

Automatisierte Direktvermarktung kleiner Mengen erneuerbarer Energien (Stand 2022)

Automated direct marketing of small amounts of renewable energies (As of 2022)

Patrick Stoy (patrick.stoy@hs-rm.de), Johannes Kaepfel (johannes.kaepfel@hs-rm.de), Prof. Dr. Heinz Werntges (heinz.werntges@hs-rm.de)
Hochschule RheinMain, Wiesbaden, Deutschland

Kurzfassung

Mit dem Auslaufen der EEG-Förderung stellt sich die Frage nach einem wirtschaftlichen (Weiter-)Betrieb kleiner PV-Anlagen mit wachsender Dringlichkeit. Die bei größeren Anlagen übliche Direktvermarktung der PV-Erträge erfordert zu viel materiellen und personellen Aufwand, um bei kleinen PV-Anlagen wirtschaftlich tragbar zu sein. Wir entwickelten daher standardisierbare Schnittstellen für einen vollautomatischen Handel mit kleinen Mengen erneuerbarer Energien und implementierten diese prototypisch. Auf Anbieterseite wird ein Angebot für den Verkauf der erwarteten PV-Überschüsse des beginnenden Tages gebildet und automatisch an einen Energie-Broker übermittelt. Zeitlich flexible Käufer solcher Energiemengen wie z.B. Ladesäulen / Elektrofahrzeuge oder auch Haushalte mit einer Wärmepumpe schicken Kaufgesuche an den Energie-Broker. Dieser führt ein Matching durch, verbindet Verkäufer und Käufer virtuell, koordiniert den Nachweis der Gleichzeitigkeit von Einspeisung und Entnahme, beachtet ggf. Auflagen zur maximalen Distanz zwischen den Handelspartnern (4,5-km-Limit), und regelt die Abrechnung einschließlich Steuern und Netz-Entgelten. Durch Standardisierung der Schnittstellen wird Wettbewerb zwischen Energie-Brokern sichergestellt. Nach einmaliger Registrierung beim ausgewählten Energie-Broker sowie Konfiguration von z.B. angestrebten Mindest- bzw. Höchst-Preisen arbeiten alle beteiligten Komponenten vollautomatisch und ermöglichen dadurch so niedrige Transaktionskosten, dass auch ein Handel mit wenigen kWh pro Transaktion wirtschaftlich wird.

Abstract

With the expiry of the EEG funding, the question of (continued) economical operation arises for smaller PV systems with increasing urgency. The direct marketing of the PV yields, which is common in larger systems, requires too much material and personnel effort in order to be economically viable for small PV systems. We therefore developed standardized interfaces for fully automated trading in small quantities of renewable energies and implemented them as prototypes. An offer for the sale of the expected PV surpluses is made on the supplier side at the beginning of the day and automatically transmitted to an energy broker. Time-flexible buyers of such amounts of energy, such as charging stations / electric vehicles or households with heat pumps, send purchase requests to the energy broker. The energy broker carries out a matching, establishes a virtual connection between seller and buyer, coordinates the proof of simultaneous feed and draw, if necessary, observes conditions regarding the maximum distance between the trading partners (4.5 km limit), and regulates the billing including taxes and grid fees. Standardization of the interfaces ensures competition between energy brokers. After one-time registration with the selected energy broker and configuration of, e.g. targeted minimum and maximum prices, all components involved work fully automatically. This means that transaction costs are so low that trading with just a few kWh per transaction is economically viable.

1 Motivation

Deutschland deckt bisher nur ca. 19,7% [7] (Stand 03/2021) seines Primärenergie-Bedarfs aus erneuerbaren Quellen. Für die Erreichung der Klimaschutz-Ziele ist ein rascher Ausbau dieser Quellen, vor allem von Wind- und PV-Energie, daher dringend geboten. Insbesondere das Potenzial von Millionen privater Hausdächer sollte für die Gewinnung von PV-Energie genutzt werden, auch über den Eigenbedarf hinaus. Tatsächlich wird der Ausbau der

PV-Energiegewinnung bei kleinen Anlagen über den Eigenbedarf hinaus eher erschwert, z.B. durch Verpflichtung zur Abregelung [1, §9] (70%-Regel), EEG-Abgaben auf selbst erzeugte PV-Energie [1, §61] sowie Auflagen für die Direktvermarktung von PV-Überschüssen, die bei kleinen Anlagen wirtschaftlich nicht tragbar sind. Aktuell stehen z.B. die Betreiber von älteren Photovoltaik-Anlagen am Ende des EEG-Förderzeitraums vor der Herausforderung, eine geeignete Möglichkeit der Vermarktung der erzeugten Energien zu finden. Eine garantierte Abnahme durch

den Netzbetreiber ist voraussichtlich nur bis 2027 möglich. Die Vergütung ausgeförderter PV-Anlagen fällt allerdings sehr gering aus, was den Weiterbetrieb der Anlage rasch unrentabel macht. Wer höhere Vergütungen anstrebt und über 2027 hinaus Sicherheit haben will, muss den Überschuss direkt vermarkten, was nach derzeitigem Stand den Einbau teurer Messtechnik voraussetzt. Auch wenn gerade an Vereinfachungen auf politischer Ebene gearbeitet wird [2] – Regelungen zur wirtschaftlich tragbaren Erschließung des vollen PV-Potenzials über den Eigenbedarf hinaus sind nicht in Sicht. Parallel dazu findet gerade eine Verlagerung zunehmender Mengen von Primärenergie aus dem Wärme- und Verkehrssektor in den Stromsektor statt, durch die Verbreitung von Wärmepumpen zur Heizung und von voll-elektrisch betriebenen Kraftfahrzeugen. Beide Verbrauchertypen – aus Energieeffizienz-Gründen hochwillkommen – bedeuten neue Lasten für das Stromnetz, bringen aber auch eine wertvolle Eigenschaft mit: Zeitliche Flexibilität. Damit sind sie hervorragend geeignet, die mittägliche Ertragsspitze des PV-Stroms im Netz dezentral und damit ohne Netzausbau abzupuffern – wenn es denn gelingen sollte, diese neuen Verbrauchertypen zu netzdienlichem Verhalten zu motivieren.

2 Konzept

Unser Energie-Broker zeigt eine technisch gangbare Alternative auf, wie PV-Überschüsse auch kleiner, aber sehr zahlreicher PV-Anlagen durch konsequente Digitalisierung und Automatisierung wirtschaftlich akzeptabel vermarktet werden können. Die neuen, flexiblen Verbraucher/Kunden werden dabei über günstige Preise zur Beteiligung motiviert, die Anbieter durch Aussicht auf attraktivere Erträge. Der Energie-Broker realisiert eine Extremform zeitlich variabler Stromtarife ohne größere technische Aufwände, rein dezentral und damit datenschutz-freundlich, und mittels bewährter marktwirtschaftlicher Mechanismen.

Die erforderliche Software auf Anbieterseite erzeugt täglich eine Ertrags- und eine Verbrauchsprognose, Abbildung 6. Aus der Differenz bildet sie die Überschuss-Prognose für den beginnenden Tag und erstellt daraus ein Angebot, optional mit Mindestpreis pro kWh, für die erwartete Überschuss-Energiemenge, die in einem angegebenen Zeitfenster und mit einer angegebenen maximalen Leistung zum Verkauf steht. Dazu ist regelmäßiges Auslesen der relevanten Stromzähler erforderlich. Bei elektronischen Zählern ist die optische SML-Schnittstelle bereits ausreichend. Ein Smart Meter-Gateway kann hilfreich sein, ist aber keine Voraussetzung. Die Software kann preisgünstig z.B. als Teil eines bereits vorhandenen HEMS (home energy management system) oder auf vorhandener Hardware (etwa DSL-Router) bzw. dedizierter einfacher Hardware wie einem Raspberry Pi betrieben werden.

Auf Kundenseite befindet sich die erforderliche Software z.B. in einem HEMS, das eine Wärmepumpe (mit Wärmespeicher) steuert, oder in einer Ladesäule/Wallbox. Sie erstellt ein Gesuch für eine bestimmte Energiemenge für einen vorgegebenen Zeitraum. Als Beispiel diene ein Elektro-Auto, das morgens beim Arbeitgeber an-

geschlossen wird und der Ladesäule mitteilt, dass es bis 16 Uhr vollständig, mindestens aber 10 kWh laden möchte. Der Server des Energie-Brokers vermittelt nun räumlich, zeitlich und preislich zueinander passende Angebote und Gesuche. Kommt ein Handel zustande, sind Angebot und Gesuch verbindlich zu erfüllen; bis dahin sind sie jederzeit änderbar. Nach erfolgtem Zuschlag meldet der Anbieter die Einspeiseleistung der aktuellen Zeitscheibe an den Broker. Der Broker leitet sie weiter an den Kunden, welcher seine Entnahme entsprechend regelt. AC-Ladesäulen können dazu den Ladestrom in groben Stufen anpassen, über ISO 15118 sind präzisere Steuerungen möglich. Die Zeitscheiben sind wählbar, dauern aber höchstens 15 Minuten; ein deutlich rascherer Takt ist anzustreben. Jede Transaktion bildet also einen eigenen, ausgeglichenen Bilanzkreis. Die von Maasmann [4] beschriebene Möglichkeit, eigenen PV-Strom aus der Ferne zum Laden des eigenen Fahrzeugs zu nutzen, wird vom Energie-Broker stark verallgemeinert.

„Pacta sunt servanda“ gilt auch hier: Liefert der Anbieter nicht die zugesagte Menge elektrischer Energie in der vorgegebenen Zeit, wird die Differenz vom Netzversorger beigesteuert und die Zusatzkosten dem Anbieter zugeschrieben. Einem Käufer, der die Entnahme vorzeitig beendet oder die Entnahmeleistung unnötig abregelt, wird dennoch der volle Betrag des akzeptierten Angebots in Rechnung gestellt. Da Transaktionen nicht anonym, sondern nur zwischen vorher beim Broker registrierten Handelspartnern zustande kommen, ist die Abrechnung technisch einfach realisierbar, etwa durch monatliche Rechnungen des Energie-Brokers an die Mitglieder.

2.1 Akteure

Die beteiligten Akteure und deren Aufgaben im Kontext der regionalen Direktvermarktung werden nachfolgend vorgestellt [6].

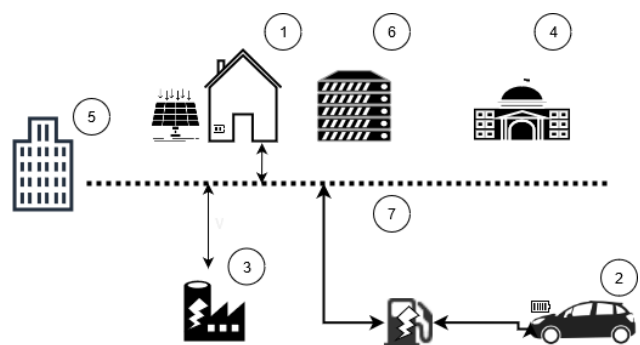


Abbildung 1 Akteure und Verteilnetz [6]

Verkäufer

Ein Verkäufer (Abb. 1, (1)) bietet überschüssige erneuerbare Energie über einen Energie-Broker (6) zum Verkauf an. Die Überschüsse werden mit Hilfe der in Abschnitt 3.1 erläuterten Modelle berechnet. Ein Verkäufer bzw. ein HEMS kann ebenfalls ein Käufer sein und somit auch Ge-

suche auf einem Energie-Broker veröffentlichen [6], wenn auch nicht gleichzeitig.

Käufer

Ein Käufer (Abb. 1, (2)) stellt Gesuche an einen Energie-Broker und bezieht Strom über das Verteilungsnetz (7) direkt vom Erzeuger. Bei den Käufern handelt es sich typischerweise um zeitlich flexible und regelbare Verbraucher, wie z.B. Ladesäulen, Wärmepumpen mit Wärmespeicher oder sonstige Akku-Speicher. Auch besteht die Möglichkeit, dass ein Käufer ebenfalls Verkäufer von Strom ist [6].

Energie-Broker

Der Energie-Broker (Abb. 1, (6)) stellt eine Plattform zum automatisierten Handeln von kleineren Mengen erneuerbarer Energien sowie aller notwendigen Funktionalitäten zur Authentifizierung, Transaktionsabwicklung und Abrechnung bereit[6].

Grundversorger

Als Grundversorger (Abb. 1, (3)) zählt ein Energieversorgungsunternehmen, welches nach Energiewirtschaftsgesetz §36 für die Grundversorgung aller Haushalte in seinem Einzugsgebiet verantwortlich ist [6].

Verteilungsnetzbetreiber

Der Verteilungsnetzbetreiber (Abb. 1, (5)) stellt das Stromnetz bereit und ist für dessen Instandhaltung verantwortlich. Im Kontext dieser Arbeit sind Übertragungsentgelte zu entrichten.

Finanzbehörde

Die Finanzbehörde (Abb. 1, (4)) ist bezüglich der zu entrichtenden Steuern auf die Einnahmen der Verkäufer bzw. der etwaigen Vermittlungsgebühr des Energie-Brokers involviert [6].

2.2 Grundsätze

Standardisierte Schnittstellen für fairen Wettbewerb und günstige Geräte

Damit kein Broker-Monopol mit überhöhten Transaktionsgebühren entsteht, wird ein Broker-Markt mit fairem Wettbewerb angestrebt. Dazu ist ein einfacher Wechsel der Kunden zwischen verschiedenen Energie-Brokern erforderlich. Dies setzt klare Standards bei den Software-Schnittstellen voraus. Eben solche Standards minimieren auch die Implementierungskosten auf Seiten der Geräte-Hersteller etwa von HEMS. Unser Konzept sieht optional auch eine zentrale Verwaltungseinheit (Master-Server) vor. Sie soll für alle Kunden und Energie-Broker als zentrale Anlaufstelle dienen und die Einhaltung der Standards sicherstellen.

Minimale Transaktionskosten durch konsequente Automatisierung

Bei allen Prozessen ist auf vollständige Automatisierbarkeit zu achten. Einmal eingerichtet, sollen Anbieter

bzw. Kunden nach einmaliger Einrichtung ihrer Endgeräte (HEMS, BEV, etc.) nur noch gelegentlich ihre Daten prüfen, und Energie-Broker nicht in den operativen Betrieb eingreifen müssen – Personalkosten würden die Transaktionskosten unnötig erhöhen.

Emergentes netzdienliches Verhalten durch marktwirtschaftliche Handels-Mechanismen

Kunden werden durch günstige Preise und einfachste Bedienung zum Bezug elektrischer Energie motiviert, wenn diese reichlich anfällt, etwa PV-Überschüsse zur Mittagszeit. Eine zentrale Koordination oder Regulierung durch staatliche Stellen oder Netzbetreiber ist nicht erforderlich.

Dezentraler Ansatz inkl. Datenschutz

Beim Energie-Broker fallen keine Verbrauchsdaten der Anbieter-Haushalte an, aus denen Rückschlüsse auf Lebensgewohnheiten möglich wären. Energie-Broker sind zwar potenzielle „Datensammler“, stehen aber im Wettbewerb und haben einen hohen Anreiz, ihre Kundendaten zu schützen und Vertrauen zu verdienen.

Regionale Vermarktung

Energie-Broker kennen die Standorte ihrer Kunden und können daher sehr einfach sicherstellen, dass PV-Energie tatsächlich regional gehandelt wird. Die Matching-Regeln sind rasch anpassbar an geänderte gesetzliche Vorgaben, etwa bei einer neuen Interpretation des „räumlichen Zusammenhangs“ der Handelspartner.

3 Technische Realisierung

Zur Implementierung der standardisierten Schnittstellen eines Energie-Brokers wurde ein Forschungsaufbau an der Hochschule RheinMain realisiert. Hier übernimmt eine PV-Anlage die Rolle des Verkäufers und eine Wallbox die Rolle eines Käufers. Der Energie-Broker wird auf der Infrastruktur der Hochschule betrieben. Die restlichen Akteure werden in diesem Forschungsaufbau simuliert.

Für die Standardisierungs-Entwürfe werden die nachfolgenden Technologien verwendet.

REST

Die Kommunikation zwischen allen Akteuren wird über REST-APIs realisiert. Während eines aktiven Handels werden Benachrichtigungen z.B. über WebSocket-Verbindungen zwischen dem Verkäufer und dem Energie-Broker, sowie zwischen dem Käufer und dem Energie-Broker ausgetauscht.

XML

Um den Austausch der Daten zwischen allen beteiligten Akteuren zu vereinfachen und die Formate entsprechend prüfen zu können, wurden die Schnittstellen mit Hilfe von XML-Schemata definiert. Dies ermöglicht zum einen eine schnelle maschinelle Verarbeitung, und zum anderen

können die aus den implementierten Schnittstellen erzeugten XML-Dokumente mit Hilfe der XML-Schemata formal validiert werden.

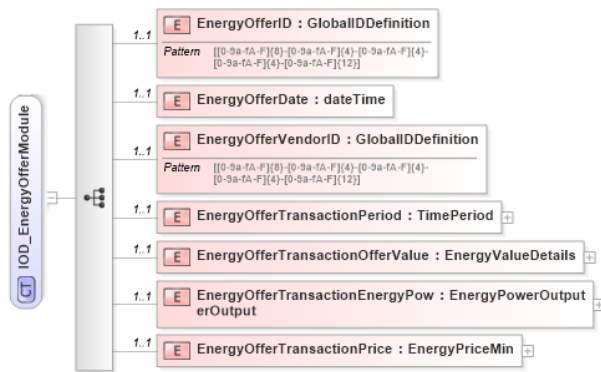


Abbildung 2 XML-Datentyp eines Verkaufsangebotes

Bisher wurden 11 Schnittstellen zwischen den Akteuren identifiziert und definiert. Die Definitionen der Schnittstellen sind nach Akteuren getrennt vorgenommen worden und bilden bisher insgesamt 90 Anwendungsfälle ab. Die übertragenen Daten bzw. Datentypen sind über entsprechende XML-Schemata definiert, siehe Abbildung 2.

Machine Learning (ML)

Die Verbrauchsprognose der Haushalte wird mit Hilfe von Machine Learning realisiert. Zur Zeit wird dabei das K-Nearest Neighbors-Modell verwendet. Sollte sich die Verfügbarkeit von großen Mengen an Datensätzen zum Trainieren der ML-Modelle verbessern, wird erneut evaluiert, welches ML-Modell am besten geeignet ist. Die Ertragsprognose soll zukünftig durch Machine Learning unterstützt werden, um Einflüsse wie Verschattung etc. zu berücksichtigen.

3.1 Prognosen

Die Prognosen setzen sich aus drei Teilen zusammen: Die Ertragsprognose, die Verbrauchsprognose und die aus diesen beiden resultierende Ertragsüberschussprognose.

$$\text{Ertragsueberschuss} = \text{Ertrag} - \text{Verbrauch}$$

Die Verbrauchsprognose erfolgt durch ein KNN ML-Modell, welches gute Ergebnisse liefert. Für die Ertragsprognose wird bisher auf ein einfaches physikalisches Modell, unter Berücksichtigung von Wettervorhersagen, gesetzt. [3]

Datum	Erzeugung Prognose	Erzeugung gemessen	Verbrauch Prognose	Verbrauch gemessen
23.08.	12,1 kWh	11,3 kWh	4,2 kWh	5,2 kWh
24.08.	9,7 kWh	8,9 kWh	2,3 kWh	3,3 kWh
25.08.	11,0 kWh	7,7 kWh	2,2 kWh	2,2 kWh
26.08.	12,6 kWh	7,0 kWh	2,0 kWh	2,0 kWh
27.08.	11,7 kWh	12,6 kWh	3,9 kWh	4,8 kWh

Tabelle 1 Prognosen und tatsächliche Werte [3]

In Abb. 3 und 4 werden erste Ergebnisse der implementierten Verfahren dargestellt. Die Abweichungen zwischen den prognostizierten und den tatsächlichen Werten sind größtenteils der Ertragsprognose geschuldet. Ein ausgefeilteres Modell mit besseren Wetterdaten, u.a. in Kooperation mit dem DWD und mit [5], wird bessere Ergebnisse liefern und befindet sich in Vorbereitung.

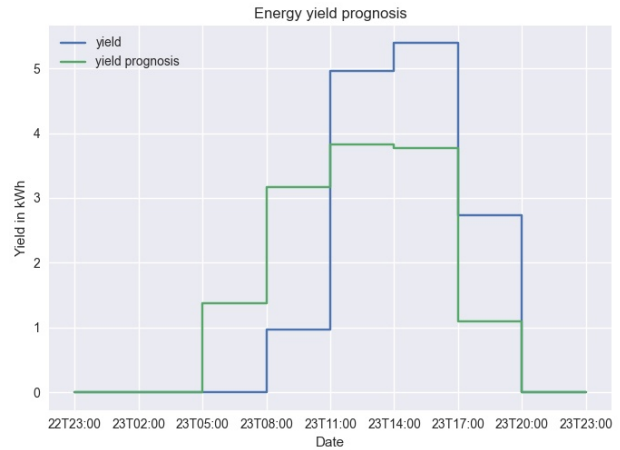


Abbildung 3 Ertragsprognose 23.08. [3]

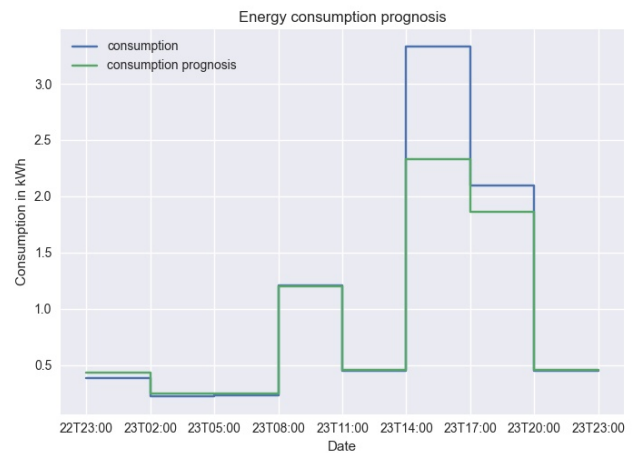


Abbildung 4 Verbrauchsprognose 23.08. [3]

3.2 Ablauf

Um möglichst genaue Prognosen erstellen zu können, werden mehrere ML-Modelle vortrainiert, um die gängigsten Haushaltstypen abzudecken. Das HEMS bezieht dann anhand seiner gesammelten Daten das passende ML-Modell von einem externen Server und betreibt es anschließend lokal. Zum aktuellen Zeitraum beschränkt sich die ML-gestützte Prognose auf die Verbrauchsprognose. Mit den lokal erstellten Prognosen werden Angebote für den Energie-Broker gebildet und so lange aktuell gehalten, bis sie vermittelt oder widerrufen wurden. Wird ein Angebot vermittelt, teilt der Energie-Broker den Handelspartnern bindend mit, dass eine Transaktion zustande gekommen ist. Für die Dauer dieser Transaktion teilen die Partner dem Broker in festen Zeitscheiben mit, welche Energiemengen sie eingespeist bzw. entnommen haben, siehe

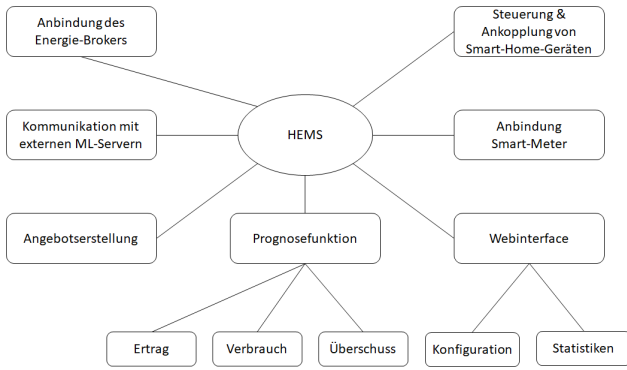


Abbildung 5 Übersicht der HEMS-Funktionalitäten [3]

Abschnitt 3.2.2 und Abb. 6.

3.2.1 Beispiel: Ablauf eines Verkaufs

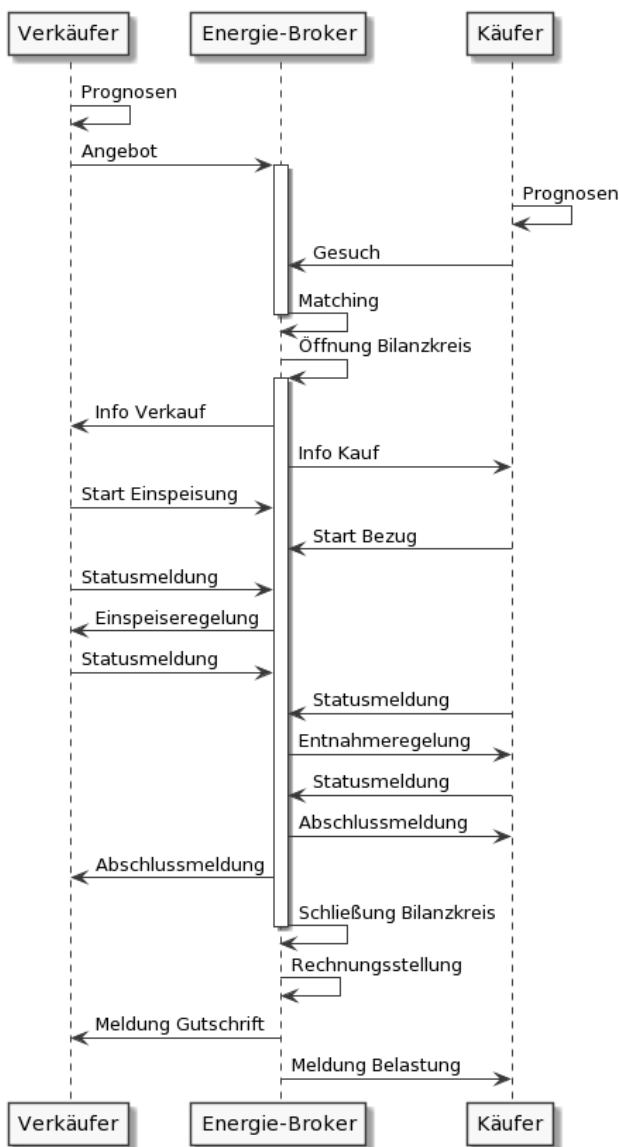


Abbildung 6 Vereinfachter Ablauf einer Transaktion

Der in Abbildung 6 dargestellte vereinfachte Ablauf zeigt die grundlegende Struktur eines erfolgreichen Handels.

Angebote und Gesuche werden vom Energie-Broker vermittelt. Solange der Handel aktiv ist, wird dieser als aktiver Bilanzkreis geführt. Einspeisung und Bezug werden so geregelt, dass die Einspeisung dem Bezug entspricht (Gleichzeitigkeitsnachweis), siehe 3.2.2. Beendet der Käufer den Bezug oder ist das Ende des vereinbarten Handels erreicht, wird der Bilanzkreis geschlossen, und die gesammelten Daten werden zur Rechnungsstellung verwendet.

3.2.2 Regelung der Entnahmeleistung

Für jede Zeitscheibe (max. 15 Minuten) meldet der Anbieter die momentane bzw. vorhersehbare Einspeiseleistung sowie die in der letzten Zeitscheibe eingespeiste Energiemenge an den Broker. Der Käufer meldet im gleichen Takt seine geplante nächste Ladeleistung sowie die entnommene Energiemenge während der letzten Zeitscheibe. Der Broker antwortet mit einer Vorgabe für die Entnahmeleistung der neuen Zeitscheibe. Diese kann abweichen von der gemeldeten Einspeiseleistung. Der Käufer regelt seine Entnahmeleistung für die neue Zeitscheibe dann möglichst genau nach dieser Vorgabe.

Der Energie-Broker übernimmt die Fortschreibung der mitgeteilten Energiemengen und greift ggf. regelnd ein, um Überträge zwischen Zeitscheiben möglichst rasch wieder abzubauen. Dies erfolgt durch Mitteilung einer abweichenden Entnahmeleistung an den Käufer.

Wird absehbar, dass die zugesagte Energiemenge bis zum geplanten Transaktionsende nicht mehr entnommen werden kann, ist der Energie-Broker befugt und auch verpflichtet, die Entnahmeleistung rechtzeitig zu erhöhen. Erforderliche Energie-Differenzen werden vom regulären Strom-Markt eingekauft und dem Anbieter berechnet.

3.3 Verhalten bei Störungen

Verkäufer, Broker und Käufer sind auf stabile Netzwerkverbindungen angewiesen. Netzwerkstörungen werden als seltene Ereignisse behandelt. Wegen der geringen Handelsbeträge pro Transaktion, und um die Systemkosten gering zu halten, werden einfache Fallback-Regeln vereinbart:

- Bei temporären Verbindungsstörungen verwendet der Käufer die Eckdaten aus dem Angebot. Insbesondere ist er an die dort genannte Maximalleistung gebunden (im Mittel über eine Zeitscheibe).
- Bei anhaltendem Verbindungsabbruch während einer laufenden Transaktion verhalten sich alle Beteiligten gemäß Vertragsabschluss, d.h. sie speisen über die geplante Zeit ein bzw. entnehmen die vereinbarte Energiemenge unter Beachtung der maximalen Leistung.
- Wenn möglich, werden die Transaktionsdaten an den Broker nach Wiederherstellung der Verbindung nachgemeldet.
- Falls nicht, wird die Transaktion bis zum Verbindungsabbruch auf Basis der gemeldeten Daten und darüber hinaus so abgerechnet, als wäre sie laut Vertrag erfüllt worden (sofern möglich).

4 Diskussion

4.1 Stand der Entwicklung

Die erforderlichen Schnittstellen wurden auf Basis von REST detailliert entworfen und prototypisch mit Open-Source-Software implementiert. Zur Vermittlung



Abbildung 7 Demonstrator des Energie-Brokers

des Energie-Broker-Prinzips entstanden ein Software-Demonstrator (Abb. 7) und ein vereinfachtes Hardware-Modell. Eine einfache Modell- und Wetterdaten-basierte Ertragsprognose wurde entwickelt, und erste Machine Learning-basierte Modelle zur Eigenverbrauchs-Prognose werden z.Z. validiert.

4.2 Herausforderungen

Für den Handel kleiner Energiemengen über einen Broker ist weder eine teure Installation von Zählern mit geeichter Zeitmessung noch eine Abschaltvorrichtung für Überangebote erforderlich, denn der Broker übernimmt bereits den Nachweis der Gleichzeitigkeit und den Ausgleich der gebildeten Bilanzkreise. Leider sind diese kostentreibenden Einrichtungen in Deutschland beim Handel mit PV-Überschüssen vorgeschrieben, selbst bei geringen Mengen. Bisher wäre auch eine EEG-Abgabe für die so gehandelten PV-Überschüsse zu entrichten. Diese Regelung widerspricht der Schaffung von Anreizen zum raschen Ausbau erneuerbarer Energiequellen und mindert auch den Anreiz zur Nutzung eines Energie-Brokers. Das Energie-Broker-Konzept bietet einen finanziellen Anreiz, PV-Kapazitäten auch über den jeweiligen Eigenbedarf hinaus aufzubauen. Es ist verwunderlich, dass dieser Ausbau einerseits für die Energiewende dringend benötigt, aber immer noch regulatorisch behindert wird.

Während HEMS oder preisgünstige Steuer-Einheiten den Anbietern einen Anschluss an Energie-Broker relativ einfach ermöglichen könnten, ist eine einfache Nutzung durch Elektrofahrzeuge schwieriger erzielbar. Damit ein benutzerfreundliches „plug & charge“ entsteht, ist sowohl die Software der Ladesäulen als auch die der Fahrzeuge und letztlich auch die ISO 15118-Norm zu erweitern und daher die Automobilbranche als Partner erforderlich.

Als technisch anspruchsvoll hat sich die Ertragsprognose herausgestellt. Beim Modellieren von Verschattungseffekten als auch bei der Präzision der vorhergesagten Sonneneinstrahlung im Tagesverlauf gibt es noch Verbesserungs-

potenzial.

Schließlich wurde das mögliche Problem der Manipulation ausgetauschter Meldedaten durch unkooperative Marktteilnehmer noch nicht adressiert.

4.3 Ausblick

Im hochschuleigenen Forschungsaufbau (Abschnitt 3) vereinfachen wir die Einbindung von Elektrofahrzeugen als Kunden eines Energie-Brokers mit Hilfe von ISO 15118-basierten Dialogen. Erste Feldtests („living labs“) werden aktuell vorbereitet. Für den Betrieb der Energie-Broker streben wir eine Kooperation mit geeigneten Partnern aus der Energiewirtschaft an. Zur Verbesserung der Ertragsprognosen ist eine engere Anbindung an Daten der Wetterdienste in Arbeit. Um die Datenlage für die Machine Learning Algorithmen zu verbessern, läuft aktuell eine Datenerhebung unter Einbindung freiwillig teilnehmender Haushalte.

Aufgrund der Klimaschutz-Ziele der Bundesregierung erwarten wir den Abbau regulatorischer Hindernisse und die Erörterung neuer Möglichkeiten wie den Energie-Broker, um den Weiterbetrieb der ausgeförderten PV-Anlagen zu sichern sowie einen Anreiz zur Installation von PV-Anlagen über den Eigenbedarf hinaus zu schaffen. Das große Interesse unserer Partner aus der Praxis an einem virtuellen Feldtest unter Realbedingungen deuten wir als starken Indikator dafür, dass Energie-Broker wie der von uns entwickelte einen effektiven, kostengünstigen und technisch vergleichsweise einfach zu implementierenden Beitrag zur Lösung der wachsenden Herausforderungen der Energiewende leisten könnten.

Der regionale Handel über einen Energie-Broker birgt die Gefahr einer Gentrifizierung der Energiewende, denn PV-Anlagen sind eher in wohlhabenden Stadtteilen zu erwarten und würden hier für geringere Stromkosten sorgen. Finanziell benachteiligte Stadtteile wären benachteiligt, da hier das Angebot geringer ausfällt. Wir diskutieren aktuell einen energetischen Freibetrag, welcher als Pro-Kopf-Pauschale den Handel mit erneuerbaren Energien bis zu einem noch nicht definierten Maximum steuerfrei ermöglicht. Personen die nicht über eine PV-Anlage verfügen, könnten diesen Freibetrag verpachten und an den Erträgen partizipieren. Ob dies ausreicht und welche genauen Beträge nötig, wären muss noch erforscht werden. Ein weiterer großer Vorteil des „energetischen Freibetrags“ wäre zudem, dass der Verkauf von kleinen Mengen erneuerbarer Energie attraktiver würde und so Bürgerkapital für die Energiewende mobilisiert werden könnte, welches ansonsten ungenutzt bliebe.

5 Literatur

- [1] Bundesamt für Justiz, Erneuerbare-Energien-Gesetz, https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/, 2020
- [2] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, Technische Richtlinie BSI TF-03109-1, 2010
- [3] Marc Löw, Entwicklung einer optimierten Energie-

Ertragsüberschussprognose für Photovoltaikanlage,
Masterthesis, Hochschule RheinMain, 2020

- [4] Jonas Maasmann, Die virtuelle Direktleitung für den entfernten Eigenverbrauch durch Elektrofahrzeuge, Dissertation, Technische Universität Dortmund, 2019
- [5] Ulrich Schwanecke, Forschungsprojekt „deep weather“, 2020
- [6] Patrick Stoy, Konzeption und Entwicklung Standardisierter Schnittstellen zur automatisierten regionalen Vermarktung kleiner Mengen an erneuerbaren Energien. Masterthesis, Hochschule RheinMain, 2019
- [7] Umweltbundesamt, Erneuerbare Energien in Zahlen, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/de_indikator_energie_04_erneuerbare-energien_2022-03-28__0.pdf, 2022