verbunden, verschiedene Zielgruppen aus

Gesellschaft und Politik stärker in den Wissenschaftsprozess einzubeziehen. Beiden Forderungen wollte das Projektteam entgegenkommen, so weit es der beschränkte zeitliche und finanzielle Rahmen des Pojektes zuliess.
Das Projekt «Smarte Mobilität» zeichnet sich durch einen transdisziplinären Forschungsansatz aus und verschiedene gesellschaftlicher Akteurinnen und Akteure (z.B. Arealbetreiberin Stiftung Habitat, Bewohnenden des Areals Erlenmatt Ost) und nicht zuletzt die Nutzenden des E-Carsharings waren bereits seit dem Vorgängerprojekt «OKEE» beteiligt am Prozess. Somit bestanden sehr gute Voraussetzungen dafür, dass die resultierenden Erkenntnisse und Eergebnisse durch diese Beteiligungen auf dem Areal, in der Stadt Basel und darüber hinaus breit wahrgenommen würden.

Das Kommunikationskonzept beinhaltete die planerischen Grundlagen, damit das Forschungsprojekt «Smarte Mobilität» mit seinen verschiedenen Ergebnissen dank Kommunikation, Dissemination und Wissenstransfer erstens diversen spezifischen nationalen und regionalen Zielgruppen sowie zweitens international ausgewählten Kreisen und Ländern bekannt wurde. Die darauf aufbauende Umsetzung der Massnahmen erfolgte auftragsgerecht in den Jahren 2019 bis 2022.

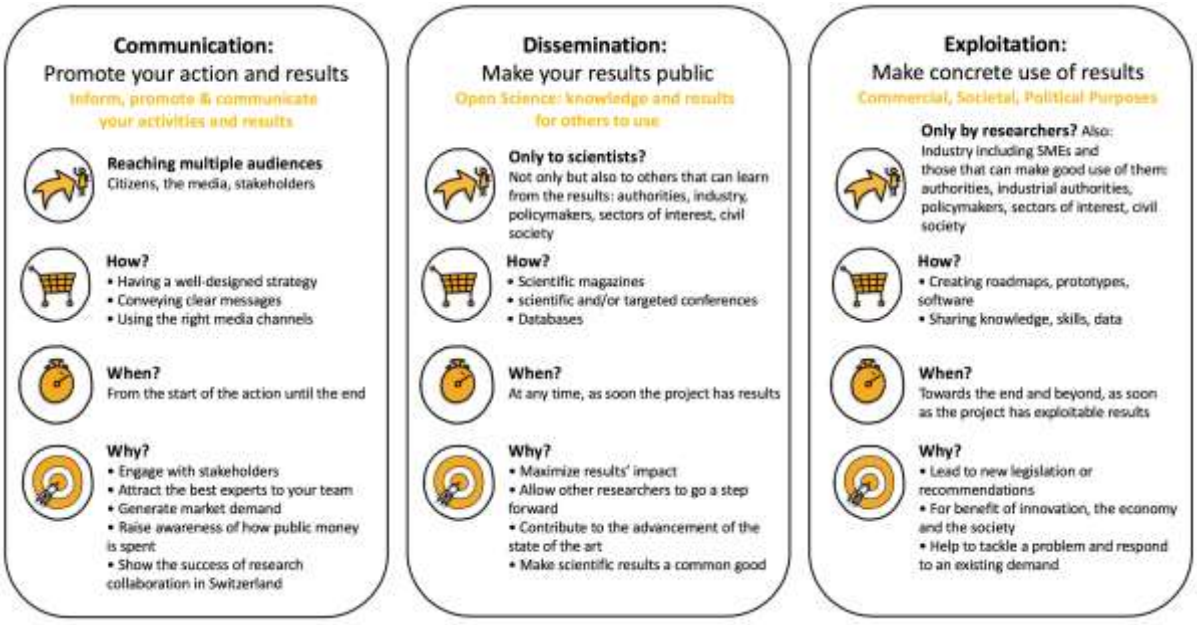


Abbildung 65: Konzept Wissens- und Technologietransfer mit drei Bereichen

Für den Wissens- und Technologietransfer (WTT) wurden Massnahmen in den Bereichen Kommunikation, Dissemination und Exploitation ergriffen (vgl. Abbildung 65[5]). Im Bewusstsein, dass die Abgrenzungen zwischen diesen drei etablierten Bereichen nicht immer eindeutig sind, werden im Folgenden die Resultate den drei Bereichen zugeordnet.

[5] Quelle: Roschewitz & Björnsen (2021): Reframing Knowledge & Technology Transfer for Swiss Energy Research, S. 24.

4.5.1 Resultate Kommunikation

- 3/2019 Projekthomepage ist online und wird laufend aktualisiert
- Strom zum Kochen und zum Autofahren: Zweiseitiger Artikel in der Auto-Umweltliste 2019 (3/2019)
- Energie-Speicherung in Arealen am Beispiel Erlenmatt Ost: Referat Andreas Appenzeller am Forum Energiespeicher Schweiz von **aee**suisse (4/2019)
- Wie das Stromnetz Elektroautos verkraftet. (Scan) (Text vor Layout): Artikel in NZZ, Forschung und Technik, 7. Juni 2019, S. 53 (6/2019)
- 7/2019 Kommunikationskonzept liegt vor
- 8/2019 Nationale Mobilitätskonferenz ARE: Open Session Anna Roschewitz und Astrid Björnsen (WSL) «Die Sektorkopplung als Schlüssel zu einem nachhaltigen Mobilitäts- und Energiesystem – am Beispiel von E-Carsharing». Das Fotoprotokoll der Session mit handgezeichneten Postern gibt Einblick in das Wissen und die Einstellungen der Fachpersonen zum Thema.
- Referat Anna Roschewitz Mobilitätsarena 2019 «E-Carsharing in das Energiemanagementsystem eines Areals integrieren: Erkenntnisse aus einem innovativen Umsetzungsprojekt» Mobilitätsarena Bern, 18.9.2019
- E-Auto kann mehr als fahren. Kurz-Bericht über das Projekt in «Adieu Erdöl: Die Energiezukunft ist erneuerbar». vcö-magazin 2019-03. Seite 6f.
- Sektorkopplung und V2X im Basler Areal Erlenmatt Ost: Fachveranstaltung am 21.10.2019 mit Kurz-Referaten über den Einsatz der bidirektionalen Elektrofahrzeuge als intelligente Speicher für das Energiesystem der Zukunft, inklusive Besichtigung der Heizzentrale und Ladeinfrastruktur sowie Probefahrten. Referate und Fotos online. Referate von Dominik Keller (AUE), Andreas Appenzeller (ADEV), David Zogg (SEC), Jörg Musiolik (zhaw) und Anna Roschewitz (novatlantis) Referate und Fotos
- Basler Quartier nimmt Energieversorgung selber in die Hand. In: Schweizer Energiefachbuch 2020, S. 96-99. Dr. Benedikt Vogel, im Auftrag des Amts für Umwelt und Energie Basel-Stadt (AUE).
- 2/2022 Ein neuer Fachartikel zum Projekt von B. Vogel im Auftrag des BFE greift u.a. erste Ergebnisse der Verhaltensintervention auf.
- 2/2022 Im Video-Interview von B. Vogel im Auftrag des BFE erläutert Andreas Appenzeller (ADEV) die Chancen und Herausforderungen des Projektes.

Alle Artikel, Präsentationen und Videos sind auf der Projekthomepage von novatlantis verlinkt.

4.5.2 Resultate Dissemination

- 5/2019 Präsentation «E-car sharing and bidirectional V2X: insights into applied research projects in Switzerland», Workshop IEA-Task 43 Vehicle Grid Integration
- 8/2019 Einsitz Dr. Anna Roschewitz in das Advisory Board des ETH-Forschungsprojektes «Enabling Flexible Electric Vehicle Grid Integration» (ErVIn), Projektleitung Dr. Annegret Stephan, SusTec, ETH Zürich.
- 4/2020 Erster Zwischenbericht “Smarte Mobilität V2X” als kompakter Überblick mit vielen Abbildungen. Der erste Zwischenbericht zum dreijährigen Forschungsprojekt gibt Auskunft über die Arbeiten, Erfolge und auch Hürden dieser zukunftsweisenden Umsetzung.
- 11/2020 Sektorkopplung umgesetzt: Erfahrungen aus dem Pilotprojekt im Basler Areal Erlenmatt Ost zu Energie, Mobilität und Menschen. Vorlesung A. Roschewitz, CAS Nachhaltige Entwicklung, Uni Bern.
- 4/2021 Der zweite Zwischenbericht 2020 “Smarte Mobilität V2X” enthält aktuelle Informationen über die Arbeiten im zweiten Projektjahr. Der Fokus liegt dabei auf der Optimierung des smarten Energiemanagers und auf der Simulation.

- 11/2021 Sektorkopplung umgesetzt: Erfahrungen aus dem Pilotprojekt im Basler Areal Erlenmatt Ost zu Energie, Mobilität und Menschen. Vorlesung A. Roschewitz, CAS Nachhaltige Entwicklung, Uni Bern.
- 3/2022 Schlussbericht “Smarte Mobilität V2X” zum dreiährigen Forschungsprojekt mit umfassenden Informationen, Tabellen, Abbildungen und Diskussionen zu Ergebnissen und Prozess des Projektes.
- 11/2022 Tomic,U., P. Vögeli, J. Musiolik (2022): Changing e-carsharing user behavior towards an optimized energy management: Evidence from a Swiss energy efficient district. Transportation Research Arena, Conference, Lisbon 2022.

Alle Artikel, Präsentationen und Berichte sind auf der Projekthomepage von novatlantis verlinkt.

4.5.3 Resultate Exploitation

- Diverse Anfragen von EVUs, z.B. IWB (Basel), IBB (Brugg) und EWB (Bern) mit Besprechungen, Präsentationen und teilweise Areal-Begehungen
- Anfragen von Immobilienverantwortlichen, z.B. in Schaffhausen und Winterthur
- 2021: Demonstrationsprojekt «V2X Suisse»

Während der gesamten Laufzeit des Projektes wurden zahlreiche Massnahmen ergriffen, um ein Projekt-Upscaling zu realisieren, sei es mit einer grösseren EV-Flotte, privaten EVs oder mit einem EVU. Doch trotz diverser Anfragen von EVUs und Immobilienverantwortlichen sowie einem erheblichen Aufwand für Kontaktaufnahme, Beratungsgespräche und sogar Areal-Begehungen konnte in diesem Rahmen kein Folgeprojekt realisiert werden.

Im Jahr 2021 startete mit dem Demonstrationsprojekt «V2X Suisse» unter der Gesamtprojektleitung von Mobility Genossenschaft ein grosses V2X-Projekt mit 50 bidirektionalen EVs in allen Sprachregionen und damit das zweite V2X-Umsetzungsprojekt in der Schweiz. novatlantis ist Mitgesuchstellerin und Projektpartnerin in den Bereichen Qualitätssicherung sowie Wissens- und Technologietransfer.

5 Schlussfolgerungen und Fazit

5.1 Schlussfolgerungen für das Areal Erlenmatt Ost

Es konnte gezeigt werden, dass dank der aktiven Regelung (Lastmanagement) die Lastspitzen im Areal markant reduziert werden können. Bei den aktuell 2 Elektro-Fahrzeugen konnte das Potential von 20 kW (2x 10 kW) zu einem grossen Teil ausgenutzt werden, solange die beiden Fahrzeuge anwesend waren. Dies war allerdings erst nach der Benutzer-Intervention der Fall. Bei dieser Intervention wurde auch ein tariflicher Anreiz festgelegt, damit die Fahrzeuge zu Spitzenlastzeiten anwesend waren. Die Intervention war erfolgreich.

Die Simulationen haben gezeigt, dass bei einer Flotte von mehreren Elektro-Fahrzeugen das Potential erheblich grösser ist. Ohne Regelung würden sich die Lastspitzen fast verdoppeln. Mit Regelung können diese sogar markant reduziert werden gegenüber dem Areal ohne Flotte (vgl. Abbildung 66, Reduktion pro Monat um ca. 50 bis 100 kW bei ca. 60 Fahrzeugen). Daher kann das V2X einen namhaften Beitrag zur Reduktion der Lastspitzen im Areal leisten, sobald genügend Fahrzeuge vorhanden sind.

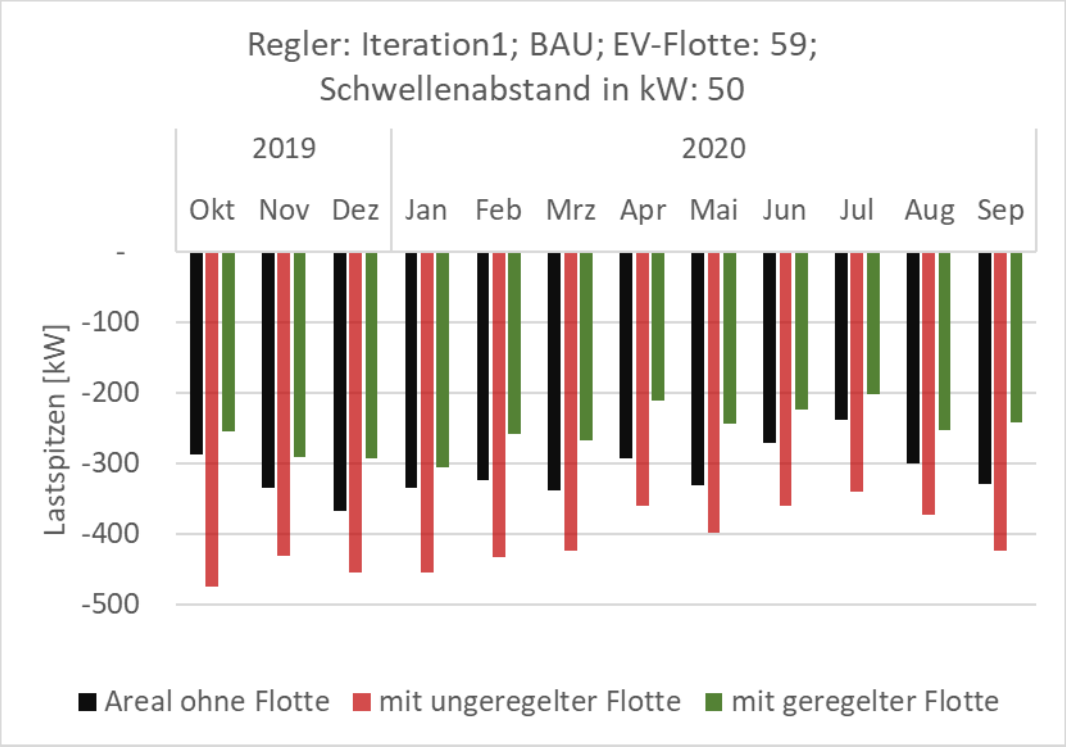


Abbildung 66: Monatlicher Lastspitzenvergleich

Für das Areal Erlenmatt Ost haben die Simulationen gezeigt, dass ab einer Flottengrösse von ca. 30 Fahrzeugen ein namhafter Beitrag an die Lastspitzenreduktion geleistet werden kann (Abbildung 67).

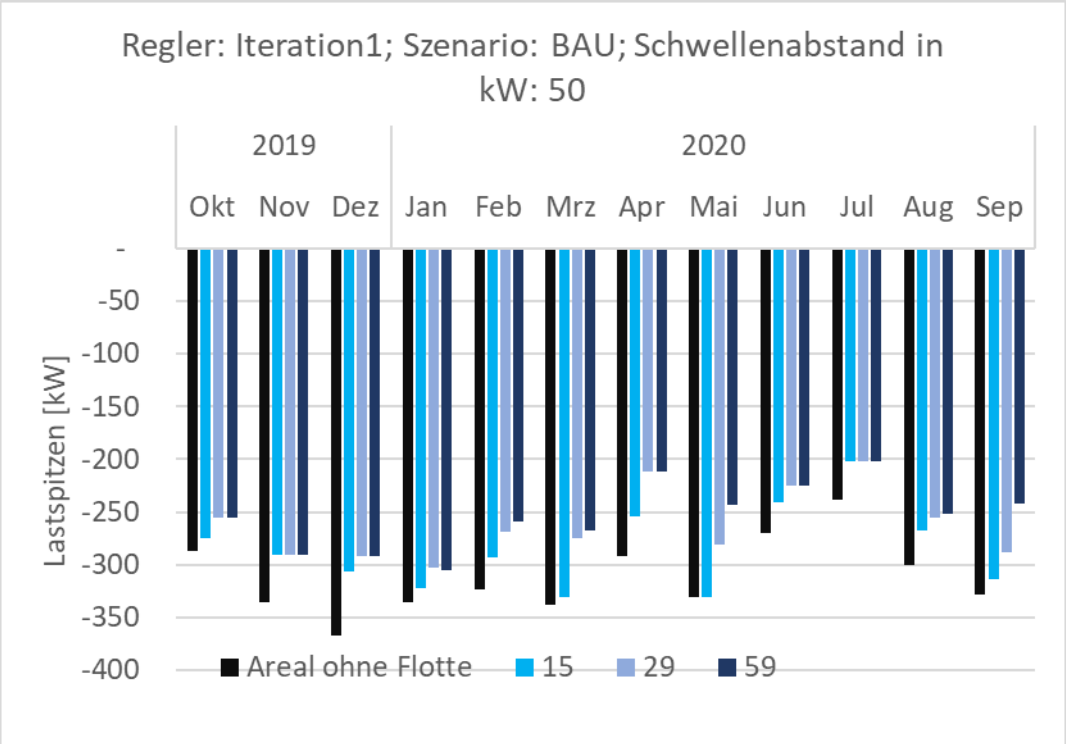


Abbildung 67: Monatliche Lastspitzenreduzierung Szenario BAU mit unterschiedlich grossen EV-Flotten

Wie bei Pilotprojekten üblich, war auch dieses angewandte Forschungsprojekt aus verschiedenen Gründen noch nicht wirtschaftlich. Dies primär wegen den aktuell hohen Preisen für die bidirektionalen Ladeboxen (2022 ca. CHF 10'000 pro Ladebox). Es konnte jedoch gezeigt werden, dass mit der geregelten Flotte erhebliche Kosten eingespart werden können (vgl. Abbildung 68) und zwar ca. CHF 14'000 pro Jahr bei ca. 60 Fahrzeugen und aktuellem Leistungstarif). In Zukunft wird dieser Business Case interessanter werden, wenn einerseits der Leistungstarif steigt und andererseits die Kosten für die Ladeboxen sinken. Zudem sind zusätzliche Dienstleistungen mit der Teilnahme am schweizweiten Regelenergiemarkt denkbar.

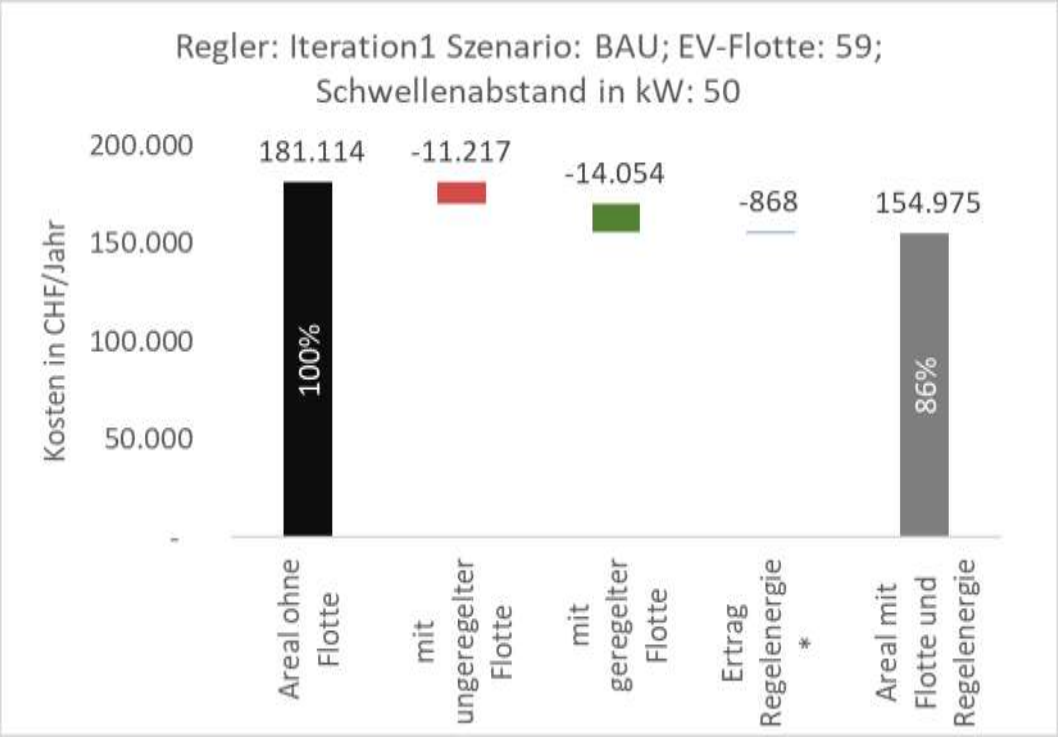


Abbildung 68: Gesamtkosten als Wasserfalldiagramm Szenario BAU

Für das Areal Erlenmatt-Ost kann basierend auf der Umfrage eine weitere Schlussfolgerung festgehalten werden: Die Nutzenden des E-Carsharings scheinen zeitlich flexibel zu sein und auf eine Nutzung während des Peaks am Abend verzichten zu können. Zudem ist einer Mehrheit der Nutzenden das Thema «mobile Speicher und ihr Einsatz zu Energiemanagementzwecken» bekannt. amsehen ein gewisses Potential darin. Dies legt eine hohe Akzeptanz des zweiteiligen Tarifs unter den Nutzenden des ADEV-E-Carsharings nahe.

5.2 Schlussfolgerungen für Areale in der Schweiz

Das Areal in Erlenmatt Ost war ein Spezialfall in verschiedenen Hinsichten. Einerseits stand eine hohe Überlast mit bis zu 350 kW einer kleinen Regelleistung von maximal 20 kW (2x 10kW) der Elektro-Fahrzeuge gegenüber. Andererseits waren die Fahrzeuge in einem CarSharing-Modell integriert und die Nutzung war relativ gering, da es sich um eine mobilitätsarme Überbauung handelt. Eine direkte Übertragung der effektiven Resultate vor Ort auf andere Areale ist deshalb nicht möglich. Es konnte jedoch erstmals in der Schweiz gezeigt werden, dass das bidirektionale Laden unter realen Bedingungen gut möglich ist. Der Proof of Concept ist damit klar gegeben. Der Vorteil des CarSharings war die Planbarkeit der Nutzung durch die Buchungsplattform.

Aufgrund der beschränkten Übertragbarkeit der Resultate wurden ausführliche Simulationen durchgeführt. Diese Resultate sind sehr gut auf andere Areale übertragbar. Es kann generell gesagt werden, dass eine gewisse Flottengrösse notwendig ist, damit sich V2X lohnt. In Erlenmatt waren 30 Fahrzeuge notwendig, in anderen Arealen mit tieferer Last könnten auch schon 10 Fahrzeuge interessant sein. Allerdings müssen die Kosten für die Ladeboxen erheblich sinken (von aktuell CHF 10'000 auf ca. CHF 2'000 pro Ladebox) und die Verfügbarkeit von bidirektionalen Fahrzeugen

auf dem Markt muss massiv erhöht werden (aktuell sind lediglich 5 Fahrzeuge verfügbar, davon die meisten japanischer Herkunft). Auch die deutschen und internationalen Hersteller müssen auf die Bidirektionalität aufspringen. Mit der neuen Ladenorm für CCS (und CHAdeMO) ist dies gegeben.

Es wird empfohlen, den Markt laufend zu beobachten und bei der Installation neuer Ladeboxen heute bereits die Möglichkeiten von V2X zu berücksichtigen. Dazu sind intelligente Steuerungen notwendig, welche in Zukunft mit dieser Funktion erweitert werden können.

Eine weitere Schlussfolgerung für Areale in der Schweiz kann aus der Verhaltensintervention gezogen werden. Wie diese zeigte, ist es grundsätzlich möglich, mittels eines zweiteiligen Tarifs und begleitet von einer Informationskampagne, die Nutzungszeiten des E-Carsharings im Sinne eines Peak Shavings am Abend zu beeinflussen.

5.3 Schlussfolgerungen für Areale mit wachsenden EV-Flotten

Kleine Flotten (15 EVs) bringen pro Fahrzeug einen grossen zusätzlichen Nutzen für das Reduzieren von Lastspitzen, haben aber keine zuverlässige Verfügbarkeit während der Lastspitzen. Dadurch können nicht in jedem Monat die entscheidenden Lastspitzen optimal reduziert werden. Mittelgrosse EV-Flotten (29 EVs) zeigen bereits bessere Ergebnisse der Lastspitzenreduzierung und haben eine deutlich bessere Verfügbarkeit. Allerdings sind während einiger Lastspitzen bereits mehr EVs vorhanden als für die Reduzierung benötigt würden. Bei grossen Flotten (59 EVs) ist der zusätzliche Nutzen für die Lastspitzenreduzierung gegenüber der mittleren Flotte gering.

Aus den Ergebnissen wird ersichtlich, dass nicht alle EVs benötigt werden, um die angestrebten Lastreduzierungen zu erreichen. Daher wäre es im Kontext der EV-Diffusion in einem Areal denkbar, die Nutzung der EV-Flotte für verschiedene Energiedienstleistungen zu unterscheiden. Beispielsweise kann angestrebt werden, mit kleinen Flotten den Eigenverbrauch zu steigern. Mit mittelgrossen Flotten hingegen könnte mit allen EVs Lastspitzenreduzierung betrieben werden. Bei sehr grossen Flotten wiederum wäre eine Unterteilung der Flotte denkbar, so dass einige EVs für Lastspitzenreduzierung genutzt würden, während andere für Regeldienstleistungen bereitstünden. In diese Überlegungen fliesst bereits mit ein, dass die EVs für die verschiedenen Aufgaben, wie Regelleistung und Lastspitzenreduzierung, anders gesteuert werden sollten, um diese Aufgaben bestmöglich zu erfüllen. Dies, weil die Nutzung eines EVs für alle Services schwer umsetzbar ist, da Zielkonflikte eine Regelung erschweren.

Die verschiedenen Leistungsmerkmale der EVs zeigen insbesondere bei kleinen Flottengrössen ihren Einfluss auf die Lastspitzenreduzierung. Dabei zeichnet sich ein besonders grosser Nutzen durch die grössere Batteriekapazität ab. Mit der zusätzlichen Kapazität können längere Zeiträume von Lastspitzen abgedeckt werden. Insgesamt ist jedoch zu beobachten, dass die Leistungseigenschaften der EVs an Bedeutung verlieren, je grösser die Flotte ist.

Mit dem implementierten Regler Iteration1 und grossen Flotten mit 59 EVs lassen sich die Jahresgesamtkosten (exkl. Investitions- und Instandhaltungskosten) um bis zu15% reduzieren. Dabei wird der zusätzliche Energiebedarf mittels Ladetarif für die EV-Besitzer kompensiert. Zusätzlich werden die Lastspitzen reduziert und mit der verbleibenden Flexibilität der EVs am Regelleistungsmarkt Erlöse erzielt.

In der Betrachtung der Gesamtkosten zeigen sich die Erträge aus der Regelenergie mit etwa 1% der Jahresgesamtkosten als gering. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Priorität des Reglers auf der Lastspitzenreduzierung liegt. Die Erträge aus Regelleistung könnten unter Anwendung einer anderen Regelung, auf Kosten der Erträge aus der Lastspitzenreduzierung, stark verbessert werden. Wegen der aktuell tiefen Preise scheint die Priorisierung von Regelleistung jedoch nicht sinnvoll.

Die Lastprofile der Areale ändern sich abhängig von der Steuerung der EV-Flotten. In jedem Fall steigt der Energiebedarf der Areale mit jedem EV. Werden die Flotten nicht geregelt, so werden die Areale zusätzlich neue und stärkere Lastspitzen besitzen. Bei der Regelung der EV-Flotte sind unterschiedliche Ziele möglich. Erstens die Eigenverbrauchsoptimierung, in der Stromüberschuss beispielweise durch PV-Anlagen tagsüber in den EVs gespeichert wird und während der Lastspitzen am Abend und Morgen von den EVs entnommen wird. Zweitens ist eine reine Lastspitzenoptimierung denkbar, wie durch Regler Iteration1 in den Simulationen umgesetzt. Eine dritte Möglichkeit ist die optimale Regelung für Erträge aus Regelleistung. Da alle drei Steuerungsziele andere Verhaltensweisen der EVs voraussetzen, scheint es nicht sinnvoll, einen Regler zu konzeptionieren, der alle drei Ziele gleichzeitig mit allen EVs verfolgt. Bei kleinen Flotten erscheint es sinnvoll, nur ein Ziel, z.B. die Eigenverbrauchsoptimierung, auszuwählen. Bei grossen Flotten könnte es sinnvoll sein, die Flotte aufzuteilen, um mit den Teilflotten die einzelnen Ziele zu verfolgen.

Für das Areal Erlenmatt-Ost bedeuten diese Ergebnisse, dass der Fokus für zukünftige Flotten auf der Lastspitzenreduzierung liegen sollte. Die Optimierung des Eigenverbrauchs macht aufgrund der starken Lastüberhänge (wenige Monate mit Überschuss, meistens deutlich stärkerer Verbrauch) nur bedingt Sinn. Viele andere Wohnareale haben deutlich eher symmetrische Lastprofile, wo der tägliche Überschuss die Lastspitzen decken könnte. In diesem Fall würde die Eigenverbrauchsoptimierung sinnvoller sein. Sollten dort trotzdem Lastspitzen reduziert werden, könnte die Logik des Reglers Iteration1 angewendet werden, auch wenn die Parameter zur Berechnung der Schwellen angepasst werden müssten. Bei der Regelenergie sind die Preise aktuell noch tief, was die Ertragsmöglichkeiten stark einschränkt.

Allgemein zeichnet sich ab, dass die Kombination von Lastspitzenreduzierung und Regelenergie über die gesamte Flotte nicht sinnvoll ist. Die beiden Ziele erfordern andere Voraussetzungen bei der Steuerung der EV-Batterien. Erst bei grossen Flotten könnte es sinnvoll sein, die Flotte aufzuteilen und den unterschiedlichen Zielen zuzuordnen. Für die Erreichung der Ziele ist es auch wichtig, die Nutzer bzw. Besitzerinnen der EVs für die entsprechenden Themen zu motivieren und zu informieren. Bisher stellten sich die Bemühungen, die Nutzer für frühzeitige Buchungen zu gewinnen, um den Planungszeitraum für den Regler zu verlängern, als schleppend heraus. Die Grundlage für V2X ist, dass die EVs nicht zu jedem Zeitpunkt und oftmals auch bei Entnahme von der Ladestation nicht voll geladen sein müssen. Um jedoch zu vermeiden, dass die Reichweite nicht gewährleistet wird, benötigt es gute Forecasts oder die Information zu geplanten Strecken (besonders für ausserordentlich lange Strecken und atypische Nutzungszeiten). Die Besitzer von EVs – nach den Typen «Private» und «Workplace» – zur Mithilfe zu motivieren, wird für den Erfolg der Steuerung von EV-Flotten wesentlich sein.

Ein weiterer Aspekt, der in der Umsetzung einer Steuerung im Areal berücksichtigt werden muss, betrifft die Tatsache, dass nicht alle EVs die gleichen Leistungsmerkmale haben. Neben den Herausforderungen in der Abbildung dieser Unterschiede liegen auch Chancen zur besseren Nutzung der verschieden grossen Batterien und (Ent-) Ladeleistungen. Bei einem Tesla mit einer 100 kWh-Batterie reicht es vermutlich für die alltägliche Nutzung, wenn dieser bei Fahrtbeginn 50 kWh (50%

SOC) aufweist. Bei einem Fahrzeug wie dem Nissan Leaf mit einer 40 kWh-Batterie könnte ein 50% SOC von 20 kWh unter Umständen zu wenig sein. Diese unterschiedlichen Merkmale könnten unter intelligener Berücksichtigung vom Regler zu einer verbesserten Nutzung der EV-Flotte führen. Neben den Leistungsmerkmalen wäre es zudem spannend und ggf. sogar nötig, die unterschiedlichen Bereitschaften der EV-Besitzer für V2X Services abzubilden. So könnten wenig genutzte Fahrzeuge mit viel eingeräumter Flexibilität des Besitzers besser zu V2X beitragen, während andere Fahrzeuge aufgrund eher kompromissloser Besitzer wenig bis gar nicht für V2X genutzt werden.

6 Ausblick und zukünftige Umsetzung

6.1 Weitere Umsetzung im Areal Erlenmatt Ost

Das E-Carsharing wird, wie im Projekt aufgebaut, auch nach nach dem Projektende unverändert von der ADEV angeboten. Ebenso erfolgt weiterhin das Peakshaving. Zudem prüft die ADEV derzeit, wie der Energiemanager weiter betrieben werden kann.
Das Projekt hat zu einem zusätzlichen Interesse von einigen Bewohnenden an der Elektromobilität geführt und sie sind an die ADEV herangetreten auf der Suche nach Lademöglichkeiten für ihre privaten, nicht bidirektionalen EVs. Ergänzend zum E-Carsharing bietet die ADEV daher neu auch die Installation von Ladestationen für private EV-Fahrende an.
Längerfristig ist es auch denkbar, die bidirektionale Flotte im Areal auszubauen. Dies wäre jedoch nur dann wirtschaftlich vertretbar, wenn einerseits die Preise für bidirektionale EVs und Ladeinfrastruktur deutlich sinken und andererseits die Erträge der (täglichen) Lastspitzenreduktion sowie der Regelenergie deutlich steigen.

6.2 Ausblick

Das Projekt in Erlenmatt Ost hat nicht nur erstmals in der Schweiz den Proof of Concept erbracht, sondern auch zu einem Upscaling beigetragen. Denn die Speicherfunktion von bidirektionalen EVs ist nicht nur für ZEV-Areale interessant. Zwar sind bidirektionale Ladestationen heute noch vergleichsweise teuer, doch dafür ermöglicht die Nutzung als mobile Speicher zusätzliche Einnahmequellen und trägt insbesondere dazu bei, die hohen Investitionskosten für den Anschluss des Arealnetzes zu senken. Dies, weil sowohl die Transformatoren als auch die gesamte Verkabelung deutlich geringer dimensioniert werden können.
Auch wenn die V2G-Technologie in der Schweiz noch nicht im Markt angekommen ist und damit noch nicht in der breiten praktischen Anwendung, so ist der Ansatz insbesondere für Flottenbetreiber interessant, sei es für Betreiber von Carsharing-Flotten für Private oder Geschäftskunden, sei es für betriebseigene Flotten.
So ist das im Herbst 2021 gestartete Demonstrationsprojekt «V2X-Suisse» von Mobility Genossenschaft und 6 Partnerfirmen ein wichtiger Schritt in die breite und gut sichtbare praktische Anwendung, da 50 bidirektionale EVs in der gesamten Schweiz zum Einsatz kommen.

7 Nationale und internationale Zusammenarbeit

7.1 Nationale Zusammenarbeit

Die nationale Zusammenarbeit im Projekt geschieht auf mehreren Ebenen. Erstens sind alle Mitglieder des Projektteams in ihren eigenen und gemeinsamen Netzwerken aktiv und zweitens führte die aktive Kommunikation (vgl. Kap. 4.5) bereits zu zahlreichen Anfragen und Kontakten mit Potential zur Skalierung des Projektes. Zudem wird sich im weiteren Verlauf mit den Schwerpunkten Co-Simulation und Mobilitätsverhalten das Potential für weitere Zusammenarbeit erhöhen.

Darüber hinaus besteht durch den Einsitz von Anna Roschewitz in das Advisory Board des ETH-Forschungsprojektes «Enabling Flexible Electric Vehicle Grid Integration» (ErVIn) unter der Projektleitung von Dr. Annegret Stephan, SusTec, ETH Zürich, eine Zusammenarbeit mit der ETH Zürich.

7.2 Internationale Zusammenarbeit

Das Forschungsprojekt «Smart Mobility V2X» ist integriert in das Programm «Hybrid and Electric Vehicle – Technology Collaboration Programme HEV TCP» der International Energy Agency IEA. In Task 43 werden speziell Fragen zu «Vehicle Grid Integration» (VGI) bearbeitet. Das Kick-Off Meeting von Task 43 fand im Mai 2019 in Lyon (F) statt. Weiterführende Informationen zu Zielen und Aufgaben sowie den Resultaten finden sich auf der Projekthomepage sowie nachfolgend:

- Ziele und Aufgaben Task 43
- Zusammenfassende Resultate des Workshops

Anna Roschewitz hat am Kick-Off Meeting in Lyon teilgenommen und über das Projekt referiert:

- «E-car sharing and bidirectional V2X: insights into applied research projects in Switzerland»

8 Kommunikation

Obwohl das Forschungsprojekt kein Leuchtturmprojekt ist, kommt der Kommunikation eine besondere Rolle zu. Aus diesem Grund werden an dieser Stelle die Arbeiten im Bereich Kommunikation erläutert.

Das WP5 «Dissemination, Wissenstransfer und Kommunikation» hat eine Laufzeit von 36 Monaten und unterstützt somit das Projekt über die gesamte Bearbeitungszeit.

Fristgerecht wurde ein Kommunikationskonzept mit Massnahmenplan erarbeitet und per Ende 2019 aktualisiert. Das Kommunikationskonzept wurde dem BFE zusammen mit dem ersten Jahresbericht eingereicht.

Die Adresse der Projekthomepage lautet: www.novatlantis.ch/projekteinblicke/smartv2x/

WTT-Aktivitäten in den Bereichen Kommunikation, Dissemination und Exploitation sind im Folgenden chronologisch aufgelistet:

- 3/2019 Projekthomepage ist online und wird laufend aktualisiert
- 5/2019 Präsentation «E-car sharing and bidirectional V2X: insights into applied research projects in Switzerland», Workshop IEA-Task 43 Vehicle Grid Integration
- 7/2019 Kommunikationskonzept liegt vor
- 8/2019 Einsitz Dr. Anna Roschewitz in das Advisory Board des ETH-Forschungsprojektes «Enabling Flexible Electric Vehicle Grid Integration» (ErVIn), Projektleitung Dr. Annegret Stephan, SusTec, ETH Zürich. Präsentation Kick-Off Meeting Projekt ErVIn.
- 8/2019 Nationale Mobilitätskonferenz ARE: Open Session Anna Roschewitz und Astrid Björnsen (WSL) «Die Sektorkopplung als Schlüssel zu einem nachhaltigen Mobilitäts- und Energiesystem – am Beispiel von E-Carsharing». Das Fotoprotokoll der Session mit handgezeichneten Postern gibt Einblick in das Wissen und die Einstellungen der Fachpersonen zum Thema.
- 9/2019 Mobilitätsarena: Referat Anna Roschewitz Mobilitätsarena 2019 «E-Carsharing in das Energiemanagementsystem eines Areals integrieren: Erkenntnisse aus einem innovativen Umsetzungsprojekt»
- 10/2019 Fachveranstaltung “Sektorkopplung und V2X im Basler Areal Erlenmatt Ost”: Referate von Dominik Keller (AUE), Andreas Appenzeller (ADEV), David Zogg (SEC), Jörg Musiolik (zhaw) und Anna Roschewitz (novatlantis) Referate und Fotos
- 4/2020 Erster Zwischenbericht “Smarte Mobilität V2X” als kompakter Überblick mit vielen Abbildungen. Der erste Zwischenbericht zum dreijährigen Forschungsprojekt gibt Auskunft über die Arbeiten, Erfolge und auch Hürden dieser zukunftsweisenden Umsetzung.
- 4/2021 Der zweite Zwischenbericht 2020 “Smarte Mobilität V2X” findet sich hier und enthält aktuelle Informationen über die Arbeiten im zweiten Projektjahr. Der Fokus liegt dabei auf der Optimierung des smarten Energiemanagers und auf der Simulation.
- 2/2022 Ein neuer Fachartikel zum Projekt von B. Vogel im Auftrag des BFE greift u.a. erste Ergebnisse der Verhaltensintervention auf.

9 Publikationen

Aufgrund des fliessenden Übergangs vom Projekt «OKEE» zum Projekt «Smarte Mobilität» werden im folgende alle publizierten Dokumente aufgeführt. Dies umfasst die Projektbeschriebe, diverse Referate, Fachartikel in Zeitschriften und Zeitungen sowie einen Filmbeitrag.

9.1 Publikationen Projekt OKEE

OKEE Projektkurzbeschrieb Pilot Erlenmatt Ost (6/2018)

Studiengruppe Energieperspektiven: Referat Anna Roschewitz zu innovativem Umsetzungsprojekt OKEE (8/2018)

Elektroautos verbinden Solarstrom und Gebäudenergie in Erlenmatt Ost: Medienmitteilung (9/2018)

OKEE Kurzpräsentation Anna Roschewitz am 20. brenet Status-Seminar 2018 (9/2018)

Heizen, kochen, Auto fahren… Zweiseitiger OKEE-Projektbericht im VCS-Magazin 4/2018 (10/2018)

Neues e-Auto-Konzept in Erlenmatt Ost: Filmbeitrag von TeleBasel (11/2018)

Geteilte E-Mobilität: Vierseitiger Artikel in TEC21 – Schweizerische Bauzeitung – Nr. 45 (11/2018)

Strom zum Kochen und zum Autofahren: Zweiseitiger Artikel in der Auto-Umweltliste 2019 (3/2019)

Energie-Speicherung in Arealen am Beispiel Erlenmatt Ost: Referat Andreas Appenzeller am Forum Energiespeicher Schweiz von **aee**suisse (4/2019)

Wie das Stromnetz Elektroautos verkraftet. (Scan) (Text vor Layout): Artikel in NZZ, Forschung und Technik, 7. Juni 2019, S. 53 (6/2019)

Referat Anna Roschewitz Mobilitätsarena 2019 «E-Carsharing in das Energiemanagementsystem eines Areals integrieren: Erkenntnisse aus einem innovativen Umsetzungsprojekt» Mobilitätsarena Bern, 18.9.2019

E-Auto kann mehr als fahren. Kurz-Bericht über das OKEE-Projekt in «Adieu Erdöl: Die Energiezukunft ist erneuerbar». vcö-magazin 2019-03. Seite 6f.

Sektorkopplung und V2X im Basler Areal Erlenmatt Ost: Fachveranstaltung am 21.10.2019 mit Kurz-Referaten über den Einsatz der bidirektionalen Elektrofahrzeuge als intelligente Speicher für das Energiesystem der Zukunft, inklusive Besichtigung der Heizzentrale und Ladeinfrastruktur sowie Probefahrten. Referate und Fotos online.

Projektbericht OKEE Erlenmatt Ost: Der Schlussbericht erläutert Hintergrund und Ausgangslage sowie Ablauf und Organisation des Projektes. Aufbauend auf eine Beschreibung des Pilotprojektareals Erlenmatt Ost in Basel werden die einzelnen Bestandteile des eigenverbrauchsoptimierten E-Carsharing-Systems ausführlich vorgestellt und erste Erkenntnisse aus dem Pilotprojekt gezogen. (11/2019)

Basler Quartier nimmt Energieversorgung selber in die Hand. In: Schweizer Energiefachbuch 2020, S. 96-99. Dr. Benedikt Vogel, im Auftrag des Amts für Umwelt und Energie Basel-Stadt (AUE).

9.2 Publikationen Projekt Smarte Mobilität

3/2019 Projekthomepage ist online und wird laufend aktualisiert

5/2019 Präsentation «E-car sharing and bidirectional V2X: insights into applied research projects in Switzerland», Workshop IEA-Task 43 Vehicle Grid Integration

7/2019 Kommunikationskonzept liegt vor

8/2019 Einsitz Dr. Anna Roschewitz in das Advisory Board des ETH-Forschungsprojektes «Enabling Flexible Electric Vehicle Grid Integration» (ErVIn), Projektleitung Dr. Annegret Stephan, SusTec, ETH Zürich. Präsentation Kick-Off Meeting Projekt ErVIn.

8/2019 Nationale Mobilitätskonferenz ARE: Open Session Dr. Anna Roschewitz und Dr. Astrid Björnsen (WSL) «Die Sektorkopplung als Schlüssel zu einem nachhaltigen Mobilitäts- und Energiesystem – am Beispiel von E-Carsharing». Das Fotoprotokoll der Session mit handgezeichneten Postern gibt Einblick in das Wissen und die Einstellungen der Fachpersonen zum Thema.

9/2019 Mobilitätsarena: Referat Anna Roschewitz Mobilitätsarena 2019 «E-Carsharing in das Energiemanagementsystem eines Areals integrieren: Erkenntnisse aus einem innovativen Umsetzungsprojekt»

10/2019 Fachveranstaltung «Sektorkopplung und V2X im Basler Areal Erlenmatt Ost»: Referate und Fotos

1/2020 Tagung Sozialforschung und Praxis im Dialog: Auf dem Weg zu klimaneutralen Städten. Themenblock Elektromobilität. Referat Anna Roschewitz «Elektroautos in der Stadt: wichtiger Beitrag zur Klimaneutralität oder reine Ressourcenverschwendung?»

4/2020 Roschewitz, A. et al. (2020). Smarte Mobilität mit nachhaltigem E-Carsharing und bidirektionalem V2X. Zwischenbericht 2019 vom 15. April 2020.

4/2021 Roschewitz, A. et al. (2021). Smarte Mobilität mit nachhaltigem E-Carsharing und bidirektionalem V2X. Zwischenbericht 2020 vom 12. April 2021.

2/2022 Vogel, B. (2022): Elektromobil und Pufferspeicher in einem.

11/2022 Tomic,U., P. Vögeli, J. Musiolik (2022): Changing e-carsharing user behavior towards an optimized energy management: Evidence from a Swiss energy efficient district. Transportation Research Arena, Conference, Lisbon 2022.

10 Literaturverzeichnis

EBP. 2018. “Szenarien der Elektromobilität in der Schweiz – Update 2018.” https://www.ebp.ch/de/files/publikationen/2016-10-31_ebp-ch-szenarien_elektromobilitaet_v161031.pdf.

De Haan, P. et al. (2020). Szenarien der Elektromobilität in der Schweiz –Update 2020. EBP Hintergrundbericht, 2. März 2020.

Dzukowski, T. (2020). Lastverschiebungspotential von Elektromobilen im Areal Erlenmatt Ost. Masterarbeit. Züricher Hochschule für Angewandte Wissenschaften.

Roschewitz, A., and A. Björnsen (2021). Reframing Knowledge & Technology Transfer for Swiss Energy Research.

Ribberink, H., K. Darcovich, and F. Pincet. 2015. “Battery Life Impact of Vehicle-to-Grid Application of Electric Vehicles.” 28th International Electric Vehicle Symposium and Exhibition 2015, EVS 2015, 1–11.

11 Anhang

11.1 Anhang 1

Tabelle 7: Interviewleitfaden für Nutzerinterview

Dauer	**Beschreibung**	**Inhalt**
5 Minuten	Einführungsphase I: Erklärung der Spielregeln	• Begrüssung und Vorstellung • Datenschutz: Resultate werden anonym kommuniziert in Berichten und Publikationen • Verwendung von Daten: Optimierung des Tarifsystems, Forschungszwecke • Es gibt keine richtigen und falschen Antworten • Es ist kein Wissenstest • Sprache Mundart oder Hochdeutsch? • Aufzeichnung gerne, wenn kein Problem

15 Minuten	Warm-up-Fragen	• Letzte ADEV-E-Carsharing-Nutzung
		  ○ In welchem Zeitraum ca. (von xx:yy bis xx:yy)?
		  ○ Was war der Fahrtzweck?
		  ○ Wieso ADEV-E-Carsharing?
		• Allgemein
		  ○ Wieso nutzen Sie das ADEV-E-Carsharing?
		  ○ Was gefällt Ihnen weniger am ADEV-E-Carsharing?
		  ○ Unter welchen Umständen würden Sie das ADEV-E-Carsharing häufiger nutzen?
		  ○ Nutzen Sie auch Sharing-Dienste von anderen Anbietern?
		  ○ Zu welchen (anderen) Zwecken nutzen Sie ADEV-E-Carsharing?
		  ○ Wie spontan buchen Sie? Wie wichtig ist das für Sie? Was könnte Sie dazu bewegen, weniger spontan zu buchen?
		  ○ Wie zufrieden sind Sie mit dem Ladestand der Batterie bei Abfahrt? Würden Sie bei einer grösseren Reichweite der Batterie ADEV-E-Carsharing auch zu anderen Zwecken nutzen?

5 Minuten	Input V2X	V2X-Grundidee und der Pricingansatz
15 Minuten	Vorwissen/Haltung V2G	• Selbsteinschätzung Vorwissen (Skala 1-5)

		• Einstellung (1-5) • Kompromissbereitschaft Nutzungszeiten (1-5) • Haben Sie sich schon mit diesem Thema befasst? • Was ist Ihre ganz generelle Meinung zu diesem Thema? • Inwiefern sehen Sie V2G als eine zusätzliche Motivation für die Nutzung von E-Mobilität? • Wäre eine Verschiebung der Nutzung zwecks Integration ins Energiemanagement denkbar?
15 Minuten	Mögliche Massnahmen	• Was könnte ADEV tun, um die Nutzenden zu motivieren, das E-Carsharing zu aus der V2G-Perspektiven sinnvollen Zeiten zu nutzen? • Was finden Sie an diesen Ansätzen besonders attraktiv? • Wie würden Sie diese konkret ausgestalten? • Wo sehen Sie potentielle Umsetzungsschwierigkeiten? • Sind Ihre Nutzungszeiträume flexibel oder können Sie sich nur schwer nach bestimmten Zeiten richten?
5 Minuten	Round-up, Schlusswort	• Stellen Sie sich vor, Sie hätten eine Minute Zeit, den ADEV-Vorstand zum Thema V2G zu beraten. Wasen würden Sie ihm sagen? • Danksagung • Falls Fragen zu den Ergebnissen: Die Teilnehmenden sollen sich an ADEV wenden, falls sie Interesse haben. ADEV macht ihnen ein Update über Publikationen.

11.2 Anhang 2

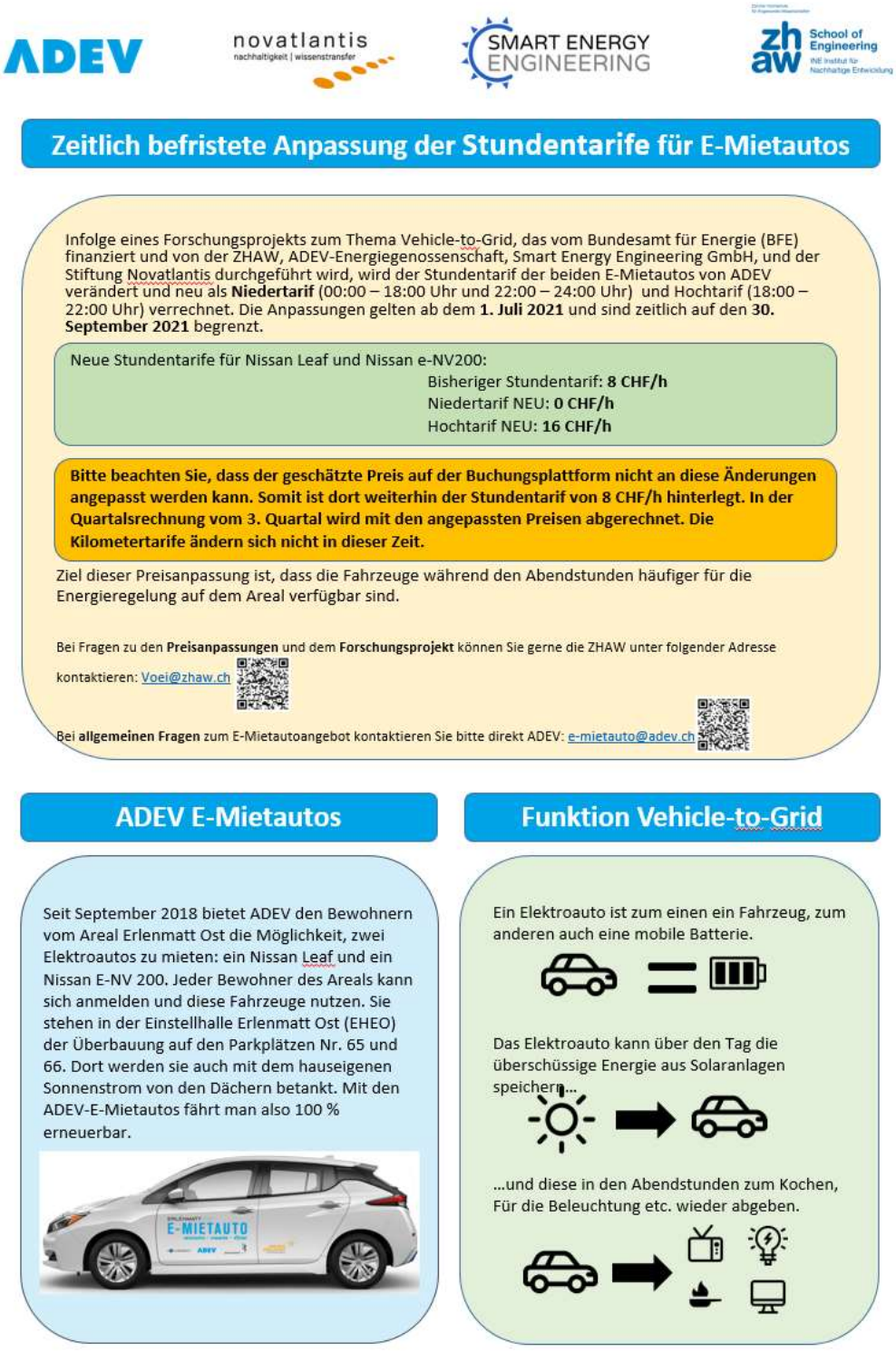


Abbildung 69: Nutzerinformation zur Interventionskampagne

11.3 Anhang 3

Tabelle 8: Fragen und Antwortkategorien aus der Umfrage zur Verhaltensintervention

Frage	**Skala**
Wie oft nutzten Sie ADEV-E-Carsharing seit der Einführung des Angebots?	– Weniger als einmal pro Jahr – Einige Male pro Jahr – Einige Male pro Monat – Jede Woche
Vom 1. Juli bis zum 30. September wurde eine Tarifänderung vorgenommen. Wie haben Sie von der Tarifänderung erfahren?	– Webseite – Flyer im Briefkasten – Plakate in der Siedlung – Zettel im ADEV-E-Carsharing-Auto – E-Mail – Wusste gar nichts von von einer Tarifänderung
Wie oft haben Sie das ADEV-E-Carsharing-Angebot während der Tarifänderung genutzt (1. Juli - 30. September 2021)?	– Nie – Weniger als einmal pro Monat – Mindestens einmal pro Monat – Mindestens einmal pro Woche
Haben Sie sich Gedanken über das Ziel der Tarifänderung gemacht?	ja, nein
Wie haben Sie das Ziel der Tarifänderung verstanden?	offene Frage
Der Einsatz mobiler Speicher (z.B. in E-Carsharing-Autos) für Energiemanagementzwecke...	…ist mir nicht bekannt ...ist etwas, was ich kenne, aber worin ich wenig Potential sehe ...ist etwas, was ich kenne und worin ich Potential sehe ...ist etwas, was ich kenne, aber mich nicht interessiert
Bei der Nutzung des ADEV-E-Carsharings bin ich zeitlich...	...gar nicht flexibel ...einigermassen flexibel ...sehr flexibel
Die Nutzung des ADEV-E-Carsharings in der Hochtarifzeit (18 bis 22 Uhr)...	…ist für mich unverzichtbar ...kommt für mich ehe nicht in Frage ...ist für mich verzichtbar, wenn ich dafür kompensiert werde ...ist für mich verzichtbar, wenn ich dadurch zum Energiemanagement in meiner Siedlung beitrage ...ist für mich aus anderen Gründen verzichtbar

Hat Sie die Tarifänderung dazu veranlasst, das Angebot öfters zu nutzen, als Sie es sonst gemacht hätten?	– Ja, durch die Tarifänderung ist das Angebot für mich attraktiver geworden – Ja, durch die Tarifänderung bin ich (wieder) auf das Angebot aufmerksam geworden – Ja, weil (Stichworte): – Nein
Hat Sie die Tarifänderung wenigstens einmal dazu veranlasst, das Auto zu der Niedertarifzeit zu nutzen, obwohl Sie es ohne Tarifänderung zu der Hochtarifzeit genutzt hätten?	– Wenn ja, was waren die Gründe? – Ja, die Nutzung zu der Niedertarifzeit ist für mich durch die Tarifänderung attraktiver geworden – Ja, ich wollte das Ziel der Tarifänderung unterstützen – Ja, weil: – Nein
Waren Sie zwischen dem 1. Juli 2021 und dem 30. September 2021 längere Zeit abwesend (z.B. Urlaub)?	– Gar nicht – Maximal 1 Woche – 1 bis (einschliesslich) 2 Wochen – 2 bis (einschliesslich) 3 Wochen – 3 bis (einschliesslich) 4 Wochen – 1 bis (einschliesslich) 2 Monate – 2 bis (einschliesslich) 3 Monate – Die ganze Zeit
Waren Sie aus anderen, ausserordentlichen Gründen nicht in der Lage das ADEV-E-Carsharing zu nutzen?	– Ja, wegen: – Nein
Bitte geben Sie Ihr Alter an.	– unter 18 – 18-25 – 26-35 – 36-45 – 46-55 – 56-65 – über 65
Bitte geben Sie Ihr Geschlecht an.	– weiblich – männlich – divers – keine Angabe
Welches ist Ihr höchster Bildungsabschluss?	– obligatorische Schulbildung – weiterführende Schule – Uni/FH/PH/ETH
Wie hoch ist ihr Haushaltseinkommen?	– <3000 – 3000-4500 – 4501-6000 – 6001-9000 – 9001-12000 – >12000 – keine Angabe

Wie viele Personen wohnen in Ihrem Haushalt? (<6)	0, 1, 2, 3, 4 oder mehr
Wie viele Personen wohnen in Ihrem Haushalt? (6-18)	0, 1, 2, 3, 4 oder mehr
Wie viele Personen wohnen in Ihrem Haushalt? (>18)	0, 1, 2, 3, 4 oder mehr
Haben Sie noch allgemeines Feedback zur Tarifänderung, zu den Mietfahrzeugen des Areals Erlenmatt-Ost oder zu der Umfrage?	offene Frage