Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse

Herausgeber: Electrosuisse

Band: 115 (2024)

Heft: 8

Artikel: Virtuelles Kraftwerk aus 50 Elektroautos = Une centrale virtuelle de 50 voitures électriques

Autor: Schopfer, Sandro / Piffaretti, Marco

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1075119

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Bild: Mobility

Virtuelles Kraftwerk aus 50 Elektroautos

Das Projekt «V2X Suisse» | Der Ausbau der erneuerbaren Energien bringt technische und wirtschaftliche Herausforderungen mit sich. Schwankungen bei Energieproduktion und -verbrauch, u. a. durch den künftig stark steigenden Strombedarf der elektrifizierten Mobilität, erfordern innovative Lösungen. Elektroautos können diese Situation durch intelligentes Laden entschärfen.

SANDRO SCHOPFER, MARCO PIFFARETTI

Ein wichtiger Ansatz zur Lösung der neuen Herausforderungen des Stromsystems ist die Integration mobiler Energiespeicher – also Autobatterien – ins Stromnetz. Intelligente Steuerungssysteme spielen dabei eine wesentliche Rolle, um diese Energiespeicher effizient zu bewirtschaften. Gleichzeitig müssen geeignete wirtschaftliche Rahmenbedingungen und Anreize geschaffen werden, um die notwendigen Technologien wie Fahrzeuge und Ladestationen für das bidirektionale Laden bereitzustellen. Ebenso müssen administrative und organisatorische Strukturen optimiert werden, um eine nahtlose Integration zu gewährleisten. Das Pilot- und Demonstrationsprojekt V2X Suisse hat untersucht, unter welchen Bedingungen solche neuen Geschäftsmodelle wirtschaftlich tragfähig sein können.

V2X, Vehicle-to-everything, steht dabei für eine Kombination der Anwendungen V2H (Vehicle-to-Home), V2B (Vehicle-to-Building) und V2G (Vehicle-to-Grid) und drückt zudem die kombinierte Anwendung mehrerer Betriebsarten aus. So können z. B. bidirektional ladefähige Elektroautos in einer Einstellhalle einer Liegenschaft sowohl zur Eigenverbrauchsoptimierung und für Peak Shaving (V2B) als auch zum Erbringen von Netzdienstleistungen (V2G) verwendet werden. Die autonome Versorgung von Einzelverbrauchern und Inselnetzen (V2L) sowie das Laden anderer Elektroautos (V2V) vervollständigen das Paket.

Projektaufbau und technische Umsetzung

Im Projekt wurden zwischen September 2022 und März 2024 schweizweit 50 Honda-e-Elektrofahrzeuge und 40 bidirektionale Ladestationen (teilweise mit doppeltem Ladepunkt) des Schweizer Spezialisten Evtec in das

Carsharing-Netz von Mobility integriert. Die Ladestationen befanden sich an 39 öffentlichen Standorten. Die von Sun2wheel entwickelte cloudbasierte Plattform verband das Buchungssystem von Mobility mit den Ladestationen und den Elektrofahrzeugen. Die Plattform regelte auch die Informationsflüsse zwischen den verschiedenen Akteuren, einschliesslich der Übertragungs- und Verteilnetzbetreiber. Die Fahrzeuge wurden somit als mobile Energiespeicher zur Speicherung und Verteilung von Elektrizität eingesetzt. Im Durchschnitt wurden pro aktivem V2X-Fahrzeug 5,5 kWh/Tag bidirektional umgesetzt. Die Akzeptanz der Technologie bei den Nutzern war mit über 21 000 Buchungen und fast 800 000 gefahrenen Kilometern durch 6600 Mobility-Kunden erstaunlich hoch.

Netzbetreiber und «V2X Suisse»

Während der grösste Anteil der Flotte für Flexibilitätsanwendungen des Übertragungsnetzes eingesetzt wurde (via Swissgrid-Auktionen), wurden im parallel durchgeführten Forschungsprojekt «Produkte und Geschäftsmodelle zur Vermarktung der Flexibilität einer E-Fahrzeugflotte gegenüber Verteilnetzbetreibern» untersucht. Die Leitung des Projekts lag bei der FHNW – mit Unterstützung der OST – und wurde von Innosuisse gefördert. Das Projekt konzentrierte sich auf sieben Niederspannungsnetzgebiete der Verteilnetzbetreiber AEM, Primeo Energie und EWZ.

Die Steuerung der Flexibilität gemäss VNB-Wunsch wurde durch vier gemeinsam definierte Zustände ermöglicht:

- Freier Betrieb (innerhalb der maximalen Anschlussleistung bzw. der abgesicherten Leistung: zwischen –100 % und +100 % frei wählbar)
- Maximaler Bezug aus dem Netz (vom VNB wegen positivem Peak Shaving gewünscht: Max. +100 % Ladeleistung)
- Maximale Zurückspeisung an das Netz (vom VNB wegen negativem Peak Shaving gewünscht: Max. –100 % Entladeleistung)
- Abschaltung (vom VNB wegen vorweislicher Netz-Sicherheitsgründe vorgegeben = 0 % Leistung), entsprechend dem Kap. 12 der VSE-Werksvorschriften.

Die Machbarkeit, VNB-Signale zu empfangen und korrekt umzusetzen, wurde in den Feldtests an elf Ladepunkten getestet. Die Schnittstelle zwischen der V2X-Plattform und dem Verteilnetzbetreiber soll die individuelle Flexibilitätsnutzung durch jeden Netzbetreiber ermöglichen. Sie basierte auf folgendem Konzept: Wenn z. B. von 21.00 bis 21.15 Uhr Flexibilität von bestimmten Mobility-Fahrzeugen verfügbar war, konnte ein Netzbetreiber diese Viertelstunde von allen bidirektionalen Elektrofahrzeugen, die in seinem Gebiet für Flexibilität verfügbar waren, «reservieren»: Sun2wheel zeigte diesen Honda e gleichzeitig anderen Flexibilitätsabnehmern als «reserviert» resp. für die Lastregelung «nicht verfügbar» an und blockierte damit die Signale anderer Flexibilitätsabnehmer für den genannten Zeitraum.

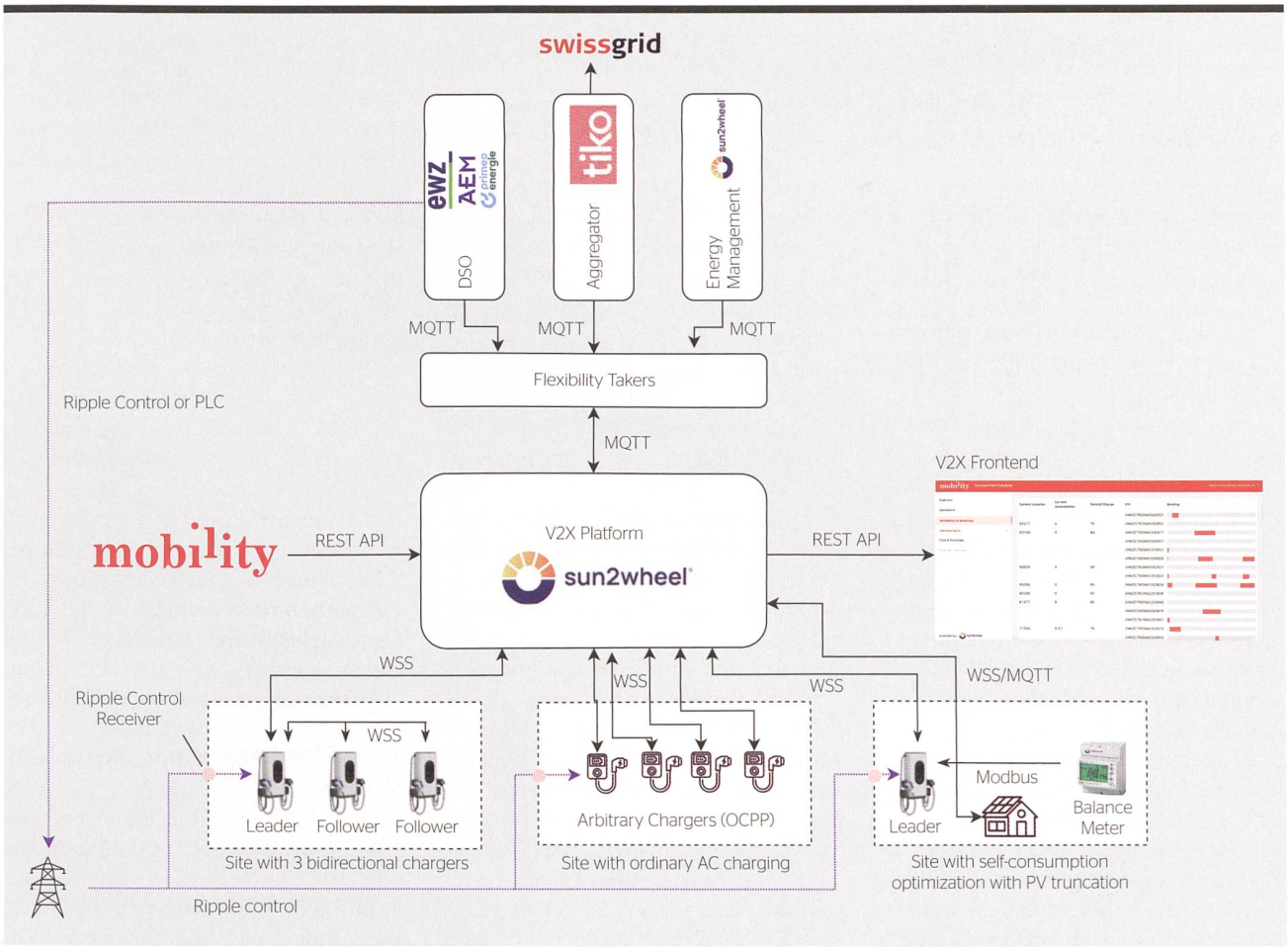


Bild: Sun2wheel

V2X-Plattform mit den relevanten Datenflüssen.

S1	S2	Beschreibung
OFF	OFF	Keine Vorgabe seitens VNB (normaler Zustand, Ladestation lädt/entlädt unbeeinflusst gemäss Fahrzeug-/Standort-Bedarf)
OFF	ON	Wunsch des VNB: Maximale Ladeleistung (Bezug aus dem Netz, je nach Gerät 10 oder 20 kW)
ON	OFF	Wunsch des VNB: Maximale Entladeleistung (Einspeisung ins Netz, je nach Gerät 10 oder 20 kW)
ON	ON	Vorgabe des VNB: Lastabwurf (wird prioritär umgesetzt), kein Leistungsaustausch mit dem Netz, d.h. 0 kW

Tabelle 1 Von Verteilnetzbetreibern nutzbare Zustände.

Einnahmequelle	Beschreibung	Nettogewinn gerundet
Primärregelleistung (FCR)	Dank schneller Cloud-basierter Kommunikation konnte der pool technisch präqualifiziert werden	CHF 200
Sekundärregelleistung		CHF 600
Eigenverbrauchsoptimierung (ZEV)	Benötigt Bilanzmessung vor Ort, um Überschuss zu messen	CHF 800
Day-Ahead-Trading	Setzt Marktzugang voraus	CHF 50

Tabelle 2 Mögliche V2X-Einnahmen. Bei diesen gerundeten Werten sind Einnahmebeteiligungen für den Plattform- und Flexibilitätsverkäufer resp. ZEV-Partner nicht berücksichtigt und allfällige Energieverluste wurden abgezogen.

Der Netzbetreiber konnte die bidirektionalen Ladestationen über doppelte Rundsteuersignale und eine spezifische Rundsteuerfrequenz steuern. Die Kapazitätsgrenzen für die Netzdienstleistungen wurden mit den Netzbetreibern verhandelt und festgelegt. Daraus ergaben sich vier exakt definierte Zustände, die genutzt werden können. Diese sind in **Tabelle 1** beschrieben.

Für die plattformbasierte Steuerung wurde das bedarfsgerechte Lastmanagementsystem von Sun2wheel eingesetzt, das die Ladevorgänge so gestaltet, dass die Anschlussleistung nie überschritten wird, aber trotzdem individuelle Steuerungswünsche von aussen (z. B. Aktivierungen durch Flexibilitätsabnehmer und individualisierte Ladepläne einzelner Fahrzeuge aufgrund von Buchungen) berücksichtigt werden konnten. Das Lastmanagement griff auch auf lokale Messungen zurück, die Residuallasten oder Bilanzmessungen für Eigenverbrauchsoptimierungen vor Ort aufnahmen und diese an die V2X-Plattform weiterleiteten. Zudem wurden die Rundsteuersignale vor Ort erfasst, in der Cloud-Plattform verarbeitet und an den Verteilnetzbetreiber zurückgespielt, um eine Art Feedbackschleife zu bilden, da der Netzbetreiber in der Regel nicht weiss, ob ein Elektroauto angeschlossen ist und lädt. Der mögliche Nutzen des Peak Shaving für das Verteilnetz wurde von der FHNW und den drei VNB auf etwa CHF 500 pro Elektrofahrzeug und Jahr (bei ±10 kW) geschätzt – ab der ersten Anlage.

V2G-Businessmodelle ausserhalb des lokalen Netzes

Die Einnahmen über Swissgrid für den Anwendungsfall Primärregelleistung (Frequency Containment Reserve, FCR) waren relativ gering (**Tabelle 2**). Obwohl sich die V2X-Technologie grundsätzlich gut für dieses Produkt eignen würde (hauptsächlich Leistung und wenig Energie), hat sich gezeigt, dass dieser Anwendungsfall noch wenig attraktiv ist. Einerseits ist die notwendige Reaktionszeit (<2 s) sehr anspruchsvoll und war einer der Gründe für die (relativ hohen) Stand-by-Verluste. Andererseits ist der Markt für dieses Produkt klein und die gelieferte Energie wird von Swissgrid nicht vergütet.

Bei den Erlösen aus dem Übertragungsnetz war der Anwendungsfall Sekundärregelleistung (automatic Frequency Restoration Reserve, aFRR) am interessantesten, da hier das Marktvolumen mit 400 MW einiges höher ist als jener des «dünnen» Primärregelmarkts (70 MW). Die kalkulierten Werte weisen eine grosse Spreizung auf, was die hohen Energiepreise rund um die Energiekrise des Ukraine-Konflikts widerspiegelt. Das aFRR-Risiko besteht darin, dass das Volumen von 400 MW allein durch die flexiblen Wasserkraftwerke abgedeckt werden könnte. Zudem sind neue zentrale Speicherbatterien in Planung, die in den aFRR-Markt einsteigen werden. Es ist daher zu erwarten, dass die Preise im aFRR-Markt unter Druck geraten werden. Swissgrid hat die Menge an aFRR seit der Marktöffnung 2009 nicht erhöht und es gibt keine Anzeichen dafür, dass dies in naher Zukunft geschehen wird.

Das Day-Ahead-Trading ist eine interessante Ergänzung mit grossem Potenzial für die Zukunft. Aktuell ist das Day-Ahead-Trading an den meisten Mobility-Standorten leider noch nicht möglich und nur im liberalisierten Markt (> 100 MWh/Jahr) anwendbar. Dies würde jedoch künftig ein grosses Volumen für den Ausgleich durch Flexibilität ergeben, wenn auch mit momentan tieferen Preisen. Mit der Zunahme intermittierender erneuerbarer Energien ist zu erwarten, dass das Handelsvolumen des Energiemarktes sowie die erzielbaren Erlöse im Day-Ahead- und Intra-Day-Handel in den nächsten Jahren steigen werden.

Der Zusammenschluss zum Eigenverbrauch (V2B resp. V2H) war im V2X-Suisse-Projekt die beste Anwendung, die heute schon Einnahmen generieren kann – mit deutlich tieferen Marktrisiken als bei den Regelleistungsanwendungen. Dieser Anwendungsfall ist sehr interessant, speziell mit der laufenden Verbreitung von Solaranlagen, virtuellen ZEVs und LEGs. Zudem kann die Carsharing-Flexibilitätsabnahme Standorteigentümer dazu motivieren, einen Carsharing-Standort einzuführen.

Das grösste Potenzial liegt in der Kombination verschiedener saisonaler und tageszeitlicher Anwendungsfälle, denn dadurch können die Einnahmen kombiniert werden: Man spricht von «stacking», um die Flexibilität zu verschiedenen Zeiten in verschiedenen Märkten anzubieten. Beispielsweise kann der ZEV-Anwendungsfall als Basis verwendet werden. Im Winter oder wenn die Sonne nicht scheint, werden noch aFRR und Day-Ahead-Anwendungsfälle ausgeführt (falls die Preise attraktiv sind oder gewisse Swissgrid-Auktionen nicht gewonnen werden können).

Es sind noch weitere zusätzliche Einnahmequellen denkbar, beispielsweise aus dem VNB-Anwendungsfall, Peak Shaving oder LEG (Lokale Energie-Gemeinschaften), Inselbetrieb-Versicherung etc. Bei einer optimalen Kombination der verschiedenen Anwendungsfälle wären somit in der Schweiz Einnahmen von CHF 1500 pro Jahr und Fahrzeug (und 10 kW Regelleis-

tung) durchaus realistisch. Dies würde bedeuten, dass die Kosten gedeckt wären und pro Fahrzeug und Jahr eine Rendite von knapp CHF 300 (oder rund 20 %) erzielt werden könnte. Bei einer Flotte von 3000 Fahrzeugen wie bei Mobility wären dies CHF 900 000 pro Jahr, also eine Verdoppelung des Jahresgewinns. Damit könnte ein nachhaltiges betriebswirtschaftliches V2G-Geschäftsmodell aufgebaut werden, wobei die Aufteilung des Gewinns mit den verschiedenen Parteien (ZEV-Abnehmer, Flexibilitätsverkäufer, Betreiber etc.) noch definiert werden müsste.

Nutzung der Flexibilität beim monodirektionalen Laden

Flexibilitätserlöse können auch durch Elektroautos erwirtschaftet werden, die noch nicht entladen werden können: Durch das Vorziehen oder Verzögern des Ladevorgangs (V1G) können ähnliche Dienstleistungen auf allen Netzebenen und Anwendungsfällen erbracht werden. Bidirektionales Laden wird sich zwar sprunghaft ausbreiten, aber aufgrund der hohen Kosten wird sich die Technologie zunächst bei Eigenverbrauchsanlagen verbreiten. Bevor V2G auch an Standorten ohne PV «state-of-the-art» wird, kann die Flexibilität auch ohne Entladen genutzt werden. Monodirektionale Fahrzeuge sind bereits heute interessant, da die Ladeleistung direkt über die Cloud des Herstellers manipuliert werden kann. Insbesondere Netzbetreiber könnten diese Funktionalität nutzen, um Überlastungen in einzelnen Trafokreisen vorzubeugen und Ladungen in Zeitperioden mit tiefer Last zu verschieben oder diese zu forcieren, falls viel überschüssiger Solarstrom im Netz vorhanden ist. Sun2wheel plant hierzu ein neues Projekt «Ebfilex» mit Verteilnetzbetreibern, um ebenfalls monodirektionales Laden netzdienlich einzusetzen, und zwar auf Stufe Trafokreis.

Wie weiter mit dem bidirektionalen Laden?

Die meisten Schweizer Elektrizitätswerke und Verteilnetzbetreiber verfügen über eigene Fahrzeugflotten, darunter bereits zahlreiche elektrische Volkswagen-Modelle der ID-Serie, welche 77-kWh-Batterien und Softwareversion 3.5 oder höher aufweisen. Diese Fahrzeugmodelle sind vom Hersteller auch in der Schweiz serienmässig für das bidirektionale Laden freigegeben. Dies gilt sowohl für bereits immatrikulierte als auch für neue ID-Fahrzeuge. Die bidirektionale Nutzung dieser Fahrzeuge ist seitens der Fahrzeughersteller auf 4000 Betriebsstunden oder 10 000 kWh beschränkt. Diese Beschränkung beruht nicht auf einer eingeschränkten Batterielebensdauer, wie die Erfahrungen mit den ebenfalls serienmässig bidirektional ladbaren japanischen Modellen Nissan Leaf, Mitsubishi Outlander PHEV und Honda e in den letzten zehn Jahren klar gezeigt haben.

Der Schweizer Pionier im Bereich des bidirektionalen Ladens Sun2wheel, der auch die Plattform für das Pilotprojekt V2X Suisse erstellt und betrieben hat, hat Anfang November 2024 auf der «AutoZürich» eine bidirektionale Ladestation für VW mit einer Leistung von ±22 kW und CCS-Stecker vorgestellt. Diese neue bidirektionale Ladelösung wird in einigen Kantonen speziell gefördert. Der Kanton Zürich beispielsweise unterstützt die bidirektionale Ladestation mit CHF 2000 pro Ladestation, was den Listenpreis von aktuell CHF 13 500 spürbar reduziert. Diese neue bidirektionale DC-Wallbox nutzt das Kommunikationsprotokoll, welches von VW-Wolfsburg an ausgewählte Firmen für den kommerziellen Einsatz freigegeben wurde. Somit können ab sofort alle 630 Schweizer Energieversorger eigene Erfahrungen mit bidirektionalem Laden sammeln, noch bevor diese Technologie flächendeckend in ihren Netzen bei ihren Kunden implementiert wird. Die Netzbetreiber, die geeignete VW ID-Modelle einsetzen, müssen dafür keine neuen Elektrofahrzeuge beschaffen.

Links

→ Schlussbericht: www.aramis.admin.ch/Default?DocumentID=72019&Load=true
→ Weitere Infos auf: www.mobility.ch/v2x
→ Informationen zum VW-Angebot: sun2wheel.com

Autoren

Dr. **Sandro Schopfer** ist CEO und CTO von Sun2wheel.
→ Sun2wheel AG, 6012 Obernau
→ sandro.schopfer@sun2wheel.ch

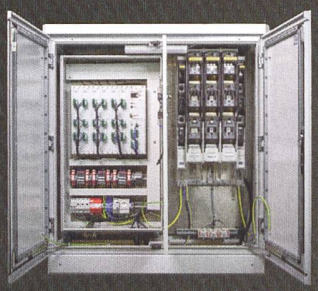
Marco Piffaretti ist Verwaltungsratspräsident von Sun2wheel.
→ Sun2wheel AG, 6012 Obernau
→ marco.piffaretti@sun2wheel.ch

«V2X Suisse» wurde durch sieben Unternehmen umgesetzt, wobei der Projektlead bei Mobility lag. Ebenfalls dabei: Automobilhersteller (Honda), Software-Entwickler (Sun2wheel), Ladestationen-Entwickler (Evtec), Aggregatoren (Tiko) und wissenschaftliche Begleitung (Novatlantis, in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich). Das Projekt wurde durch das Bundesamt für Energie BFE und durch Innosuisse unterstützt.

Mit dem LVRSys – Einzelstrangregler von a-eberle haben sie die Spannung im Griff

a-eberle

- Durchgangsleistung: 7,5 kVA bis 630 kVA
- Regelbereiche: ± 6 % … ± 20 %
- Effizienz: 99,4 % bis 99,8 %
- Keine Netzrückwirkungen
- Flexibles und robustes System
- Einfache Installation



A. Eberle Schweiz AG • Gewerbering 14
CH-5610 Wohlen • Telefon +41 (0)56 619 51 80
info@a-eberle.ch • www.a-eberle.ch

Une centrale virtuelle de 50 voitures électriques

Le projet « V2X Suisse » | Le développement des énergies renouvelables engendre certains défis techniques et économiques. Les fluctuations de la production et de la consommation d'énergie, qui seront dues à l'avenir entre autres à la forte progression de la mobilité électrique, exigent des solutions innovantes. Les voitures électriques peuvent désamorcer cette situation grâce à une recharge intelligente.

SANDRO SCHOPFER, MARCO PIFFARETTI

Une approche importante pour résoudre les nouveaux défis auxquels le système électrique est confronté, constitue à intégrer des systèmes de stockage d'énergie mobiles – c'est-à-dire des batteries de voitures – dans le réseau électrique. Les systèmes de contrôle intelligents jouent un rôle essentiel dans la gestion efficace de ces accumulateurs d'énergie. Parallèlement, des conditions-cadre et des incitations économiques appropriées doivent être créées afin de mettre à disposition les technologies nécessaires telles que les véhicules et bornes de recharge permettant la recharge bidirectionnelle. Enfin, les structures administratives et organisationnelles doivent être optimisées afin de garantir une intégration sans faille. Le projet pilote et de démonstration « V2X Suisse » a étudié les conditions nécessaires pour que de tels nouveaux modèles commerciaux puissent être économiquement viables.

V2X, Vehicle-to-everything, désigne ici une combinaison des applications V2H (Vehicle-to-Home), V2B (Vehicle-to-Building) et V2G (Vehicle-to-Grid), et exprime en outre l'utilisation combinée de plusieurs modes d'exploitation. Ainsi, par exemple, des voitures électriques à recharge bidirectionnelle stationnées dans le parking souterrain d'un immeuble peuvent être utilisées aussi bien pour optimiser la consommation propre et le peak shaving (V2B) que pour fournir des services-système au réseau (V2G). L'alimentation autonome de consommateurs individuels et de réseaux en îlots (V2L) ainsi que la recharge d'autres voitures électriques (V2V) complètent l'ensemble.

Mise en place du projet et mise en œuvre technique

Dans le cadre de ce projet, 50 véhicules électriques (Honda e) et 40 bornes de

Figure: Mobility

recharge bidirectionnelles (dont certaines avec deux points de recharge) du spécialiste suisse Evtec ont été intégrés au réseau de car sharing de Mobility sur l'ensemble du territoire suisse entre septembre 2022 et mars 2024. Les bornes de recharge ont été réparties sur 39 sites publics. La plateforme basée dans le cloud développée par Sun2wheel reliait le système de réservation de Mobility aux bornes de recharge et aux véhicules électriques. Elle régulait en outre les flux d'informations entre les différents acteurs, dont les gestionnaires de réseaux de transport (GRT) et de distribution (GRD). Les véhicules ont ainsi pu être utilisés comme systèmes de stockage d'énergie mobiles pour le stockage et la distribution d'électricité. La quantité moyenne d'électricité transférée de manière bidirectionnelle par véhicule V2X actif a ainsi atteint 5,5 kWh par jour, et l'acceptation de la technologie par les utilisateurs a été étonnamment élevée, avec plus de 21 000 réservations et près de 800 000 km parcourus par 6600 clients Mobility.

Les gestionnaires de réseaux et « V2X Suisse »

Alors que lors du projet « V2X Suisse », la plus grande partie de la flotte a été utilisée pour offrir de la flexibilité au réseau de transport (via les enchères de Swissgrid), un projet de recherche intitulé « Produits et modèles commerciaux pour la commercialisation de la flexibilité d'une flotte de véhicules électriques pour les gestionnaires de réseaux de distribution » a été mené en parallèle. Celui-ci était dirigé par la Haute école spécialisée du nord-ouest de la Suisse (FHNW) – avec la collaboration de la Haute école spécialisée de la Suisse orientale (OST) – et a profité d'un soutien d'Innosuisse. Il s'est concentré sur sept zones des réseaux basse tension des gestionnaires de réseaux de distribution AEM, Primeo Energie et EWZ.

Dans ce projet, la gestion de la flexibilité a été rendue possible par le biais de quatre états définis avec les GRD:

- exploitation libre (dans les limites de la puissance de raccordement maximale ou de la puissance sécurisée: à choisir librement entre -100 % et +100 %);
- prélèvement maximal sur le réseau (souhaité par le GRD en raison d'un peak shaving positif: puissance de recharge maximale +100 %);
- réinjection maximale dans le réseau (souhaitée par le GRD en raison d'un peak shaving négatif: puissance de décharge maximale -100 %);
- coupure (imposée par le GRD pour des raisons avérées de sécurité du réseau = puissance de 0 %), conformément au chapitre 12 des prescriptions d'exploitation de l'AES.

La réception et l'utilisation correcte des signaux des GRD ont été testées sur onze points de recharge lors d'essais sur le terrain. L'interface entre la plateforme V2X et le gestionnaire de réseau de distribution devait permettre une utilisation individuelle de la flexibilité par chaque gestionnaire de réseau. Elle était basée sur le concept suivant: si, par exemple, de 21h00 à 21h15, certains véhicules de Mobility étaient prêts à

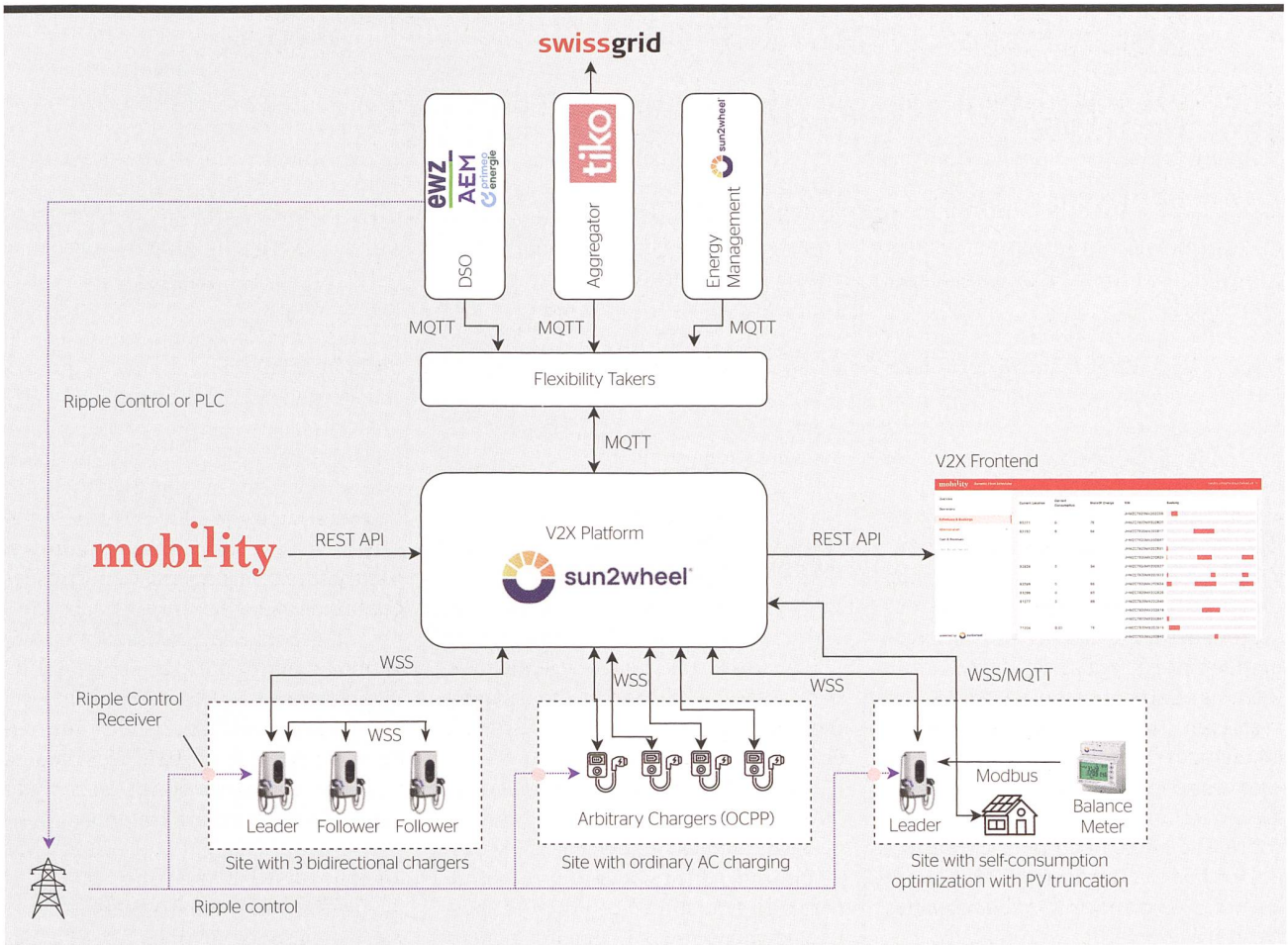


Figure: Sun2wheel

Plateforme V2X avec les flux de données pertinents.

S1	S2	Description
OFF	OFF	Pas de consigne de la part du GRD (état normal, la borne de recharge charge/décharge sans être influencée, selon les besoins du véhicule/du site)
OFF	ON	Demande du GRD : puissance de recharge maximale (prélèvement sur le réseau, 10 ou 20 kW selon la borne)
ON	OFF	Demande du GRD : puissance de décharge maximale (injection dans le réseau, 10 ou 20 kW selon la borne)
ON	ON	Consigne du GRD : délestage (mis en œuvre en priorité), pas d'échange de puissance avec le réseau, c'est-à-dire 0 kW

Tableau 1 États utilisables par les gestionnaires de réseaux de distribution.

Source de revenus	Description	Bénéfice net arrondi
Puissance de réglage primaire (FCR)	Grâce à une communication rapide basée sur le cloud, le pool a pu être prédéterminé techniquement	200 CHF
Puissance de réglage secondaire		600 CHF
Optimisation de la consommation propre (RCP)	Nécessite une mesure du bilan sur place pour mesurer l'excédent	800 CHF
Day-ahead trading	Nécessite un accès au marché	50 CHF

Tableau 2 Recettes V2X possibles. Ces valeurs arrondies ne tiennent pas compte des participations aux recettes pour les vendeurs de la plateforme ou les vendeurs de flexibilité, respectivement pour le partenaire RCP, et les éventuelles pertes d'énergie ont été déduites.

mettre de la flexibilité à disposition, un gestionnaire de réseau pouvait « réserver » pour ce quart d'heure tous les véhicules électriques bidirectionnels disponibles pour la flexibilité situés dans sa zone : Sun2wheel indiquait simultanément les Honda e concernées comme « réservées » ou « non disponibles » pour la régulation de charge, bloquant ainsi les signaux d'autres acheteurs de flexibilité pour la période mentionnée.

Le gestionnaire de réseau pouvait alors contrôler les bornes de recharge bidirectionnelles par le biais d'une fréquence spécifique et de doubles signaux de télécommande centralisée. Les limites de capacité pour les services réseau avaient été négociées et fixées au préalable avec les gestionnaires de réseaux. Il en a résulté quatre états précisément définis qui pouvaient être utilisés. Ils sont décrits dans le **tableau 1.**

Le système de gestion de la charge en fonction des besoins développé par Sun2wheel a été utilisé pour la commande basée sur la plateforme. Ce système organisait les processus de recharge de telle sorte que la puissance de raccordement ne soit jamais dépassée, tout en permettant de considérer les demandes individuelles externes de commande (par exemple les activations par les acheteurs de flexibilité et les plans de charge individualisés des différents véhicules sur la base des réservations). La gestion de la charge a également eu recours à des mesures locales, qui enregistraient sur place les charges résiduelles ou les mesures de bilan pour les optimisations de la consommation propre et les transmettaient à la plateforme V2X. En outre, les signaux de télécommande centralisée étaient saisis sur place, traités dans la plateforme basée dans le cloud et renvoyés au gestionnaire du réseau de distribution afin de former une sorte de boucle de rétroaction, car le gestionnaire du réseau ne savait généralement pas si une voiture électrique était connectée et en train de charger. Les avantages potentiels en matière de peak shaving pour le réseau de distribution ont été estimés par la FHNW et les trois GRD à environ 500 CHF par véhicule électrique et par an (pour ±10 kW) – dès la première utilisation.

Modèles d'affaires V2G en dehors du réseau local

Les recettes via Swissgrid pour le cas d'application relatif à la puissance de réglage primaire (Frequency Containment Reserve, FCR) ont été relativement faibles **(tableau 2)**. Bien que la technologie V2X convienne en principe bien à ce produit (principalement de la puissance et peu d'énergie), il s'est avéré que ce cas d'application n'était encore que peu attractif. D'une part, le temps de réaction nécessaire (< 2 s) est très exigeant et a été l'une des raisons des pertes (relativement élevées) en mode veille. D'autre part, le marché pour ce produit est restreint et l'énergie fournie n'est pas rémunérée par Swissgrid.

En ce qui concerne les recettes provenant du réseau de transport, le cas d'application relatif à la puissance de réglage secondaire (automatic Frequency Restoration Reserve, aFRR) a été le plus intéressant, car le volume du marché (400 MW) était bien plus élevé que celui du « maigre » marché du réglage primaire (70 MW). Les valeurs calculées présentent un écart important, ce qui reflète les prix élevés de l'énergie liés à la crise énergétique due à la guerre en Ukraine. Le risque aFRR réside dans le fait que le volume de 400 MW pourrait être couvert uniquement par les centrales hydroélectriques flexibles. De plus, de nouveaux systèmes de stockage par batterie centralisés sont en cours de planification et feront leur entrée sur ce marché. Il faut donc s'attendre à ce que les prix du marché aFRR soient sous pression : Swissgrid n'a pas augmenté la quantité d'aFRR depuis l'ouverture du marché en 2009, et rien n'indique que cela se produise dans un avenir proche.

Le day-ahead trading constitue, quant à lui, un complément intéressant avec un grand potentiel pour l'avenir. Actuellement, celui-ci n'est malheureusement pas encore possible sur la plupart des sites de Mobility, et n'est applicable que sur le marché libéralisé (> 100 MWh/a). Cela permettrait toutefois de disposer à l'avenir d'un grand volume pour la compensation par le biais de la flexibilité, même si les prix sont actuellement plus bas. Avec l'augmentation des énergies renouvelables intermittentes, on peut s'attendre à ce que le volume de négoce du marché de l'énergie ainsi que les recettes réalisables avec le day-ahead trading et l'intraday trading augmentent dans les prochaines années.

Dans le projet V2X Suisse, le regroupement dans le cadre de la consommation propre ou RCP (V2B ou V2H) s'est révélé être la meilleure application pouvant générer des recettes dès à présent – avec des risques de marché nettement plus faibles que pour les applications liées à la puissance de réglage. Ce cas d'application est très intéressant, en particulier avec le déploiement en cours des installations solaires, des RCP virtuels et des communautés électriques

locales (CEL). De plus, l'achat de flexibilité provenant des voitures en libre-service peut motiver les propriétaires d'emplacements à mettre en place un site de car sharing.

Le plus grand potentiel réside dans la combinaison de différents cas d'application saisonniers et journaliers, car cela permet de combiner les recettes : on parle de « stacking » lorsqu'il s'agit d'offrir de la flexibilité à différents moments sur différents marchés. Par exemple, le cas d'application du RCP peut être utilisé comme base. En hiver, ou lorsque le soleil ne brille pas, on ajoute encore des cas d'application aFRR et day-ahead (si les prix sont attractifs ou si certaines enchères de Swissgrid ne peuvent pas être remportées).

D'autres sources de revenus supplémentaires sont aussi envisageables, par exemple à partir des cas d'application GRD, peak shaving ou CEL, assurance d'exploitation en îlotage, etc. En combinant de manière optimale les différents cas d'application, des recettes de 1500 CHF par an et par véhicule (et 10 kW de puissance de réglage) seraient ainsi tout à fait réalistes en Suisse. Cela signifierait que les coûts seraient couverts et qu'un rendement de près de 300 CHF (ou d'environ 20 %) par véhicule et par an pourrait être atteint. Pour une flotte de 3000 véhicules telle que celle de Mobility, cela représenterait 900 000 CHF/a, soit un doublement du bénéfice annuel. Cela permettrait de mettre en place un modèle d'affaires V2G durable et rentable, la répartition des bénéfices restant à définir avec les différentes parties (acheteurs des RCP, vendeurs de flexibilité, exploitants, etc.).

Utilisation de la flexibilité de la recharge unidirectionnelle

Des recettes liées à la flexibilité peuvent également être générées par les voitures électriques qui ne peuvent pas encore être déchargées : en avançant ou en retardant le processus de recharge (V1G), des services similaires peuvent être fournis à tous les niveaux de réseau et dans tous les cas d'application. La recharge bidirectionnelle va certes se propager de manière fulgurante, mais en raison de son coût élevé, cette technologie se répandra d'abord dans les installations avec consommation propre. Avant que le V2G ne devienne le « state of the art » également sur les sites sans production photovoltaïque, la flexibilité peut aussi être utilisée sans décharge des batteries. Les véhicules unidirectionnels sont d'ores et déjà intéressants, car la puissance de la recharge peut être manipulée directement via le cloud du fabricant. Les gestionnaires de réseaux, en particulier, pourraient utiliser cette fonctionnalité pour prévenir des surcharges dans certains circuits de transformation, et reporter les recharges à des périodes de faible charge ou les forcer si le réseau dispose de beaucoup de production photovoltaïque excédentaire. Sun2wheel prévoit à cet effet de réaliser le nouveau projet « Ebfilex » avec des gestionnaires de réseaux de distribution, afin d'utiliser également la recharge unidirectionnelle pour le réseau, et ce, au niveau des circuits de transformation.

Quelle suite pour la recharge bidirectionnelle ?

La plupart des centrales électriques et des gestionnaires de réseaux de distribution suisses disposent de leurs propres flottes de véhicules, déjà composées de nombreux modèles électriques de la série ID de Volkswagen, équipés de batteries de 77 kWh et d'une version logicielle 3.5 ou supérieure. Ces modèles de véhicules sont, de série, autorisés par le constructeur pour la recharge bidirectionnelle, également en Suisse. Cela vaut aussi bien pour les voitures de la série ID déjà immatriculées que pour les nouveaux véhicules. L'utilisation bidirectionnelle de ces véhicules est limitée par le constructeur automobile à 4000 h de service ou 10 000 kWh. Cette limitation ne repose toutefois pas sur une durée de vie limitée de la batterie, comme l'ont clairement montré les expériences faites au cours des dix dernières années avec les modèles japonais Nissan Leaf, Mitsubishi Outlander PHEV et Honda e, qui peuvent également, de série, être rechargés de manière bidirectionnelle.

Pionnier suisse dans le domaine de la recharge bidirectionnelle, Sun2wheel a aussi présenté début novembre 2024, au salon « AutoZürich », une borne de recharge bidirectionnelle pour véhicule VW d'une puissance de ±22 kW équipée d'une prise CCS. L'achat d'une telle solution de recharge bidirectionnelle est particulièrement encouragé dans certains cantons. Le canton de Zurich, par exemple, soutient l'achat de bornes de recharge bidirectionnelle à hauteur de 2000 CHF par borne de recharge, ce qui réduit sensiblement le prix catalogue, actuellement de 13500 CHF. Cette nouvelle borne DC bidirectionnelle utilise le protocole de communication que l'usine VW de Wolfsburg a mis à la disposition d'entreprises sélectionnées pour une utilisation commerciale. Ainsi, les 630 fournisseurs d'énergie suisses peuvent dès à présent faire leurs propres expériences avec la recharge bidirectionnelle, avant même que cette technologie ne soit implémentée à grande échelle dans leurs réseaux, chez leurs clients. Pour ce faire, les gestionnaires de réseaux qui utilisent des modèles VW ID appropriés n'ont pas besoin d'acheter de nouveaux véhicules électriques.

Liens

→ Rapport final du projet « V2X Suisse » : www.aramis.admin.ch/Default?DocumentID=72019&Load=true
→ Plus d'informations sur : www.mobility.ch/v2x
→ Informations sur l'offre de VW : sun2wheel.com

Auteurs

Dr **Sandro Schopfer** est CEO et CTO de Sun2wheel.
→ Sun2wheel AG, 6012 Obernau
→ sandro.schopfer@sun2wheel.ch

Marco Piffaretti est président du conseil d'administration de Sun2wheel.
→ Sun2wheel AG, 6012 Obernau
→ marco.piffaretti@sun2wheel.ch

« V2X Suisse » a été mis en œuvre par sept entreprises, la direction du projet étant assurée par Mobility. Ont également participé : des constructeurs automobiles (Honda), des développeurs de logiciels (Sun2wheel), des développeurs de bornes de recharge (Evtec), des agrégateurs (Tiko) et un accompagnement scientifique (Novatlantis, en collaboration avec l'ETH Zurich). Le projet a été soutenu par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et par Innosuisse.