

Agenten- und Blockchainbasiertes Energiemanagementsystem für Mieterstromobjekte

Agent- and Blockchain-based Energy Management System for Multifamily Housing

Stefan P. M. Chantrel, Fraunhofer ISE, Freiburg, Deutschland, stefan.chantrel@ise.fraunhofer.de
Arne Surmann, Fraunhofer ISE, Freiburg, Deutschland, arne.surmann@ise.fraunhofer.de
Dr. Robert Kohrs, Fraunhofer ISE, Freiburg, Deutschland, robert.kohrs@ise.fraunhofer.de
Manuel Utz, Hochschule Fresenius, Frankfurt a.M., Deutschland, manuel.utz@hs-fresenius.de
Simon Albrecht, Universität Freiburg, Freiburg, Deutschland, simon.albrecht@is.uni-freiburg.de

Kurzfassung

Im Energiesystem der Zukunft wird es hohe Anteile dezentraler, erneuerbarer Erzeugung geben. Die Integration dieser stellt Verteilnetzbetreiber und Anlagenbetreiber vor Herausforderungen. Dies gilt besonders bei heterogenen und komplexen Besitzverhältnissen dezentraler Anlagen. Dieser Beitrag beschreibt einen Ansatz zur Implementierung eines Energiemanagementsystems innerhalb von Mieterstromobjekten. Anhand eines Agentensystems wird die dezentrale Struktur der Anlagen im Mieterstromobjekt abgebildet. Ferner tätigt dieser Beitrag Aussagen zur Relevanz der Blockchaintechologie im aktuellen regulatorischen Rahmen von Mieterstromobjekten.

Abstract

Balancing renewable generation and demand is a challenge of the future energy system. This applies particularly to heterogeneous and complex ownership conditions of decentralised facilities. In this paper, we introduce a concept to minimize grid load by means of an agent based self-consumption optimization in multifamily residential housing. Furthermore we discuss whether the use of blockchain technology fits the current regulatory framework of Germany regarding residential microgrids for tenant's electricity.

1 Einleitung

Die Anteile erneuerbarer Erzeugung durch verteilte Systeme haben im Niederspannungsnetz stark zugenommen. Ende 2017 waren bereits über 1,6 Millionen Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) mit einer installierten Spitzenleistung von 43 GW am Netz [1]. Neben der Sicherstellung der Energieversorgung ist die Netzbelastung zu beachten. Durch den stetigen Ausbau regenerativer Erzeuger und lastintensiver Verbraucher wird die Residuallast stark beeinflusst. Die maximale Residuallast innerhalb eines Netzes ist dessen wichtigster Dimensionierungsparameter [2]. Ursprünglich wurden hiermit Leitungen und Transformatoren für unidirektionale Stromflüsse zwischen Netzen ausgelegt. Die heutige Kombination von dezentraler Stromerzeugung und Stromverbrauch führt vermehrt zu unvorhergesehenen bidirektionalen Stromflüssen. Zum Ausgleich dieser fluktuierenden Stromflüsse können Flexibilitäten sowohl auf der Verbrauchsseite als auch auf der Erzeugerseite aktiviert werden. Die Koordinierung der Aktivierung dezentraler Flexibilitäten stellt eine der großen Herausforderungen der nächsten Jahre dar. Naheliegenderweise bedarf es einer Koordinierung in der „dezentralsten“ beziehungsweise untersten Netzebene. Mieterstromobjekte haben ein elektrisches (Haus-)Netz mit einem Anschlusspunkt zum Niederspannungsnetz. Daher betrachten wir Hausnetze von Mieterstromobjekte als un-

terste Ebene des Stromnetzes. Für diese Ebene wird folgend ein Konzept für die Steuerung und Abrechnung eines agentenbasierten Energiemanagementsystems (EMS) in Mieterstromobjekten beschrieben.

1.1 Motivation

Mieterstrom ist lokal produzierter Strom, der Mieter von Wohnungen oder Gewerbeflächen angeboten wird. Diese dürfen normale Stromlieferverträge alternativ zu den gewöhnlichen Energieversorgungsunternehmen (EVU) mit dem zugehörigen Mieterstrombetreiber abschließen. Der Strom, welcher im Rahmen eines solchen Vertrages geliefert wird, muss zumindest teilweise aus Erzeugungsanlagen (PV-Anlagen und/oder Blockheizkraftwerke BHKW) der Liegenschaft stammen. Teilnehmende Mieter haben keinen Stromliefervertrag mit einem EVU. Den restlichen Strom beschafft der Mieterstrombetreiber über das Stromnetz von einem EVU. Mieter haben weiterhin die volle Versorgungssicherheit. Mieterstrom muss günstiger angeboten werden als Strom aus dem Netz.

Bild 1 zeigt einen beispielhaften zeitlichen Last- und Erzeugungsverlauf eines Mieterstromobjekts. Zu sehen ist, dass der Verbrauch von drei unterschiedlichen Wohneinheiten (Apt 1-3) unabhängig sowohl voneinander als auch von der Photovoltaik Erzeugung (PV) entsteht.

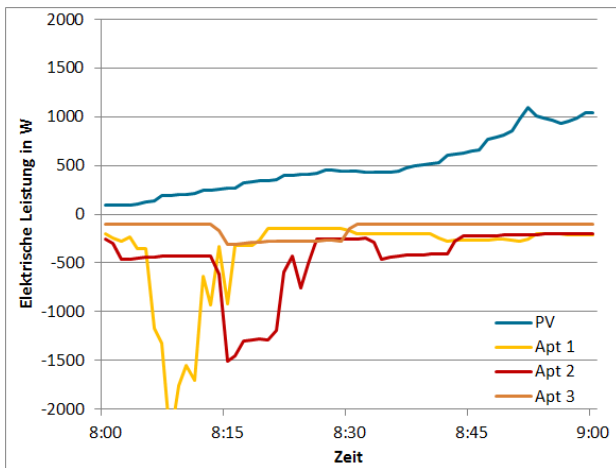


Bild 1 Elektrische Leistung einer PV Anlage und elektrische Last von drei Wohneinheiten an einem Tag von 8:00 bis 9:00

Die unkoordinierten Last- und Erzeugungsverläufe aus dem Szenario in **Bild 1** führen zu starken Schwankungen der Residuallast, wie in **Bild 2** zu sehen ist. Als Residuallast wird die in einem Stromnetz nachgefragte elektrische Leistung (Last) abzüglich der Einspeisung fluktuierender Erzeuger bezeichnet. Nur wenn Erzeugung und Verbrauch innerhalb des definierten Netzes (Mietstromobjekt) im Gleichgewicht sind, ist die Residuallast gleich null (**Bild 2** 8:44). Innerhalb eines elektrischen Netzes bestehen physikalische Rahmenbedingungen welche die maximale Residuallast einschränken. Aus diesem Grund muss gegebenenfalls die Residuallast geregelt werden. Zur Regelung, beziehungsweise Minimierung vom absoluten Betrag der Residuallast werden typischerweise dedizierte beziehungsweise ausgewählte Anlagen gesteuert. Problem hierbei ist die Bereitstellung einer dedizierten Anlage (Kosten) beziehungsweise die Steuerung einer „fremden“ (dezentralen gegebenenfalls privaten) Anlage. Anlagenbetreiber haben daher wenig Motivation eine Optimierung der Residuallast durchzuführen und überlassen die Herausforderung der Residuallastminimierung dem übergeordneten Netzbetreiber.

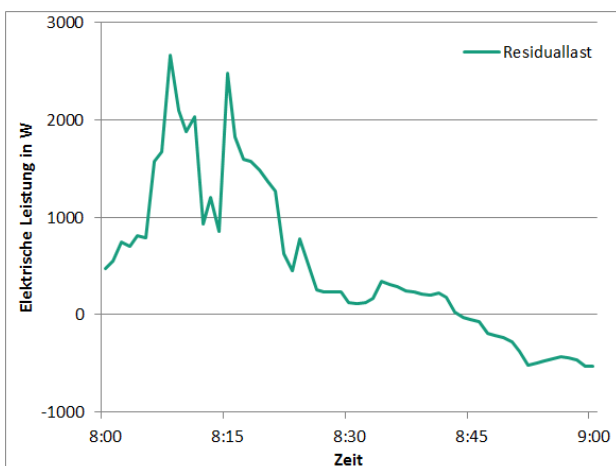


Bild 2 Zugehörige Residuallast des Szenarios aus **Bild 1**

Für Mieterstrombetreiber ist die Wirtschaftlichkeit des Mieterstromobjektes von zentraler Bedeutung. Die Wirtschaftlichkeit hängt unter anderem von der technischen Anlagenauslegung ab. Hierbei sind zwei Kenngrößen zu beachten:

- Der Anteil des Eigenverbrauchs und
- Der Autarkiegrad.

Bei einer sehr großen PV-Anlage und geringem Stromverbrauch wird der Autarkiegrad hoch sein, der Eigenverbrauch jedoch gering. In diesem Fall wird Strom in das übergeordnete Netz eingespeist. Bei einer kleinen PV-Anlage und hohem Stromverbrauch ist der Eigenverbrauch hoch, allerdings muss zur Deckung des Strombedarfs entsprechend Strom zugekauft werden. Um wirtschaftlich zu sein, müssen Betreiber von geförderten Mieterstromobjekten einen möglichst hohen Eigenverbrauch des erzeugten Stroms und zugleich einen hohen Autarkiegrad erzielen. Autarkiegrad und Eigenverbrauchsquote (EVQ) wurden für das Szenario aus **Bild 1** berechnet und sind in **Bild 3** dargestellt.

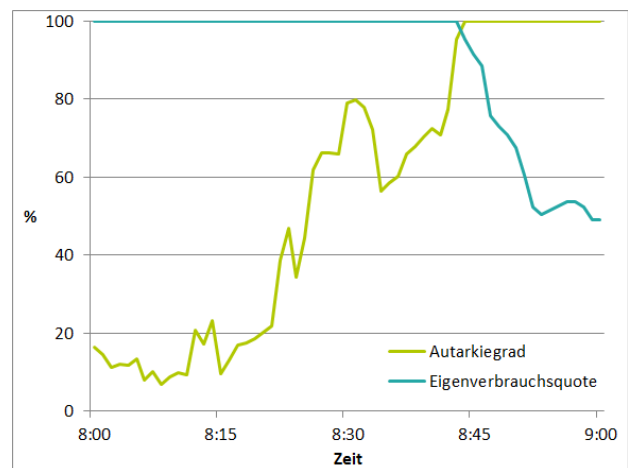


Bild 3 Zugehöriger Autarkiegrad und Eigenverbrauchsquote des Szenarios aus **Bild 1**

Aus **Bild 3** zu entnehmen ist, dass das wirtschaftliche Optimum (maximale EVQ und maximaler Autarkiegrad) eines geförderten Mieterstromobjektes mit dem Nullpunkt der Residuallast aus **Bild 2** übereinstimmt.

Die Hauptaufgabe unseres EMS besteht darin, Einspeisung und Verbrauch von Strom innerhalb des Mieterstromobjektes mittels der Flexibilität vorhandener dezentraler Anlagen im Gleichgewicht zu halten. Die von uns erzielten Vorteile sind:

1. Eine Entlastung der übergeordneten Netzinfrastruktur durch Minimierung der Residuallast (Absolutwert) von Mieterstromobjekten.
2. Eine Steigerung der Wirtschaftlichkeit von geförderten Mieterstromobjekten durch eine Maximierung des Autarkiegrades und der Eigenverbrauchsquote.
3. Ein dezentrales System, welches sich an der zugehörigen, dezentralen Anlagenlandschaft orientiert.

4. Die Schaffung eines offenen Systems der Teilhabe bzw. Teilnahme durch Abbildung und Einbeziehung der einzelnen Akteure eines lokalen Energiesystems.

2 Dezentrales Managementsystem

Zur Vermeidung kritischer Netzzustände existieren bereits verschiedene Netzautomatisierungssysteme [2, 3]. Hierbei ist zwischen dezentral aufgestellten und dezentral agierenden Systemen zu unterscheiden. Der Vorteil dezentral aufgestellter Automatisierung ist das Erreichen einer autarken, ausfallsicheren Regelung. Herausfordernd sind dezentral agierende Systeme, bei welchen das Erreichen eines gemeinsamen (zentralen) Ziels gegebenenfalls mit individuellen (dezentralen) Zielen konkurriert. Mit diesem Konferenzbeitrag diskutieren wir die Entscheidung für ein agentenbasiertes System. Agenten verstehen wir nach folgender Definition:

„Ein technischer Agent ist eine abgrenzbare (Hardware- und/oder Software-) Einheit mit definierten Zielen. Ein technischer Agent ist bestrebt, diese Ziele durch selbstständiges Verhalten zu erreichen und interagiert dabei mit seiner Umgebung und anderen Agenten“ [4].

Der Hauptvorteil von Agentensystemen liegt in der offenen, dezentralen Struktur. Teilnehmer können sich jederzeit an- und abmelden, sie verfolgen ihre eigenen Ziele unter Wahrung gemeinsamer Regeln. Aufgrund ihrer Struktur sind Agenten nicht auf ein zentrales Kontrollsignal angewiesen und können bei einem Kommunikationsausfall autark ihre lokalen Regelziele verfolgen. Sowohl durch den Wechsel von Mietern als auch allgemeiner durch die Vielfalt an Mietern entstehen innerhalb des Mieterstromobjekts unterschiedliche, voneinander unabhängige Nutzungsverhalten beziehungsweise Lastprofile. Agentensysteme sind demnach besonders geeignet um die Ziele 2, 3 und 4 aus Sektion 1.1 zu erreichen. Ein agentenbasiertes EMS für Mieterstromobjekte ist demnach naheliegend.

2.1 Gemeinsames Ziel und individuelle Steuerung

Um die angestrebten Ziele 3 und 4 zu erreichen, entwickeln wir ein EMS, in dem jeder einzelne Anschlusspunkt innerhalb des Mieterstromobjekts mit einem autonom agierenden Agenten ausgestattet ist. Jeder Agent ist mit jeweils einem Smart Meter gekoppelt und ist für den Betrieb der untergeordneten technischen Anlage verantwortlich. Als Anlagen bezeichnen wir beispielsweise PV-Anlagen, Batteriespeicher, nicht-steuerbare Last in den Wohnungen, Wärmepumpen, Ladesäulen oder Blockheizkraftwerke.

Diese Anlagen lassen sich in stromeinspeisende und stromverbrauchende Anlagen einteilen. Verbraucher sind prinzipiell daran interessiert Strom zum günstigsten Preis zu beziehen. Einspeisende sind prinzipiell daran interessiert den von ihnen eingespeisten Strom möglichst teuer

zu verkaufen. Unter den Anlagen beziehungsweise Agenten herrschen demnach unterschiedliche, konkurrierende Interessen.

Um den konkurrierenden Interessen entgegenzukommen, muss ein Konsens gefunden werden. Konsens kann beispielweise im Rahmen eines klassischen Bieterverfahrens nach Angebot und Nachfrage gefunden werden. Für Agenten, welche ihre Umgebung steuern können beziehungsweise über Flexibilität verfügen, ist ein Konsens über den Strompreis von betriebswirtschaftlicher Bedeutung.

Hierzu ist Kommunikation zwischen Agenten notwendig. Doch für Agenten ohne steuerbare Umgebung ist der Preis zweitrangig da Endkunden im heutigen System über eine „Stromflatrate“ verfügen. Für Endkunden wird die Energiemenge typischerweise erst nach Jahresabschluss erfasst und abgerechnet. Im heutigen System bedarf es so gut wie keiner Kommunikation. Somit unterscheidet sich der Kommunikationsbedarf von Agenten maßgeblich.

Um eine kommunikationsintensive Preisfindung nach Angebot und Nachfrage im klassischen Bieterverfahren zu meiden, definieren wir einen offengelegten Preisfindungsmechanismus. Den zugehörigen Anreizmechanismus diskutieren wir in Sektion 2.2. Damit Agenten keinen wirtschaftlichen Nachteil gegenüber anderen Agenten haben, sollten alle Agenten über den Preisfindungsmechanismus informiert sein. Ein Agent hat demnach die Anforderung sich zielorientiert mit anderen Agenten informationstechnisch zu vernetzen.

Die Vernetzung von Agenten ergibt ein Agentennetzwerk zur Koordinierung übergeordneter Netzziele wie in Sektion 1.1 unter 1 und 2 definiert. Durch Offenlegung von Last- und Erzeugungsprognosen von Agenten kann ein Abbild der Gesamtsituation entstehen. Agenten mit einer steuerbaren Anlage (Flexibilität) können dieses Wissen nutzen um gegebenenfalls situativ ihr eigenes Verhalten anzupassen. Über diesen Abstimmungsprozess kann ein gemeinsames Optimum erzielt werden. Diesen Abstimmungsmechanismus diskutieren wir in Sektion 2.3.

2.2 Zentraler Preisfindungsmechanismus

Die Aktivierung von Flexibilität lässt sich durch eine zeitliche Verschiebung von elektrischen Lasten beziehungsweise Einspeisern realisieren. Im Falle von dezentralen Anlagen (bezüglich verteilten Eigentums, siehe Ziel Nr. 4) muss der Eigentümer einer flexiblen Anlage motiviert werden diese Flexibilität zu Gunsten der Gemeinschaft einzusetzen. Ein finanzieller Anreiz ist eine Motivationsmöglichkeit.

Für ein attraktives Mieterstromangebot ist ein konkurrenzfähiger Strompreis notwendig [5]. Staatlich geförderte Mieterstromobjekte funktionieren über einen Stromliefervertrag zwischen Mieterstrombetreiber und Mieter. Der

Strompreis für den im Rahmen eines solchen Vertrages gelieferten Strom darf nach aktuellen Vorgaben maximal 90% des örtlichen Grundversorgertarifs P_{\max} betragen [6], auch dann, wenn nur ein Teil des Stroms aus den eigenen Anlagen (Beispielsweise PV-Anlage) des Mieterstromobjekts stammt. In diesem Fall bezieht der Mieterstrombetreiber von einem EVU Strom aus dem Netz, um die Nachfrage seiner Kunden (Mieter) zu decken. Diesen Netzstrom liefert ein EVU typischerweise zum örtlichen Grundversorgertarifs P_{\max} . Dimensioniert der Mieterstrombetreiber seine PV-Anlage zu klein, muss er ständig Netzstrom zu P_{\max} einkaufen und zu 90% von P_{\max} (Obergrenze für den Mieterstrompreis) verkaufen. Hierdurch entsteht der Anreiz für Mieterstromanbieter die PV-Anlage ausreichend groß zu dimensionieren. Eine untere Strompreisgrenze wird im Mieterstromgesetz nicht vorgegeben.

Durch die Entwicklung unseres Systems kommen wir den konkurrierenden Interessen von einspeisenden und verbrauchenden Anlagen entgegen, indem wir einen finanziellen Anreiz zur Lastverschiebung generieren. Dieser Anreiz entsteht durch einen in Funktion der EVQ (Ziel Nr. 2) variablen Stromtarif. Den zugehörigen Mieterstrompreis definieren wir folgend:

$$P_{\text{Mieterstrom}} = (0,9 \times P_{\max} - P_{\min}) \times \text{EVQ} + P_{\min}$$

Wobei :

$$\text{EVQ} = \frac{E_{\text{Eigenverbrauch}}}{E_{\text{Erzeugung}}}$$

$$P_{\max} = \text{Netzbezugspreis}$$

$$P_{\min} = (\text{Einspeisevergütung} + \text{EEG Umlage}) \times (1 + \text{Mehrwertsteuer}) - \text{Mieterstromzuschlag}$$

Zur Definition von $P_{\text{Mieterstrom}}$ haben wir zusätzlich P_{\min} definiert. P_{\min} wird durch den garantierten Einspeisepreis zuzüglich EEG Umlage und 19% Mehrwertsteuer und abzüglich des Mieterstromzuschlags definiert. Bei Gesteungskosten sowie Kosten für den Messstellenbetrieb und gegebenenfalls anfallenden Steuern (Einkommensteuer, Gewerbesteuer, Umsatzsteuer) wird nicht zwischen Mieterstrom und Netzeinspeisung differenziert. Aus diesem Grund wurden diese Kosten nicht näher aufgelöst.

Wie in Sektion 1.1 erläutert, schließt eine EVQ von 100% nicht aus, dass Strom zusätzlich aus dem Netz bezogen werden muss. Für diesen zusätzlichen Verbrauch gilt für Mieterstromobjekte ohne Mieterstromzuschlag der Netzbezugspreis P_{\max} . Für Mieterstromobjekte mit Mieterstromzuschlag liegt die Preisobergrenze bei 90% von P_{\max} .

Bei einer EVQ von 0% wird in das übergeordnete Netz gespeist. Der Mieterstrombetreiber erhält typischerweise den Einspeisevergütungspreis für jede Kilowattstunde.

In **Bild 4** wurde $P_{\text{Mieterstrom}}$ für Mieterstromobjekte mit Mieterstromzuschlag graphisch dargestellt. Steigt die Stromnachfrage, steigt die EVQ im Mieterstromobjekt. Steigt die EVQ im Mieterstromobjekt, steigt auch der Mieterstrompreis. Steigt der Mieterstrompreis, besteht der Anreiz, flexible Lasten in Zeiten günstigerer Strompreise zu verschieben. Wird eine Last geschaltet, steigt die Stromnachfrage. Hierdurch entsteht ein Regelkreis in dem die Erfüllung zweier Bedingungen den Bezug von günstigerem Strom voraussetzt:

- Eine Last in Zeiten zu verschieben beziehungsweise zu schalten, in denen die EVQ unter 100% liegt.
- Eine Last zu schalten, welche die EVQ unter 100% hält.

Diese Bedingungen sind allen Agenten bekannt. Zudem definiert ein Aufteilungsschlüssel den Anteil Mieterstrom zwischen Agenten. Dieser Aufteilungsschlüssel wird von den teilnehmenden Parteien beziehungsweise dem Mieterstrombetreiber zentral definiert. Somit können Agenten anhand zentraler Informationen, Aufteilungsschlüssel und EVQ, dezentral berechnen, welche Menge Eigenstrom ihnen mindestens zusteht, und gegebenenfalls eine entsprechende Last schalten. Zudem wird festgestellt, wer seinen Verbrauch nicht angepasst hat und gegebenenfalls verantwortlich für Netzbezug ist.

Das Teilen von Last- bzw. Erzeugungsprognosen durch nicht steuerbare Agenten zur Ermittlung der gemeinschaftlichen EVQ ermöglicht steuerbare Agenten gegebenenfalls mehr Energie, als ihnen anteilmäßig zusteht, abzurufen. Ohne Managementsystem würde diese Energie ins übergeordnete Netz gespeist.

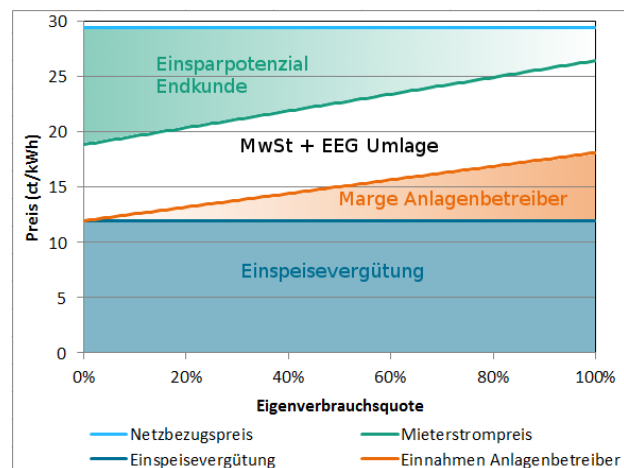


Bild 4 Strompreiskomponenten gemäß zentralen Preisfindungsmechanismus in Funktion der EVQ

Mit unserem Preismechanismus wird ein zeitlich variabler Preis pro Kilowattstunde zum Anreiz, um die EVQ des Mieterstromobjekts langfristig zu maximieren (Ziel Nr. 2). Durch die Preisobergrenze von 90% von P_{\max} besteht für geförderte Mieterstromobjekte kein Anreiz eine niedrige Autarkie zu haben. Ziel Nr. 2 und somit auch Ziel Nr. 1 werden durch den vorgestellten Mechanismus

erreicht. Die EVQ des Mieterstromobjekts kann durch Ausnutzen von Flexibilität, sprich durch eine zeitliche Verschiebung von Lasten und Einspeisung, positiv beeinflusst werden. Eine signifikante Verschiebung wird mit einem günstigeren Preis belohnt. Um eine günstige Preissituation in Echtzeit zu erkennen, genügt die Offenlegung bzw. Kommunikation der EVQ, und macht eine aufwendige Verhandlung nach Angebot und Nachfrage überflüssig.

2.3 Dezentrales Kommunikationsnetz

Wie in Sektion 2.1 festgestellt, ist eine Abstimmung der Agenten notwendig, um die gemeinsame EVQ innerhalb des gemeinsamen Netzes zu maximieren. Der Multiagentenansatz bietet den Vorteil einer effizienten Netzstatusbestimmung und -regelung [3]. Bei einem Kommunikationsausfall können Agenten gegebenenfalls autark lokale Regelziele verfolgen.

Doch wenn Agenten hierarchisch organisiert werden, indem ein Hauptagent die benötigte Leistung berechnet und alle untergeordneten fragt, ob diese die geforderte Leistung erbringen können [3], dann entsteht durch den Hauptagenten ein zentraler „single point of failure“ (SPOF). Gleiches gilt wenn ein Auktionator an der Spitze der Hierarchie steht und alle Gebote, welche er von „untergeordneten“ Agenten erhält, aggregiert [7]. Selbst wenn jede Minute einer der Agenten den optimalen Netzzustand berechnet [2], entsteht minütlich ein zentraler SPOF.

Das Ziel eines Agenten in unserem Agentennetz ist wirtschaftlich zu handeln (Siehe Nr. 2 in Sektion 1.1). Wie in Sektion 2.2 festgestellt, ist der Stromtarif vom örtlichen Netzanbieter nicht verhandelbar (zumindest nicht durch Agenten), allein die langfristige Maximierung der EVQ im Rahmen des Mieterstrommodells generiert den Anreiz einer günstigeren Kilowattstunde. Wie bereits erläutert variiert der Preis dieser Mieterstromkilowattstunde in Funktion der EVQ.

Die tatsächliche EVQ beruht auf dem tatsächlichen Fluss von Strom. Dieser wird anhand von Smart Metern erfasst. Die Smart Meter Werte liegen de facto in der Vergangenheit. Durch eine frühzeitige Kommunikation von Last- und Erzeugungsprognosen der einzelnen Agenten kann ein Abbild der Gesamtsituation entstehen. Agenten mit einer steuerbaren Anlage (Flexibilität) können dieses Wissen nutzen um gegebenenfalls die EVQ des Mieterstromobjektes in Echtzeit zu beeinflussen. Hierzu bedarf es einer Absprache zwischen den Agenten.

Ein Zusammenschluss mehrerer Agenten erleichtert die Durchsetzung einer gemeinsamen Preisbestimmungsstrategie. Zudem reduziert sich der Kommunikationsaufwand von einer Absprache zwischen zahlreichen Agenten zu einer Absprache zwischen zwei Teams.

Die Identifizierung von zwei Preisbestimmungsstrategien führt zur Definition von zwei Teams:

- Team Erzeugung mit dem Ziel möglichst viel Strom innerhalb des Mieterstromobjekts zum Preis $0,9 \times P_{\max}$ zu verkaufen
- Team Verbrauch mit dem Ziel möglichst viel des Strombedarfs anhand von billigerem Mieterstrom zum Preis P_{\min} zu decken.

Jedem Mieterstromagent stehen dementsprechend zwei Teammitgliedschaften sowie eine Enthaltungsmöglichkeit offen. Jeder Agent sollte gemäß eigenen Interessen identifizieren welches Bündnis bzw. Team seine eigene Preisbestimmungsstrategie vertritt.

Um SPOFs zu verhindern, sollten diese dezentralen Agenten in einem dezentralen Kommunikationsnetz in Echtzeit über den Zustand des Netzes informiert werden. Aus diesem Grund schließen wir das Client-Server Prinzip aus und bevorzugen vollständig dezentrale Peer-to-Peer Lösungen. Eine dieser Lösungen ist die Peer-to-Peer Technologie BitTorrent. BitTorrent ist ein kollaboratives Filesharing-Protokoll, welches sich für eine schnelle und dezentrale Verteilung von Daten eignet. Bei der Entwicklung unseres Systems haben wir uns für die Implementierung der Torrent Technologie entschieden. Hierdurch erhöht sich der Dezentralisierungsgrad der Netzautomatisierung. Zudem erlaubt diese Technologie eine Dezentralisierung welche die Dezentralisierung der Erzeuger und Lasten im Zuge der Energiewende abbilden kann (Ziel Nr 3).

3 Dezentrales Abrechnungssystem

In Sektion 2 haben wir einen Ansatz beschrieben, um ein Agentensystem ähnlich dezentral wie die Anlagenlandschaft zu implementieren. Die Agenten vertrauen in diesem Konzept nicht einem übergeordneten Hauptagenten oder Auktionator sondern einem offengelegten zentralen Preisfindungsmechanismus. In Hinblick auf Ziel Nr. 3 und Nr. 4 sollte auch hier das Vertrauen auf einer dezentralen Verwaltung beruhen. Ein Ansatz hierfür stellt die Blockchaintechnologie.

Die Blockchain ist eine sogenannte Distributed-Ledger-Technologie, die eine Konsensbildung von Transaktionen zwischen vernetzten Computern findet und die Transaktionen chronologisch und manipulationssicher archiviert. Im Projekt des Brooklyn Microgrids (BMG) wurde die technische Machbarkeit von permissionless blockchains in Microgrids nachgewiesen [8]. Doch in einer multimodalen, vielschichtigen und flexiblen Erzeuger- und Verbraucherlandschaft besteht die Notwendigkeit der Einhaltung von Rahmenbedingungen. Um die entsprechenden Rahmenbedingungen zu erfüllen, müssen Netzteilnehmer bekannt (und nicht anonym) sein. Denn so gut eine Blockchain die Integrität der einmal gespeicherten Daten garantieren kann, kann sie nicht alleine garantieren, dass

die eingegebenen Daten wirklich den realen physikalischen Daten entsprechen. Ein vertrauenswürdiger Vermittler ist notwendig, um die Authentizität der eingepflegten Daten zu bestätigen, bzw. die Installation von Anlagen und Smart Metern zu prüfen.

Des Weiteren greifen in vielen Jurisdiktionen institutionelle Regelungen (Steuerrecht, Know-your-customer-Gesetze). Der P2P-Handel zwischen Endkunden ist daher in den meisten Ländern (noch) nicht legalisiert und im BMG nur durch die Einbeziehung von LO3 als lizenziertes Versorgungsunternehmen möglich [9]. Diese Einbindung einer privatrechtlichen (zentralen) Organisation vereinfacht zwar den Betrieb eines Microgrids aber stellt auch das Konzept der Dezentralität per Blockchain in Frage, denn klassische Buchhaltung gibt es auch.

Das von uns entwickelte Abrechnungssystem für dezentral agierende Energieagenten verwendet eine private permissioned Blockchain [10]. Aufgrund der breiten Akzeptanz und großen Community [11] haben wir uns für das Ethereum Protokoll entschieden. Abweichend zur Standard Proof of Work Implementierung verwenden wir den Proof of Authority Konsensmechanismus [12]. Prämisse hierfür ist das den Smart Metern beziehungsweise ihrer korrekten Installation vertraut werden kann. Gemäß heutiger Sachlage, bei der Mieter dem Mieterstrombetreiber vertrauen, wurde der Mieterstrombetreiber als validierende Einheit zur Erstellung der fortlaufenden Blöcke definiert. Die Blöcke beinhalten die zeitlich aufgelösten Smart-Meter-Werte, anhand welcher die tatsächliche EVQ und schließlich der Mieterstrompreis festgestellt werden. Ein Smart Contract weist für jeden Zeitschritt anhand der Messwerte und des definierten Aufteilungsschlüssels anteilmäßig die Energiemengen an die Erzeuger beziehungsweise Verbraucher zu. Die Endabrechnungen lösen jeweils zeitlich auf, wann und wie viel Mieterstrom beziehungsweise Netzstrom verbraucht wurde.

4 Zusammenfassung

Dieser Beitrag zeigt, dass sowohl Verteilnetzbetreiber, Mieterstrombetreiber als auch Mieter von unserem Energiemanagementsystem profitieren können. Das vorgestellte Konzept erreicht das Zusammenspiel von Agententechnologie, Peer to Peer Lösungen und Blockchaintechnologie, und ermöglicht die Erfüllung aller in Sektion 1.1 gesetzten Ziele. Ein Agenten- und Blockchainbasiertes Energiemanagementsystem wurde spezifisch für Mieterstromobjekte entworfen. Dieses dezentrale Lösungskonzept ist in der Theorie genauso gut skalierbar wie die zugehörige Anlagenlandschaft. Größere beziehungsweise übergeordnete Netze, welche ebenfalls die Abbildung und Einbeziehung einzelner Akteure erfordern, können analog dezentral beeinflusst werden.

Als nächstes wollen wir das Konzept anhand von Simulationen validieren und mit Labortests die Performance evaluieren.

5 Danksagung

Die vorgestellte Forschung wurde teilweise vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Kopernikus-Projekt Energiewende-Navigationssystem (ENavi) unter der Vertragsnummer 03SFK4F1 und vom BMBF und vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Leuchtturmprojekt EnStadt:Pfaff gefördert.

6 Literatur

- [1] BMWi: Erneuerbare Energien, www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/erneuerbare-energien.html, Aufgerufen am 22.10.2018
- [2] Rohbogner, G., Maas, M., Benoit, P., Wille-Haussmann, B., Nebel, B. Vickrey-Clarke-Grove based Multi Agent Energy Management System, IDEAS Workshop Proceedings of the 14th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2015), 2015
- [3] Ludwig, M., Dahlmann, B., Zdrallek, M., Heldmaier, W.: Netzzustandsbestimmung und Regelung in Niederspannungsnetzen auf Basis von Multiagentensystemen Tagungsband zur 4. OTTI-Konferenz „Zukünftige Stromnetze für Erneuerbare Energien“, Berlin (2017)
- [4] VDI-Standard: VDI/VDE 2653 2012-03
- [5] Mieterstrom kurz erklärt, EnergieAgentur.NRW, 04.2018
- [6] Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz - EnWG), § 42a Abs. 4 S. 1
- [7] Kok, K. (2013). The PowerMatcher: Smart Coordination for the Smart Electricity Grid.
- [8] Mengelkamp, E., J. Gärtner, K. Rock, S. Kessler, L. Orsini, and C. Weinhardt, “Designing microgrid energy markets”, Applied Energy, 2017.
- [9] Strüker, J., Albrecht, S., & Reichert, S. (2019). Blockchain in the Energy Sector. In Business Transformation through Blockchain (pp. 23-51). Palgrave Macmillan.
- [10] Utz, M., Albrecht, S., Zoerner, T., & Strüker, J. (2018, July). Blockchain-Based Management of Shared Energy Assets Using a Smart Contract Ecosystem. In International Conference on Business Information Systems (pp. 217-222). Springer.
- [11] Albrecht, S., Reichert, S., Schmid, J., Strüker, J., Neumann, D., & Fridgen, G. (2018, January). Dynamics of Blockchain Implementation-A Case Study from the Energy Sector. In Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences.]
- [12] Bentke, J. “Proof of Authority”, <https://energyweb.atlassian.net/wiki/spaces/EWF/pages/11993089/Proof+of+Authority>, Aufgerufen am 22.10.2018