

Messdatenerhebung und -auswertung

Photovoltaik-Batteriespeichieranlagen aus der
Ökofondsförderung 2014/2015 - Endbericht 2019



Das Land
Steiermark

→ Energie, Wohnbau, Technik

MESSDATENERHEBUNG UND -AUSWERTUNG

Photovoltaik-Batteriespeicheranlagen aus der Ökofondsförderung 2014/2015
Endbericht 2019

Für den Inhalt verantwortlich:

Energie Agentur Steiermark gGmbH
Nikolaiplatz 4a/I, 8020 Graz
Telefon: +43 (316) 269 700 0
E-Mail: office@ea-stmk.at

Autor:

Theresa Urbanz, MSc / Energie Agentur Steiermark gGmbH

Herausgeber:

Amt der Steiermärkischen Landesregierung
Abteilung 15 - Energie, Wohnbau, Technik
Landhausgasse 7, 8010 Graz
Telefon: +43 (316) 877 2931
E-Mail: abteilung15@stmk.gv.at
Internet: www.technik.steiermark.at

© Graz, im März 2020



ENERGIE AGENTUR
Steiermark

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | HINTERGRUNDINFORMATIONEN | 3 |
| 2 | DATENAUSWERTUNG | 5 |
| 2.1 | Energiebilanz | 5 |
| 2.2 | Eigenverbrauchsquote und Autarkiegrad | 6 |
| 3 | ZUSAMMENFASSUNG DER HAUPTERGEBNISSE | 8 |
| 4 | ABBILDUNGSVERZEICHNIS | 12 |
| 5 | TABELLENVERZEICHNIS | 12 |
| 6 | LITERATURVERZEICHNIS | 12 |

1 Hintergrundinformationen

Aufbauend auf die Ökofondsförderung 2014/2015 zur Förderung von Konzeption und Umsetzung von speicherunterstützten Fotovoltaikanlagen zur Eigenverbrauchsoptimierung wurden die Messdaten von 67 geförderten Anlagen erhoben und wichtige Kennzahlen ausgewertet. Zielgruppe der Förderung waren Privathaushalte. Es wurden nur Batteriespeicheranlagen, nicht aber die Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) gefördert.

Insgesamt wurden in den Jahren 2016-2019 die Messdaten von 67 geförderten Anlagen erhoben. Mithilfe der Untersuchung der vom Ökofonds geförderten Anlagen sollen aussagekräftige Rückschlüsse auf den Technologietrend der stationären Energiespeicher gezogen werden.

Die Gesamtsystemkosten sowie die Förderbeträge aller ins Monitoring aufgenommenen Anlagen wurden ebenfalls evaluiert. Im Mittel investierten die 67 FörderungsnehmerInnen laut Gesamtrechnungsbetrag (≠ förderfähige Kosten) rund € 13.330 (+/- € 4.280). Diese Investition wurde im Durchschnitt mit ca. € 4.515 (+/- € 1.651) gefördert.

In nachfolgender Abbildung 1 sind die Standorte der 67 Batteriespeicheranlagen in der Steiermark dargestellt. Es ist eine Konzentration der Anlagen auf den Großraum Graz bzw. die Oststeiermark erkennbar.

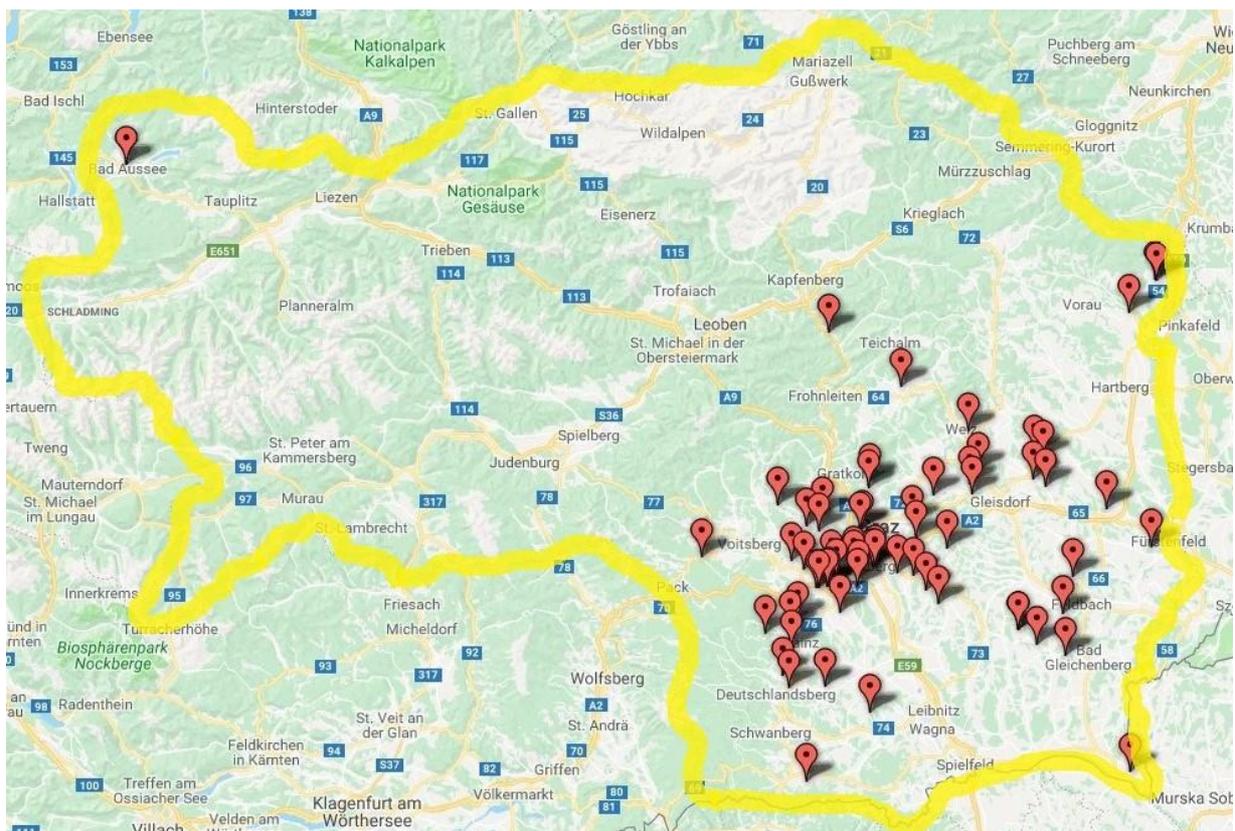


Abbildung 1: geographische Verteilung der 67 geförderten Batteriespeicheranlagen (Kartenbasis Google Maps)

Die installierte gesamte PV-Leistung der 67 Anlagen beträgt ca. 471 kWp. Der Mittelwert je PV-Anlage ist 7 kWp und liegt damit etwas höher als bei typischen Einfamilienhäusern (3-5 kWp je PV-Anlage). Nachfolgende Abbildung 2 zeigt die Verteilung der installierten Leistungen. Rund 70 % der FörderungsnehmerInnen haben PV-Anlagen kleiner oder gleich 7,5 kWp installiert.

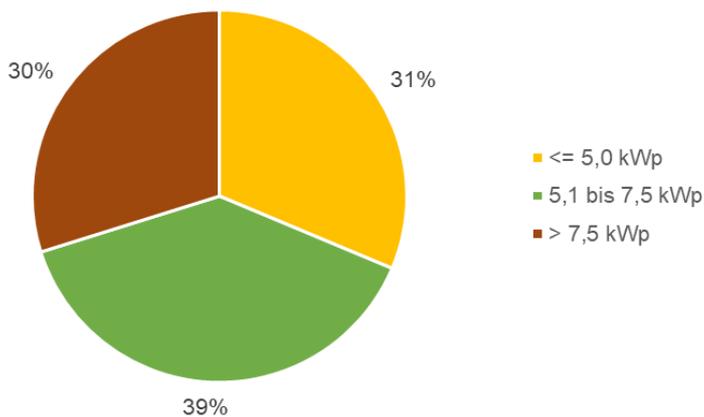


Abbildung 2: Installierte PV-Leistung der 67 Anlagen

Die installierte Nutzkapazität der Batteriespeicheranlagen beträgt rund 374 kWh, mit einem Mittelwert von ca. 5,5 kWh je Anlage. Abbildung 3 gibt einen Überblick über die Verteilung der installierten Speichernutzkapazitäten. Rund 85 % der Batteriespeicheranlagen besitzen eine nutzbare Kapazität von weniger als 7 kWh.

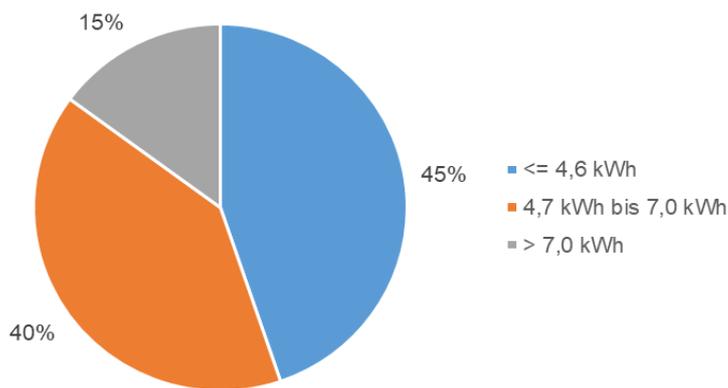


Abbildung 3: Übersicht über die installierten Akku-Nutzkapazitäten der 67 Anlagen

Bei der Auswahl der Speicherhersteller dominierten mit über 70 % der installierten Speicher die europäischen Firmen Sonnen GmbH und Fronius GmbH (Sonnen GmbH 29 Anlagen sowie Fronius GmbH 22 Anlagen,). Sonstige Speicherhersteller waren Victron Energy (5 Anlagen) und Hoppecke, Vaillant, E3DC, ADS und Tesla Powerwall (je 2 Anlagen) sowie Solarwatt und LG Chem.

Anhand der Einreichkonzepte der FörderungswerberInnen von 2014 konnte eine generelle Übersicht über die Verbrauchersituation in den Haushalten erstellt werden. Hierbei muss angemerkt werden, dass bei der Förderungsentscheidung Kriterien wie der innovative Ansatz des Vorhabens, Beitrag zur Reduktion der CO₂-Emissionen oder der Verwendungszweck der elektrischen Energie miteinbezogen wurden. Daraus resultierten vorwiegend Förderungszusagen für Batteriespeicheranlagen in Haushalten mit erhöhtem elektrischen Energieverbrauch, bedingt durch Wärmepumpen, elektrische Warmwasserbereitung oder Sonderverbraucher wie Elektroautos, Wohnraumlüftungsanlagen oder Schwimmbadwärmepumpen.

2 Datenauswertung

Ziel der Datenauswertung ist die Datenvalidierung (Plausibilitätsprüfung), Erfassung der Jahressummen zur PV-Erzeugung, Haushaltsverbrauch, Speicherladung, Speicherentladung, Netzeinspeisung und Netzbezug sowie die darauf aufbauende Kennzahlenauswertung und Interpretation. Hier muss angemerkt werden, dass die Auswertungen mit Unsicherheiten behaftet sind, da die Messdatenerfassung in den privaten PV-Speichersystemen nicht primär auf eine Messdatenauswertung ausgelegt ist, sondern eher Regelungszwecken dient (z.B. Speicherregelung erfolgt meist mit der Prämisse, dass die Netzeinspeisung null sein soll, wenn der Speicher nicht vollgeladen ist, etc.). Die hier angestellten Auswertungen sind nicht mit Labormessungen vergleichbar, da keine Details zu den von den PV-Speichersystemen verwendeten Messanlagen und deren Messunsicherheiten bekannt sind. Allerdings hat sich gezeigt, dass die Ergebnisse relativ gut mit einschlägigen Literaturwerten harmonisieren.

2.1 Energiebilanz

Zur Überprüfung der Plausibilität der gelieferten Messdaten wurde unter anderem die Energiebilanz (Erzeugung, Verbrauch, Energiebezug Netz, Einspeisung Netz, Ladung, Entladung) über alle Messkanäle laut nachfolgender Abbildung 4 gebildet.

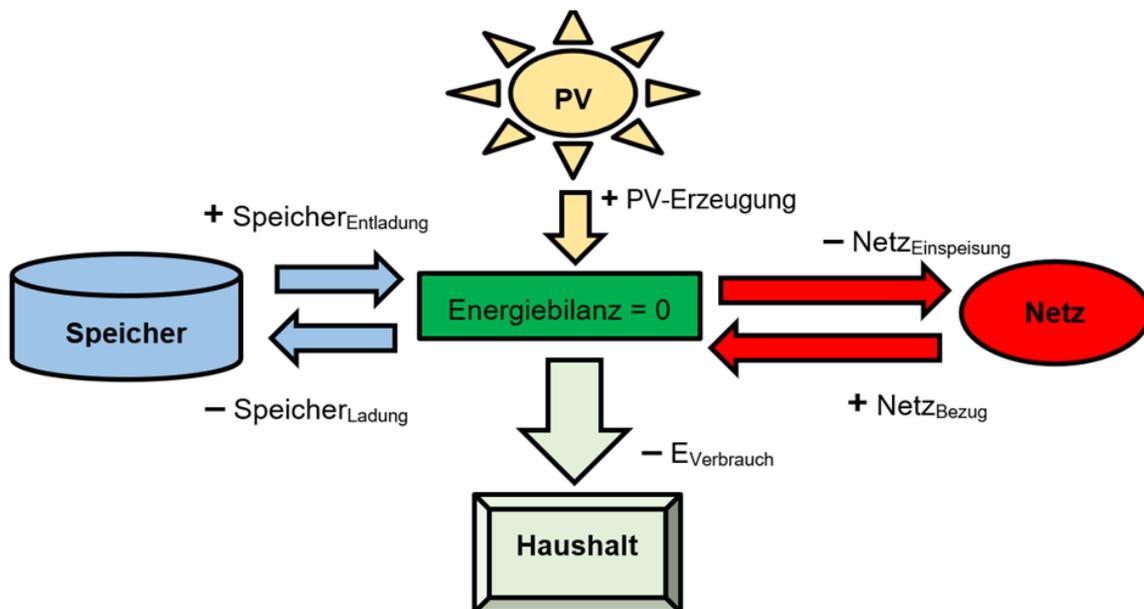


Abbildung 4: Grafische Darstellung der Energieflüsse im System

PV-Erzeugung.....Energienmenge in Wh oder kWh, welche von der PV-Anlage erzeugt wird. Dieser Wert wird über den Wechselrichter messtechnisch erfasst. Anzumerken ist hierbei, dass nicht immer klar ist, ob der Wirkungsgrad des Wechselrichters (>95%) enthalten ist oder nicht (systemabhängig).

SpeicherLadung.....Energienmenge in Wh oder kWh, welche dem Speicher als Ladungsenergie zugeführt wird. Wird systemabhängig bilanziert oder messtechnisch erfasst.

SpeicherEntladung.....Energienmenge in Wh oder kWh, welche vom Speicher entnommen wird. Wird systemabhängig bilanziert oder messtechnisch erfasst.

NetzEinspeisung.....Energienmenge in Wh oder kWh, welche in das öffentliche Netz eingespeist wird. Dieser Wert wird immer messtechnisch erfasst.

NetzBezug.....Energienmenge in Wh oder kWh, welche vom öffentlichen Netz bezogen wird. Dieser Wert wird immer messtechnisch erfasst.

EVerbrauch.....Energienmenge in Wh oder kWh, welche vom Verbraucher (Haushalt) genutzt wird. Wird systemabhängig bilanziert oder messtechnisch erfasst.

Die Energiebilanz soll grundsätzlich nicht größer als Null sein. Ist dies nicht der Fall, kommen je nach Größe der Abweichungen (einige Wattstunden bis mehrere hundert Kilowattstunden) verschiedene Ursachen infrage:

- Falsche Einbindung der Messdatenaufzeichnung in die Gesamtanlage
- Eventuell Messfehler
- Eigenverbrauch der Anlage
- Zusätzlich nicht erfasste Verbraucher oder Erzeuger

2.2 Eigenverbrauchsquote und Autarkiegrad

Hauptaugenmerk der Auswertung lag auf den Kennzahlen Eigenverbrauchsquote und Autarkiegrad.

Die Eigenverbrauchsquote gibt im Wesentlichen darüber Auskunft, wieviel des erzeugten PV-Stroms direkt vom Haushalt verbraucht wird (auch mit Zwischenspeicherung in der Batterieanlage). Der Autarkiegrad gibt hingegen an, wie unabhängig ein Haushalt bilanziell gesehen vom öffentlichen Stromnetz ist.

Der Eigenverbrauchsanteil der ausgewerteten Anlagen wurden gemäß nachfolgender Formel 1 ermittelt [1]:

$$\frac{\text{Erzeugung PV [kWh]} - \text{Netzeinspeisung [kWh]}}{\text{Erzeugung PV [kWh]}} = \text{Eigenverbrauch [\%]} \quad \text{(Formel 1)}$$

Naturgemäß schwankt der Eigenverbrauchsanteil im Jahresverlauf. Vor allem in den Wintermonaten wird tendenziell weniger in das Netz eingespeist, da zum einen höhere Stromverbräuche zu erwarten sind und zum anderen auch von der PV-Anlage weniger produziert wird. Damit fällt es dem Haushalt leichter, den erzeugten Strom selbst zu verbrauchen, sodass sich im Winter eine höhere Direktnutzung als in den Sommermonaten erzielen lässt.

Beim Autarkiegrad ist das Verhalten gegenläufig, da durch die höhere PV-Erzeugung in den Sommermonaten und durch meist geringere Stromverbräuche weniger Strom aus dem Netz bezogen werden muss. Demzufolge haben die Haushalte in den Sommermonaten einen tendenziell höheren Autarkiegrad.

Der Autarkiegrad wurde gemäß Formel 2 berechnet [1]:

$$\frac{\text{Verbrauch [kWh]} - \text{Netzbezug [kWh]}}{\text{Verbrauch [kWh]}} = \text{Autarkiegrad [\%]} \quad \text{(Formel 2)}$$

Zur Bewertung der Speicherauslastung wurden gemäß Formel 3 die erreichten äquivalenten Vollzyklen berechnet. Diese geben rein rechnerisch Aufschluss, wie oft die Batterie im betrachteten Zeitraum vollständig be- und entladen wurde, wobei Teilzyklen ebenso zu äquivalenten Vollzyklen aufsummiert werden [2].

$$\frac{\text{Entladung [kWh]}}{\text{Nutzbare Speicherkapazität [kWh]}} = \text{Äquivalente Vollzyklen [-]} \quad \text{(Formel 3)}$$

3 Zusammenfassung der Hauptergebnisse

Die Auswertung der bisher umgesetzten Anlagen hat gezeigt, dass Speicher einen signifikanten Beitrag zur Reduktion der Einspeisung aus PV-Anlagen leisten können.

Die Hauptergebnisse aus den drei Auswertejahren sind in nachfolgender Tabelle 1 dargestellt.

| Kennzahl | Zwischenbericht 2017 | | Zwischenbericht 2018 | | Endbericht 2019 | |
|---|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-----------------|--------------------|
| | Mittelwert | Standardabweichung | Mittelwert | Standardabweichung | Mittelwert | Standardabweichung |
| Erzeugung PV [kWh] | 7.210 | +/-1.847 | 7.670 | +/-2.678 | 7.771 | +/-3.013 |
| Spezifischer Ertrag PV-Anlage [kWh/kWp] | 1.203 | +/-216 | 1.265 | +/-3356 | 1.245 | +/-314 |
| Verbrauch [kWh] | 9.158 | +/-5.403 | 9.240 | +/-5.029 | 10.094 | +/-5.275 |
| Netzeinspeisung [kWh] | 2.616 | +/-1.494 | 2.951 | +/-1.853 | 2.934 | +/-1.841 |
| Netzbezug [kWh] | 4.924 | +/-4.015 | 4.732 | +/-3.909 | 5.470 | +/-4.043 |
| Äquivalente Vollzyklenanzahl [-] | 289 | +/-103 | 319 | +/-94 | 320 | +/-85 |
| Eigenverbrauchsquote [%] | 65% | +/-16% | 63% | +/-16% | 63% | +/-15% |
| Autarkiegrad [%] | 53% | +/-14% | 55% | +/-17% | 52% | +/-18% |

Hinweis zu den Mittelwerten: um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurden nur jene Anlagen in die Mittelwertbildung miteinbezogen, welche eine Messdatenverfügbarkeit größer 95% sowie Abweichungen von der Energiebilanz kleiner als 15 kWh aufweisen

Tabelle 1: Überblick Ergebnisse der drei Berichtsjahre 2017, 2018 und 2019

Die installierten **PV-Anlagen** erzeugen im Mittel rund **7.200-7.800 kWh**, was einem durchschnittlichen spezifischen Jahresenergieertrag von ca. **1.200-1.265 kWh/kWp** entspricht. Hier muss angemerkt werden, dass mindestens 11 der ausgewerteten Anlagen eine nachgeführte bzw. freistehende PV-Anlage mit überdurchschnittlich hohen Erträgen besitzen. Auch dieser Umstand könnte die Annahme bestätigen, dass es sich bei den FörderungsnehmerInnen der Ökofondsförderung 2014/2015 vermehrt um technikaffine Personen bzw. „Early-Adopters“ handelt, da nachgeführte PV-Systeme dementsprechend teurer sind und anders als Aufdach-Systeme eher nicht dem Installationsstandard entsprechen.

Der Großteil der Haushalte verwendet zur Beheizung Warmwassererzeugung eine Wärmepumpe. Auch zahlreiche Sonderverbraucher, darunter E-Tankstellen, Schwimmbad(wärme)pumpen, ein Heugebläse, Sauna, Kühlräume etc. wurden in den übermittelten Einreichkonzepten angegeben. Dies schlägt sich auch im **durchschnittlichen Jahresstromverbrauch der Haushalte** von rund **10.000 kWh** nieder. Das entspricht einem überdurchschnittlich hohen Verbrauch für Privathaushalte. Dies kann darauf zurückzuführen sein, dass sich eher Personen für die Eigenstromerzeugung interessieren, welche bereits einen überdurchschnittlich hohen Strombedarf aufweisen und damit ihren Netzbezug verringern wollen.

Die **Netzeinspeisung** und der **Netzbezug** liegen im Mittel bei ca. **2.600-2.900 kWh** (rund 37 % der Erzeugung) bzw. ca. **5.500 kWh** (rund 55 % des Haushaltsstrombedarfs).

Die **äquivalente Vollzyklenanzahl** entspricht einer kompletten Be- und Entladung des Speichers und beträgt bei den ausgewerteten Anlagen im Durchschnitt zwischen 290-320. Die äquivalente Vollzyklenanzahl, berechnet aus Entladung dividiert durch nutzbare Speicherkapazität [2], gibt einen Hinweis auf die Speicherauslastung und somit die optimale Dimensionierung. Die Zyklusfestigkeit wird je nach Batterie vom Hersteller angegeben und beträgt heutzutage beispielsweise bei Lithium-Ionen-Batterien zwischen 3.000-10.000 Zyklen. 300 Vollzyklen pro Jahr entsprechen bei einer Zyklusfestigkeit von 5.000 einer theoretischen

Lebensdauer von rund 16,6 Jahren, wobei unter Batterielebensende das Absinken der Batteriekapazität auf 80 % ihrer Anfangskapazität verstanden wird. Hier muss angemerkt werden, dass die Zyklenfestigkeit auch von der Art der Zyklierung (Teil- oder Vollentladung) abhängt, wobei viele Teilentladungen der Batteriealterung zuträglicher sind als einige wenige Vollentladungen. Eine geringe erreichte Zyklenanzahl kann auf einen überdimensionierten Speicher hindeuten bzw. eine hohe Zyklenanzahl auf einen zu klein dimensionierten Speicher. Zur Verhinderung einer vorschnellen zyklischen Alterung kann eine leichte Speicherüberdimensionierung empfohlen werden. Neben der Zyklenfestigkeit spielt auch die kontinuierliche kalendarische Alterung eine Rolle. Diese wird aktuell bei Lithium-Batterien mit rund 15 Jahren angenommen. [4] Die Auslegung der Batteriespeicheranlage sollte jedenfalls unter Berücksichtigung dieser Faktoren, der PV-Anlagengröße und des spezifischen Haushaltlastprofils mit qualifizierten AnlagenplanerInnen erfolgen.

Im Mittel erreichen die geförderten Anlagen im Monitoringzeitraum eine **Eigenverbrauchsquote (EV) von ca. 63-65 %**. Das bedeutet, dass 63 % der erzeugten PV-Energie vom Haushalt selbst verbraucht wird. Der **Autarkiegrad (AG) beträgt durchschnittlich rund 52-55 %** und gibt Auskunft darüber, wieviel des gesamten Haushaltsstrombedarfs durch Eigenstromerzeugung und Speicherung in Relation zum Netzbezug gedeckt werden kann. Je nach PV-Anlagendimensionierung und Lastprofil liegen die Eigenverbrauchsquoten und Autarkiegrade ohne Speichersystem üblicherweise bei ca. 30-40 %.

Beide Kennzahlen verhalten sich tendenziell gegenläufig, d.h. mit einer hohen Autarkie sinkt meist der Eigenverbrauch, da für eine hohe Autarkierate die PV-Anlage im Verhältnis zum Verbrauch eher überdimensioniert werden muss. In Abbildung 5 wurden Eigenverbrauch und Autarkiegrad der untersuchten Anlagen auf der X- und Y-Achse aufgetragen und einige besonders interessante Anlagen herausgegriffen. So bestätigen beispielsweise Anlage Nr. 282 oder Anlage Nr. 468 die vorhin beschriebene Tendenz, während die Anlagen Nr. 136 und Nr. 223 beim Autarkiegrad und der Eigenverbrauchsquote zumindest 70% und mehr erreichen. Allgemein gültige Aussagen sind daher aufgrund der geringen Stichprobengröße und der außerdurchschnittlichen PV-Speicheranlagenkonfigurationen mit zahlreichen Sonderverbrauchern nicht ableitbar.

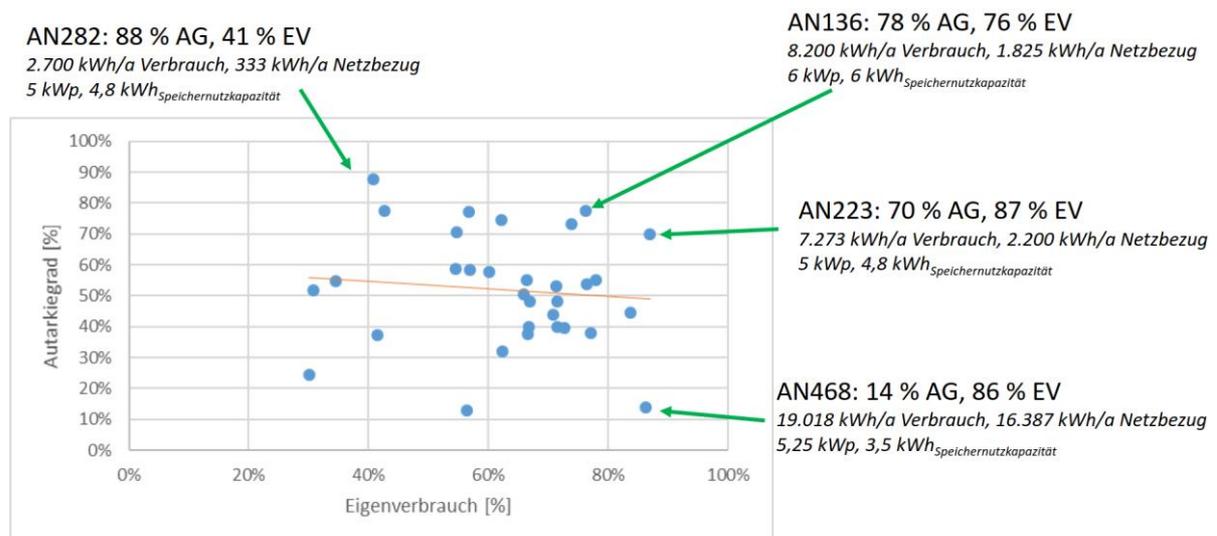


Abbildung 5: Zusammenhang zwischen Autarkiegrad und Eigenverbrauchsquote, Auswertezyklus 2019, 32 Anlagen

Für eine anschauliche Ergebnisinterpretation wurden die Messdaten aus der letzten verfügbaren Messperiode (Messdaten aus 2017 und 2018) der Fronius- und Sonnenbatterieanlagen monatsweise ausgewertet (47 Anlagen), und grafisch aufbereitet. Die monatlichen Eigenverbrauchsquoten und Autarkiegrade verhalten sich gegenläufig. Während der Eigenverbrauch eher in den Wintermonaten ansteigt (höherer Haushaltstromverbrauch, geringere PV-Erzeugung), erhöht sich der Autarkiegrad durch die gesteigerte Erzeugung in den Sommermonaten. Nachfolgende Abbildung 6 zeigt die Eigenverbrauchsquoten im Jahresverlauf. Im Winterhalbjahr liegen die Eigenverbrauchsquoten im Mittel um die 80 %. Vereinzelt erreichen Anlagen sogar Werte bis zu 100 % (siehe Maximalwerte in Abbildung 6). Die Standardabweichung gibt jenen Bereich um den Mittelwert an, in welchem sich 68,2% aller Daten befinden.

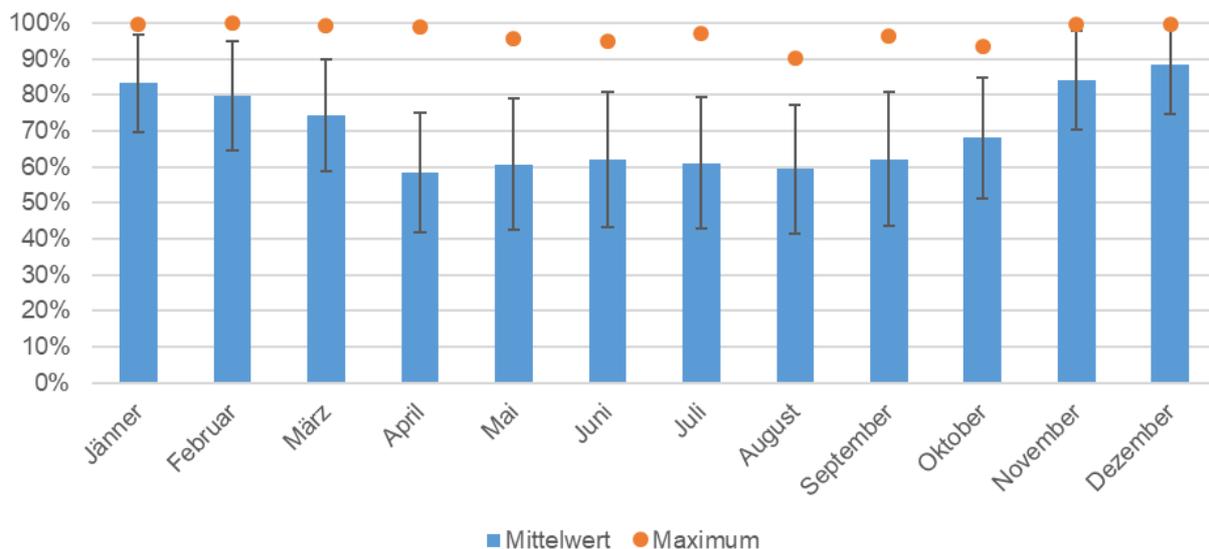


Abbildung 6: Eigenverbrauchsquoten im Jahresverlauf (Fronius/Sonnenbatterie, 47 Anlagen), Messdatenaufzeichnungen teilweise aus 2017 und 2018

Die Autarkiegrade (Abbildung 7) steigen erwartungsgemäß in den Sommermonaten mit der erhöhten PV-Erzeugung und erreichen ebenfalls Werte von über 70 %. Vereinzelt wurden von Mai bis August Autarkiegrade von nahezu 100 % erreicht (Maximalwerte).

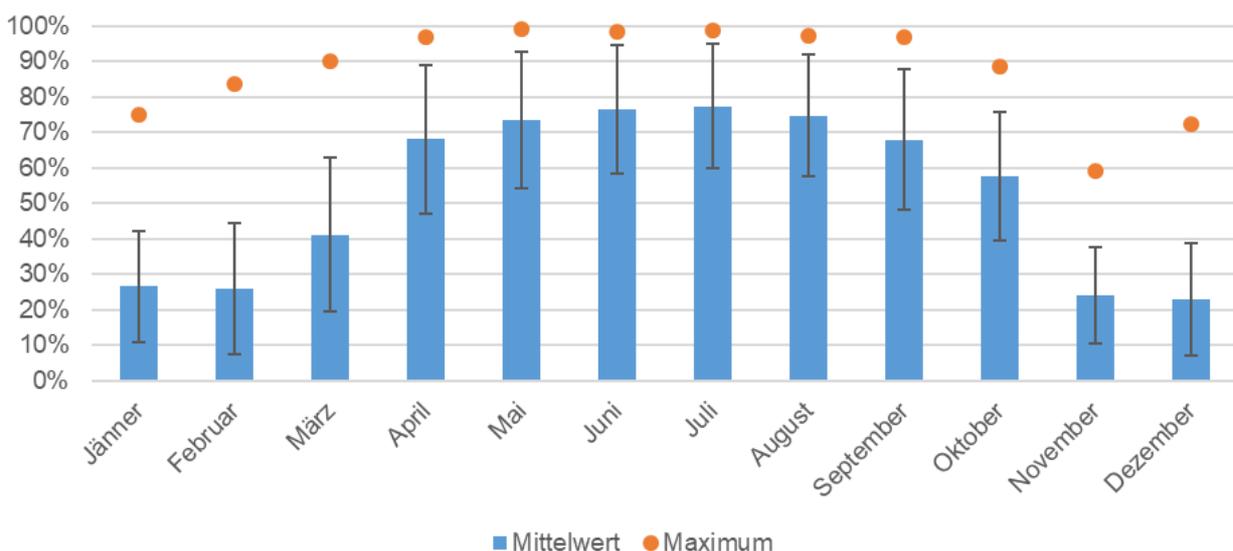


Abbildung 7: Autarkiegrade im Jahresverlauf (Fronius/Sonnenbatterie, 47 Anlagen), Messdatenaufzeichnungen teilweise aus 2017 und 2018

Da sich erreichbare Eigenverbrauchsquoten und Autarkiegrade in der Regel gegenläufig verhalten, sollte bei der Anlagenplanung der Zweck der Anlage (hohe EV oder hoher AG) vorab definiert und darauf aufbauend die Komponentendimensionierung festgelegt werden. Aus wirtschaftlichen Gründen ist die Auslegung auf eine hohe Eigenverbrauchsquote empfehlenswert.

Schlussfolgernd kann gesagt werden, dass Stromspeicher durchaus einen Beitrag zur stabileren Integration von Erneuerbaren in das Stromnetz leisten können und sich steigender Beliebtheit erfreuen. Es ist auch zukünftig mit einem weiteren Preisverfall der Systeme (PV- und Speicheranlagen) zu rechnen, sodass sich der Trend der PV-Heimspeicher in Privathaushalten wahrscheinlich fortsetzen wird.

Die Messdatenauswertungen haben gezeigt, dass im Schnitt der Eigenverbrauch und der Autarkiegrad durch eine Speicherinstallation um rund 15-20 % gesteigert werden können. In der Literatur wird bei einer durchschnittlichen Anlagenkonfiguration sogar von üblichen Steigerungsraten zwischen 25-30 % ausgegangen [3]. Online sind bereits zahlreiche, einfache PV-Eigenverbrauchsrechner von renommierten Institutionen verfügbar, welche eine erste Abschätzung zur Speicherwirkung liefern und als Basis für eine Besprechung mit qualifizierten AnlagenplanerInnen dienen können.

4 Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|---|
| Abbildung 1: geographische Verteilung der 67 geförderten Batteriespeicheranlagen (Kartenbasis Google Maps)..... | 3 |
| Abbildung 2: Installierte PV-Leistung der 67 Anlagen..... | 4 |
| Abbildung 3: Übersicht über die installierten Akku-Nutzkapazitäten der 67 Anlagen..... | 4 |
| Abbildung 4: Grafische Darstellung der Energieflüsse im System | 5 |
| Abbildung 5: Zusammenhang zwischen Autarkiegrad und Eigenverbrauchsquote, Auswertezyklus 2019, 32 Anlagen..... | 9 |
| Abbildung 6: Eigenverbrauchsquoten im Jahresverlauf (Fronius/Sonnenbatterie, 47 Anlagen), Messdatenaufzeichnungen teilweise 2017 und 2018..... | Fehler! Textmarke nicht definiert. |
| Abbildung 7: Autarkiegrade im Jahresverlauf (Fronius/Sonnenbatterie, 47 Anlagen), Messdatenaufzeichnungen teilweise 2017 und 2018..... | Fehler! Textmarke nicht definiert. |

5 Tabellenverzeichnis

| | |
|--|---|
| Tabelle 1: Überblick Ergebnisse der drei Berichtsjahre 2017, 2018 und 2019 | 8 |
|--|---|

6 Literaturverzeichnis

[1] Messner C., Kathan J., Mayr J. (o.J.): Effizienz und Effektivität von netzgekoppelten PV-Heimspeichersystemen – Erfahrungen und Erkenntnisse aus Labortests kommerzieller Produkte, Research Paper, AIT – Austrian Institute of Technology, Wien

[2] Kairies K-P., Haberschusz D., van Ouwkerk J., Strebel J., Wessels O., Magnor D., Badeda J., Sauer D. (2016): Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm Solarstromspeicher – Jahresbericht 2016, Institut für Stromrichtertechnik und elektrische Antriebe der RWTH Aachen, Aachen 2016, S. 55-61, S. 102-120

[3] Weniger J., Quaschnig V., Tjaden T. (2013): Optimale Dimensionierung von PV-Speichersystemen, erschienen im pv magazine group GmbH & Co. KG 01/2013, S.70-75, www.pv-magazine.de

[4] Sterner M. et. al. (2017): Energiespeicher – Bedarf, Technologien, Integration, Springer Verlag Deutschland, 2. Auflage, S. 43, S. 301-303, S. 649

