

Wirtschaftliche Attraktivität von Strom-Communities und Strom-Clouds – eine Momentaufnahme

Tom Bachofer, Manuela McCulloch und Dietmar Graeber

Stromtarife, die unter Bezeichnungen wie Strom-Community oder Strom-Cloud vertrieben werden, versprechen für Endkunden in Verbindung mit PV-Anlagen und stationären Batteriespeichern häufig neben einer Autarkie auch signifikante Einsparungen und eine langfristige Absicherung der Stromkosten. Endkunden mangelt es jedoch stark an Transparenz beim Vergleich entsprechender Tarifkonzepte. Welche Einsparpotentiale sich tatsächlich hinter den verbreiteten Community- bzw. Cloud-Tarifen verbergen, soll dieser Artikel anhand eines Beispiels darlegen, sowie die Stärken und Schwächen dreier am Markt weit verbreiteter Tarife offenlegen.

Steigende Energiepreise, Unsicherheiten bei der Energieversorgung, der Ausbau der erneuerbaren Energien; all das sind Faktoren, die im Jahr 2022 massiv in den Vordergrund öffentlicher Diskussionen gerückt sind. Firmen sowie private Haushalte streben aufgrund der Sorge vor stark ansteigenden Energiepreisen immer mehr nach Autarkie. Die Photovoltaik bietet schon heute einer breiten Masse an Haushalten die Möglichkeit, elektrische Energie auf dem eigenen Grundstück zu erzeugen und zu verbrauchen [1]. Da sich der Stromverbrauch von privaten Haushalten nur teilweise mit der Erzeugung einer PV-Anlage deckt, liegt der Autarkiegrad nur selten über 40 %.

Eine Maßnahme, um den Autarkiegrad zu erhöhen und sich vom Strombezug aus den Netzen unabhängiger zu machen, ist neben der Installation einer PV-Anlage auch, in einen Batteriespeicher zu investieren. Genau hier haben sich über die letzten Jahre mehrere Unternehmen am Markt angesiedelt und bieten für die darüber hinaus weiterhin notwendige Reststromlieferung verschiedene Tarifkonzepte in Verbindung mit einem Batteriespeicher an. Endkunden sehen sich somit häufig mit der Frage konfrontiert, wie lohnend welcher dieser Community- oder Cloud-Tarife für sie tatsächlich sein könnte. Aufgrund der hohen Komplexität ist ein Vergleich der unterschiedlichen Tarife für Verbraucher jedoch nicht ohne weiteres möglich.

Grundsätzliche Funktionsweise von Strom-Communities und Strom-Clouds

Strom-Communities und Strom-Clouds versprechen im Allgemeinen, den Reststrombedarf, der trotz Installation von PV-Anlagen

und Batteriespeichern weiterhin besteht, kosteneffizient und ökologisch unter Schaffung eines Mehrwerts für alle Beteiligten zu decken.

Dazu werden nach der Grundidee der Strom-Community eine große Zahl von Teilnehmern miteinander zu einem virtuellen Kraftwerk verknüpft. Innerhalb dieses Kraftwerks ist jeder Haushalt nicht auf die Nutzung seiner eigenen Erzeugungsanlage und sein eigenes Speichervolumen beschränkt, sondern kann nach bestimmten Regeln auf erzeugte und gespeicherte elektrische Energie der Community zurückgreifen [2]. Dies geschieht nicht physikalisch über eine direkte Stromleitung zwischen den Cloudteilnehmern, sondern bilanziell. Der Strom, der von einem Kunden aus dem Netz bezogen wird, kann so von einem anderen Cloudteilnehmer an einem anderen Standort eingespeist werden [3]. Aufgrund unterschiedlicher Verbrauchs- und Einspeisestrukturen der einzelnen Teilnehmer, ist der Autarkiegrad der Strom-Community in Summe höher als der mittlere Autarkiegrad aller Teilnehmer. Der Effekt ist allerdings begrenzt, da die Variation der PV-Einspeisung und der Haushaltsverbräuche in Deutschland recht gering ausfällt [4]. Der Reststrombedarf und auftretende Stromüberschüsse einer Community werden vom Community-Anbieter am Großhandelsmarkt bewirtschaftet.

Der Ansatz der Strom-Cloud ist an eine Daten-Cloud angelehnt. Ein solches Konzept verzichtet auf die Verknüpfung vieler Teilnehmer zu einem virtuellen Kraftwerk, sondern der Cloud-Anbieter ermöglicht es einem Kunden, eine vertraglich geregelte Menge an Strom in einen Cloud-Speicher einzuspeichern und zu

einem späteren Zeitpunkt wieder zu entnehmen [5]. In der Regel erfolgt durch den Cloud-Anbieter keine physikalische Speicherung des Stroms, sondern in Situationen, in denen die Kunden in Summe Strom in die Cloud einspeichern, erfolgen durch den Cloud-Anbieter Verkaufsgeschäfte und in Situationen, in denen in Summe Strom aus der Cloud entnommen wird, Kaufgeschäfte.

Trotz des grundsätzlich verschiedenen Ansatzes fallen die erforderlichen Geschäftsprozesse für die Anbieter von Community- bzw. Cloud-Modellen sehr ähnlich aus. Für eine konsequente bilanzielle Umsetzung der Modelle wäre eine Direktvermarktung des PV-Überschussstroms notwendig. Auch müsste, um den Autarkiegrad zu erhöhen, für die Reststromlieferung eine registrierende Lastgangmessung umgesetzt werden. Direktvermarktung und registrierende Lastgangmessung führen allerdings nicht nur wegen des zwingenden Einsatzes eines intelligenten Messsystems zu hohen Kosten. Da diese hohen Kosten in der Regel mögliche zu erwirtschaftende Erträge signifikant übersteigen, werden die Community- und Cloud-Ansätze im Regelfall nicht bilanziell implementiert. So erfolgt die Reststromlieferung in der Regel über ein Standardlastprofil und die PV-Anlage verbleibt meist auch in der EEG-Vergütung. Bei den meisten Community- und Cloudtarifen handelt es sich daher bilanziell um einfache, reguläre Stromlieferverträge. Die Umsetzung des Community- und Cloudansatzes erfolgt dann nur finanziell: gegen eine Grundgebühr und Abtretung der EEG-Vergütungsansprüche aus seiner Anlage erhält der Kunde z.B. während der Vertragslaufzeit bestimmte Freistromkontingente vom Anbieter.

Sowohl der Ansatz der Strom-Community als auch der Strom-Cloud lassen sich mit dem Konzept einer Flexibilitätsvermarktung kombinieren. Bei diesem Ansatz stellt ein Kunde seinem Anbieter seine Batterieflexibilität teilweise zur Verfügung. Dies ermöglicht es dem Anbieter, Batterieflexibilität grundsätzlich auf verschiedenen Segmenten der Großhandelsmärkte anzubieten. Dazu wird die verteilte Batterieflexibilität durch eine Aggregation der einzelnen Batterien zentral durch den Anbieter steuerbar gemacht. Erlöse aus der Flexibilitätsvermarktung, die bisher in der Praxis im Wesentlichen auf das Segment der FCR (Primärregelleistung) beschränkt sind, können nach vertraglich vereinbartem Verhältnis zwischen Kunden und Tarifanbietern aufgeteilt werden.

Betrachtete Tarifmodelle

Drei bekannte Anbieter von Community- und Cloud-Tarifen (in Klammern die entsprechenden Mutterkonzerne) sind Sonnen GmbH (Shell plc), Senec GmbH (EnBW AG) und Lichtblick SE (Eneco Groep N.V.).

Sonnen vermarktet seine Tarife „sonnenFlat“ und „sonnenFlat direkt“ unter der Grundidee eines Communitymodells. Voraussetzung für die Möglichkeit des Abschlusses eines entsprechenden Tarifs ist die Installation eines Batteriespeichers von Sonnen. Im Tarif „sonnenFlat“ erfolgt die Umsetzung des Community-Gedankens im Wesentlichen finanziell. Der Kunde tritt seine Ansprüche aus der EEG-Vergütung ab und erhält dafür von der Sonnen GmbH einen regulären Stromliefervertrag mit individuell berechneter jährlicher Freistrommenge. Ein ggf. auftretender Mehrverbrauch wird zu einem vertraglich vereinbarten Preis abgerechnet, nicht genutzte Freibetragsmengen werden ebenso vergütet [4]. Vertraglich ist im Tarif „sonnenFlat“ auch eine Nutzung der Batterieflexibilität des Kunden für eine Vermarktung als FCR (Primärregelleistung) vorgesehen [3]. Hierfür erhält der Kunde eine jährliche pauschale Vergütung und zusätzlich ggf. eine Gewinnbeteiligung. Auch für die Bilanzierung der Kunden, deren Anlagen am Regelleistungsmarkt teilnehmen, wird in der Regel aufgrund der hohen Kosten keine registrierende Lastgangmessung umgesetzt. Allerdings werden von Sonnen in der Regel individuelle Vereinbarungen mit dem Anschlussnetzbetreiber getroffen, welche ge-

genüber einer Bilanzierung auf Grundlage von Standardlastprofilen zu höherer Genauigkeit führen.

Senec orientiert sich beim „SENEC.cloud Tarif 3.0“ am oben beschriebenen Cloud-Ansatz. Voraussetzung für die Möglichkeit des Abschlusses eines entsprechenden Tarifs ist wie bei Sonnen die Installation eines Batteriespeichers des Unternehmens. Im Tarif „SENEC.cloud 3.0“ erfolgt die Umsetzung des Cloud-Ansatzes rein finanziell: Der Kunde wählt ein bestimmtes Cloud-Speichervolumen und zahlt dafür eine bestimmte Jahresgebühr. Der Kunde erhält dafür in einem Jahr kostenlosen Strom bis maximal zur gebuchten Höhe des Cloud-Speichervolumens. Als weiteren Kostenbestandteil tritt der Kunde die EEG-Vergütung mengenmäßig für die tatsächlich kostenlos erhaltene Strommenge ab. Ein ggf. auftretender Mehrverbrauch über die Freistrommenge hinaus wird zu einem vertraglich vereinbarten Preis abgerechnet. Über kostenpflichtige Zusatzoptionen kann die Freistrommenge z.B. auch an EnBW-Ladesäulen getankt werden oder an Freunde weitergegeben werden. Eine Möglichkeit, zusätzliche Erträge über eine Flexibilitätsvermarktung zu erzielen, gibt es bei Senec nicht [5].

Lichtblick verfolgt mit seinem neuesten Konzept der StromWallet ebenfalls den Cloud-Ansatz. Wer Strom in die Cloud einspeist, kann eine äquivalente Strommenge zu einem beliebigen Zeitpunkt kostenlos aus dem Netz beziehen. Der PV-Überschuss sowie die EEG-Vergütung werden an Lichtblick abgetreten. Neben den anfallenden Tarifgebühren für die StromWallet muss zudem für den Strombedarf, der die PV-Erzeugung überschreitet, ein klassischer Strombezugsvertrag mit Lichtblick abgeschlossen werden. Für diesen Strombezugsvertrag fallen mindestens die monatlichen Grundgebühren an [6].

Fallbeispiel 4-Personen-Haushalt

In die wirtschaftliche Bewertung der Tarife fließen diverse Faktoren ein. Um eine Vergleichbarkeit der drei untersuchten Tarife zu schaffen, wurde ein typisches Fallbeispiel entworfen. Hierbei wird ein 4-Personen-Haushalt mit einem Jahresverbrauch von ca. 4.085 kWh pro Jahr zu Grunde gelegt [7]. Zudem wird angenommen, dass der 4-Personen-

Haushalt bereits eine Entscheidung zur Installation einer PV-Anlage mit 9,9 kWp getroffen hat (z.B. wegen einer PV-Pflicht im Neubau) [8]. Die Investitionskosten der PV-Anlage selbst sind nicht Teil des Tarifvergleichs. Als anfängliche mittlere jährliche Stromerzeugung der PV-Anlage werden 9.320 kWh angenommen. Der EEG-Vergütungssatz für den nicht selbst verbrauchten und ins Netz eingespeisten Strom beträgt 8,2 Ct/kWh netto (EEG 2023). Für die genannten Eckdaten wurde ein mittlerer jährlicher Eigenverbrauch von 1.623 kWh simuliert (unter Verwendung der Software PV*SOL) [9]. Ins Netz eingespeist werden somit 7.697 kWh, wodurch eine Einspeisevergütung von 631 €/a erzielt wird. Für den Reststrombezug in Höhe von 2.462 kWh wird der vom BDEW berechnete mittlere Strombezugspreis für Haushaltskunden in Höhe von 37,14 Ct/kWh [10] herangezogen, wodurch sich Strombezugskosten in Höhe von 914 €/a ergeben. Im Fallbeispiel liegen die Stromkosten abzüglich der erzielten EEG-Vergütung für den 4-Personen-Haushalt somit bei 283 € pro Jahr.

Eine bei den Annahmen des Fallbeispiels in der Praxis typische Batteriespeichergröße ist 7,5 kWh. Bei einem Einsatz eines solchen Speichers wurde ein zusätzlicher Eigenverbrauch von 1.745 kWh simuliert. Der kumulierte Eigenverbrauch beträgt somit 3.201 kWh. Unter Berücksichtigung von 167 bereits im Eigenverbrauch enthaltenen kWh reduziert sich der Reststrombedarf auf 884 kWh. Dies bedeutet einen Autarkiegrad von rund 75 %. Batterieverluste von 167 kWh wurden bereits einkalkuliert. Abzüglich des kumulierten Eigenverbrauchs werden unter diesen Rahmenbedingungen noch 884 kWh Strom aus dem Stromnetz bezogen. Die Einspeisung sinkt auf 6.119 kWh.

Die garantierte Lebensdauer der derzeit angebotenen Speicher liegt aktuell meist bei zehn Betriebsjahren [11]. Der Vergleich der Tarife wird daher über einen entsprechenden Zeitraum durchgeführt und dafür aus Gründen der Einfachheit ein konstantes Speichervolumen unterstellt. Lediglich für die PV-Anlage wird eine jährliche Degradation in Höhe von 0,25 % berücksichtigt. Der vom BDEW ermittelte durchschnittliche jährliche Strompreisanstieg der letzten zehn Jahre in Höhe von 3,8 % wird im Betrachtungszeitraum fortgeschrieben [10]. Alle Zahlungs-

ströme im Untersuchungszeitraum werden real betrachtet – unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Inflationsrate der letzten zehn Jahre in Höhe von 1,37 %. Kapitalkosten werden vernachlässigt. Investitionskosten und EEG-Vergütung werden netto einbezogen, Strombezugskosten und Gebühren brutto. Für die Speicherinstallation werden keine zur Installation der PV-Anlage zusätzlichen Kosten angenommen.

Ergebnis des Modellvergleiches

Als Referenz für den Modellvergleich wird die Nutzung der PV-Anlage ohne Batteriespeicher herangezogen. Mit der ermittelten Einspeisung von 7.697 kWh/a sowie einem Strombezug von 2.462 kWh/a ergeben sich in zehn Betriebsjahren reale (inflationsbereinigte) Gesamtkosten (Strombezugskosten abzüglich EEG-Vergütung) von 4.332 €. Das entspricht durchschnittlich 10,60 Ct pro aus dem Netz bezogener kWh.

Im nächsten Modell entscheidet sich der 4-Personen-Haushalt für die Installation eines günstigen Batteriespeichers chinesischer Herkunft für ca. 5.300 € netto [12]. Eigenverbrauch, Einspeisung und Netzbezug ändern sich dadurch wie oben angegeben. Die Erlöse aus der EEG-Vergütung übersteigen nun die Kosten für den Strombezug mittels eines klassischen Stromlieferungsvertrags in zehn Jahren um 984 €. Unter Berücksichtigung der Investitionskosten ergeben sich somit in zehn Jahren kumulierte reale (inflationsbereinigte) Kosten in Höhe von 4.316 €. Das entspricht durchschnittlich 10,56 Ct pro aus dem Netz bezogener kWh. Die Installation des Batteriespeichers führt daher zu keiner signifikanten Kostenreduktion gegenüber dem Referenzszenario.

Batteriespeicher von Sonnen werden nicht direkt an Endkunden vertrieben. Für eine Schätzung der Investitionskosten für eine SonnenBatterie mit 7,5 kWh Speichervolumen haben wir daher aktuelle Kundenangebote ausgewertet und mittlere Kosten in Höhe von ca. 8.300 € netto abgeleitet. Dies ist zunächst deutlich teurer als der oben betrachtete Batteriespeicher chinesischer Herkunft, allerdings eröffnet sich dadurch die Möglichkeit für den Abschluss des Community-Tarifs sonnenFlat. Für die im Fallbeispiel genannten Rahmenbedingungen erhält man im Tarif für die Abtretung der EEG-Vergütung einen Strombe-

Zusammenfassung erstes Betriebsjahr		PV-Betrieb ohne Batteriespeicher	Batteriespeicher mit Standardliefervertrag	Sonnen-FLAT	SENEC Cloud 3.0	Lichtblick StromWallet
Laufende Kosten	Grundgebühr	-	-	-	- 407,40 €	- 213,24 €
	Strombezugskosten	- 914,39 €	- 328,32 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Erlös	Vergütung	631,15 €	501,76 €	73,03 €	429,27 €	0,00 €
Ergebnis erstes Betriebsjahr		- 283,00 €	173,00 €	73,00 €	22,00 €	- 213,00 €
Investition	Batteriespeicherkosten 7,5 kWh	-	5.300,00 €	8.300,00 €	7.600,00 €	6.300,00 €
Tab. Zusammenfassung aller Kosten und Erlöse des ersten Betriebsjahres der verschiedenen Konzepte (negative Werte repräsentieren Kosten)						

zugsfreibetrag mit 1.000 kWh/a. Wird die Freistrommenge nicht voll ausgenutzt, erfolgt eine Vergütung dieser ungenutzten Freistrommenge mit einem Satz von netto 24,50 Ct/kWh. Mehrverbräuche werden mit Brutto 29,15 Ct/kWh abgerechnet. Grund- oder Tarifegebühren werden mit der abgetretenen EEG-Vergütung sowie einer Gutschrift für die Bereitstellung des Batteriespeichers pauschal verrechnet, sodass bei einer Netto-Betrachtung grundsätzlich keine Kosten anfallen. Aufgrund der komplexen umsatzsteuerlichen Behandlung entstehen aber für das dargestellte Fallbeispiel nach unserem Verständnis gut 50 € an jährlichen Kosten. Diese werden wiederum mit einer Gewinnbeteiligung am Regelleistungsmarkt verrechnet, die bis zu 100 € netto beträgt. Unter Berücksichtigung der nicht ausgenutzten Freistrommenge er-

geben sich daraus im Betrachtungszeitraum 733 € an Erlösen. Kumuliert mit den Investitionskosten liegen die Kosten für das Fallbeispiel bei real (inflationsbereinigt) 7.567 € über zehn Jahre bzw. durchschnittlich 18,52 Ct/kWh. Die Kosten liegen somit 3.251 € über dem des Modells mit Verwendung eines günstigen Batteriespeichers. Diese Mehrkosten entstehen allerdings insbesondere aufgrund der höheren Investitionskosten. Im besten Fall einer Ausschüttung von 100 € Gewinnbeteiligung in jedem Jahr ist der Tarif „sonnenFlat“ nur unwesentlich teurer als ein klassischer Stromliefervertrag.

Batteriespeicher von Senec werden ebenfalls nicht direkt an Endkunden vertrieben, daher haben wir auch hier die Investitionskosten für ein 7,5 kWh Speichersystem aus aktuellen

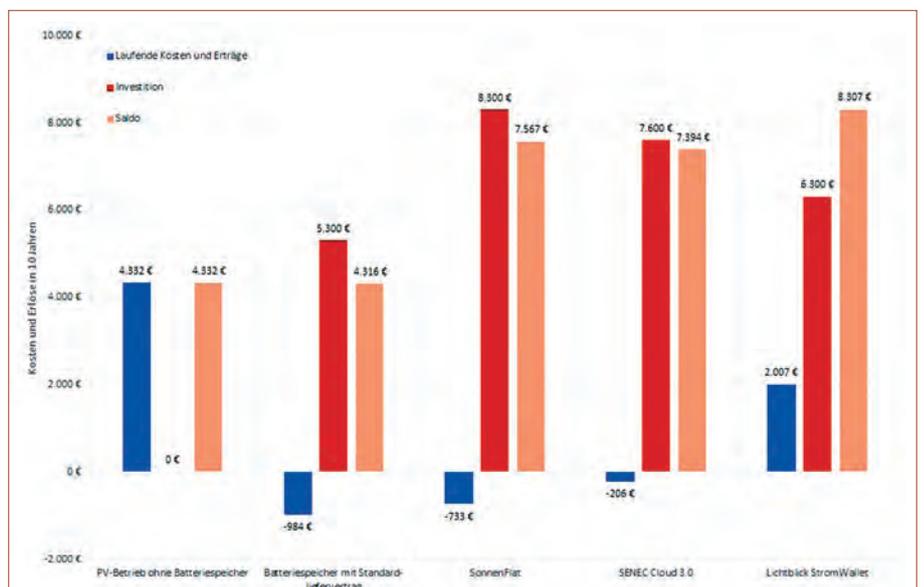


Abb. Vergleich der gesamten Strombezugskosten einzelner Konzepte kumuliert auf zehn Jahre inklusive anfänglicher Investitionskosten (negative Werte repräsentieren Erlöse)

Abschließend ist noch folgender Aspekt zu verdeutlichen: Bei der Frage der Wirtschaftlichkeit der Tarifmodelle fließen viele unterschiedliche Parameter ein. Bei einer Variation dieser Parameter können sich die relativen Ergebnisse für die drei untersuchten Tarife verändern. So führt beispielsweise ein höherer angenommener Stromverbrauch zu einem deutlich besseren Abschneiden des Tarifs von Lichtblick. In keinem von uns betrachteten Fall führen die betrachteten Tarifmodelle jedoch zu signifikant geringeren Kosten als beim Abschluss eines Standardlieferungsvertrags.

Fazit

Frühere Studien haben ergeben, dass Batteriespeicher aufgrund ihrer hohen Investitionskosten ökologisch und ökonomisch unattraktiv für den Endkunden sind [14]. Aufgrund der gesunkenen Marktpreise führt die Anschaffung eines Batteriespeichers ohne Betrachtung von Kapitalkosten mittlerweile im günstigsten Fall zumindest nicht mehr zu höheren Kosten. Und bei einer Lebensdauer von mehr als zehn Jahren kann ein Speicher so durchaus sogar Kosten einsparen.

Die drei betrachteten Community- und Cloud-Tarif-Modelle führen jedoch aus Sicht des Endkunden zu keinen finanziellen Vorteilen, aber auch zu keinen signifikanten finanziellen Nachteilen. Sie sind allerdings komplex und intransparent und für den jeweiligen individuellen Anwendungsfall nicht ohne Weiteres mit anderen Tarifen vergleichbar. Voraussetzung für eine Teilnahme ist immer die Investition in den jeweiligen Speicher des Anbieters. Gleichzeitig ist dieser Speicher der wesentliche Einflussfaktor und Kostentreiber im Rahmen dieser Studie bei der Betrachtung der Tarif-Modelle. Ökonomisch betrachtet liegen im untersuchten Fallbeispiel die drei Anbieter im Vergleich über zehn Jahre zwischen 70 und 90 % über den entstehenden Stromkosten im Referenzszenario. Im Vergleich innerhalb der Cloud-Modelle liegen Sonnen und Senec auf etwa gleichem Niveau.

Zwar garantieren sämtliche Strom-Cloud-Anbieter eine Autarkie von bis zu 100 %. Jedoch handelt es sich nicht um tatsächlich autarke Systeme, sondern vielmehr um eine rechnerische Betrachtungsweise. Die erhofften signifikanten Einsparungen im Vergleich zu einem Standardlieferungsvertrag können nicht erzielt

werden. Auch kann der Kunde nicht von einer dauerhaften Absicherung der Stromkosten ausgehen, da auch Cloud-Anbieter regelmäßig ihre Tarife anpassen oder kündigen können. Bei Strom-Clouds handelt es sich also um nichts anderes als geschickt verpackte reguläre Stromlieferverträge mit erhoffter möglichst langjähriger Kundenbindung.

Ausblick

Strom-Clouds und Community-Modelle sind grundsätzlich interessante Ansätze. Dass die erhofften Vorteile beim Abschluss eines entsprechenden Vertrages sich bisher nicht erfüllen, ist jedoch nicht ausschließlich den entsprechenden Tarifanbietern anzulasten. Um echte Mehrwerte mit entsprechenden Tarifen schaffen zu können fehlen noch wichtige Voraussetzungen. So sollte der Smart-Meter-Rollout endlich zügig umgesetzt werden und im Verteilnetz die Abrechnung für eine registrierende Lastgangmessung bei Endkunden wesentlich günstiger angeboten werden. Strom-Clouds könnten bei entsprechend geänderten Rahmenbedingungen in Zukunft interessanter für den Endkunden werden.

Ein Beispiel dafür, dass veränderte Rahmenbedingungen zu interessanten Veränderungen führen können, ist das neu aufgesetzte Tarif-Angebot von Sonnen, das seit 2021 unter dem Namen „sonnenFlat direkt“ vermarktet wird und bei dem der Kunde von der EEG-Vergütung in die Direktvermarktung im Marktprämienmodell wechselt. Zielgruppe des Tarifs „sonnenFlat direkt“ waren im Jahr 2021 zunächst Post-EEG-Anlagen, welche mit einem Sonnen Speicher nachgerüstet wurden. Aufgrund der aktuell hohen Strommarktpreise bietet Sonnen den Tarif seit Q3 2022 auch Neukunden mit Sonnen Speicher an und verspricht für das Jahr 2022 mit einer Vergütung von 10 Ct/kWh für PV-Überschussstrom deutlich mehr an als die EEG-Vergütung. Um den Tarif anbieten zu können muss Sonnen allerdings den dafür notwendigen Smart-Meter noch selbst installieren und bezahlen.

Literatur

- [1] Warnke, G.: Wege zur Energie-Autarkie: mit Home-Energie-Harvesting zur häuslichen Energie-Selbstversorgung, 2014.

- [2] Loßner, M.; Böttger, D.; & Bruckner, T.: Wirtschaftliches Potential virtueller Kraftwerke im zukünftigen Energiemarkt – Eine szenariobasierte und modellgestützte Analyse, Z Energiewirtschaft 39, 115-132, 2015.
- [3] Next Kraftwerke DE: Amprion nimmt virtuelles Kraftwerk aus vernetzten Sonnen-Batterien in Betrieb. <https://www.next-kraftwerke.de/neues/sonnen-next-kraftwerke-fcr-amprion/>, 2021.
- [4] sonnen.de: Virtuelle Kraftwerke – ein unerlässlicher Baustein der Energiewende. <https://sonnen.de/wissen/virtuelle-kraftwerke-und-energiewende/>, 2022.
- [5] senec.com: <https://senec.com/de/produkte/senec-cloud/>, 2022.
- [6] lichtblick.de: <https://www.lichtblick.de/zuhause/solar/>, 2022.
- [7] bdew.de: [https://www.bdew.de/presse/pressemappen/faq-energieeffizienz/#:-:text=Ein%20Zwei%2DPersonen%2DHaushalt%20nutzt,4.085%20kWh%20Strom%20im%20Jahr/](https://www.bdew.de/presse/pressemappen/faq-energieeffizienz/#:-:text=Ein%20Zwei%2DPersonen%2DHaushalt%20nutzt,4.085%20kWh%20Strom%20im%20Jahr/,), November 2022.
- [8] Verordnung des Umweltministeriums zu den Pflichten zur Installation von Photovoltaikanlagen auf Dach- und Parkplatzflächen (Photovoltaik-Pflicht-Verordnung - PVPfVO) vom 11. Oktober 2021.
- [9] Valentin-Software.com: PV*SOL. <https://valentin-software.com/produkte/pvsol-premium/>, 2022.
- [10] bdew.de: https://www.bdew.de/media/documents/220727_BDEW-Strompreisanalyse_Juli_2022.pdf, November 2022.
- [11] Orth, N.; Weniger, J.; Meissner, L.; Lawaczek, I.; Quaschnig, V.: STROMSPEICHER-INSPEKTION 2022, 2022.
- [12] energiespeicher-online.de: <https://www.energiespeicher-online.shop/energiespeicher/BYD-B-Box-HVS-7-7.html>, 10.11.2022.
- [13] <https://www.lichtblick.de/zuhause/solar/stromwallet/>, 10.11.2022.
- [14] Idlbi, B.; Stakic, D.; Cassel, M.; Graeber, D.; Heilscher, G.; Fiedler, M.: Business Models and Grid Impact of Energy Storages and Controllable Loads for PV-Self Consumption at Prosumer Level, 2019.

*Prof. Dr. D. Graeber, T. Bachofer, M. McCulloch, Institut für Energie- und Antriebstechnik, Technische Hochschule Ulm
manuela.mcculloch@thu.de*