

# Vergleich der Feldmessdaten von Photovoltaik-Batteriesystemen

Lucas Meissner, Nico Orth, Johannes Weniger, Cheyenne Schlüter, Volker Quaschnig  
Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Berlin  
Forschungsgruppe Solarspeichersysteme  
Wilhelminenhofstr. 75a, 12459 Berlin  
E-Mail: [Lucas.Meissner@HTW-Berlin.de](mailto:Lucas.Meissner@HTW-Berlin.de)  
Internet: <https://solar.htw-berlin.de>

Die Kombination aus Photovoltaiksystem und Batteriespeicher ist mittlerweile ein etablierter Standard in der Branche. Während im gesamten Jahr 2022 noch knapp 223 000 Speichersysteme in Deutschland installiert worden sind, waren es allein im Jahr 2023 schon mehr als 530 000 Systeme. Dabei wurden etwa 79 % der neuen PV-Anlagen im Eigenheimbereich zusammen mit einem Batteriespeicher installiert [1], [2].

Eine Auswertung von Feldmessdaten im großen Maßstab hat aufgrund der bisherigen Datengrundlage nur mit einigen wenigen Ausnahmen einzelner Hersteller, wie z. B. SMA oder Fronius [3], [4], oder dem Speichermonitoring der RWTH Aachen [5] nicht stattgefunden. Um den realen Nutzen von PV-Speichersystemen für Eigenheimbesitzer:innen zu bewerten, wurden mit der Unterstützung der Unternehmen Eigensonne und Kostal mehrere hundert Datensätze von PV-Batteriespeichersystemen untersucht und ausgewertet.

Dieser Beitrag stellt die Ergebnisse der Analyse der Betriebsdaten von 110 Eigenheimen mit PV-Batteriespeichersystem vor und zeigt auf, wie stark die Autarkiegrade der untersuchten Haushalte mit unterschiedlich dimensionierten PV-Anlagen und Solarstromspeichern voneinander abweichen und in welchem Maß die untersuchten Haushalte ihren Autarkiegrad durch den Einsatz eines Batteriespeichers steigern konnten.

## Auf welcher Datengrundlage basiert die Auswertung?

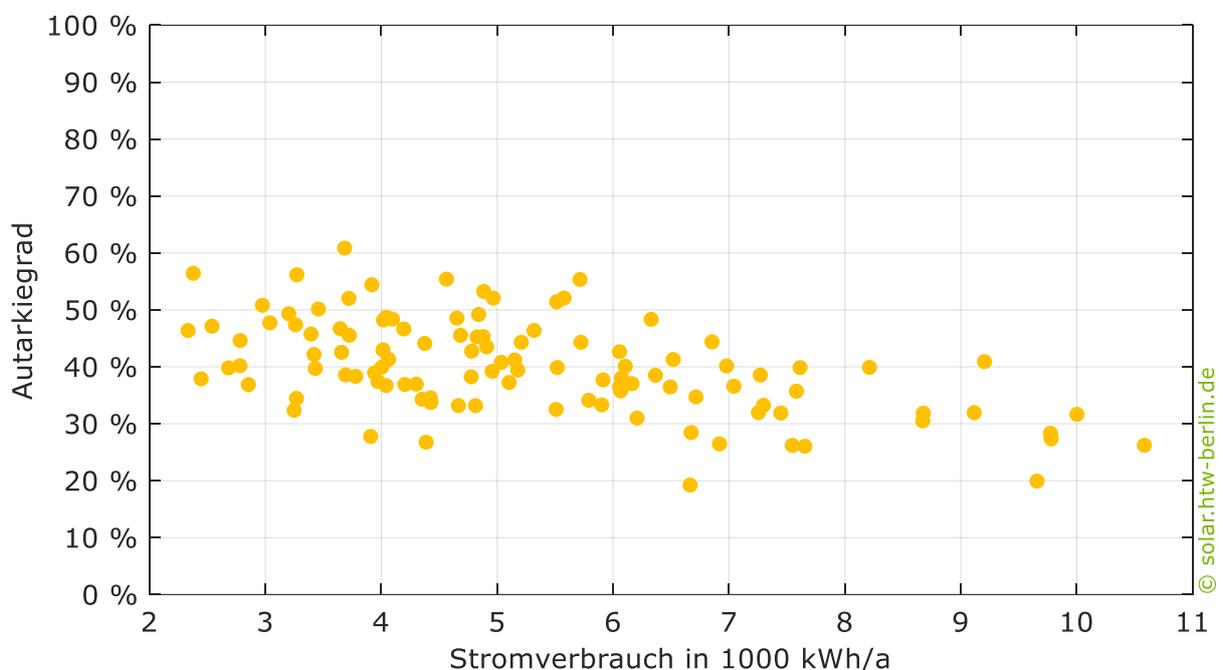
Die Unternehmen Eigensonne und Kostal stellten im Rahmen des Forschungsvorhabens „Perform“ mehr als 900 Datensätze von Eigenheimen mit PV-Anlage und Batteriespeicher für die Analyse des realen Betriebsverhaltens zur Verfügung. Diese Datensätze beinhalten verschiedene Tagesenergiesummen wie z. B. die PV-Erzeugung, den Haushaltsstrombedarf und die Lade- und Entladeleistung des Batteriespeichersystems. Allerdings liegen die vorhandenen Datensätze über unterschiedliche Zeiträume vor. In fast 600 Datensätzen sind die Tagesenergiesummen nur für ein halbes Jahr enthalten. Da die Analyse der Tagesenergiesummen und Autarkiegrade für ein ganzes Jahr repräsentativer ist, wurden diese Haushalte in der folgenden Analyse nicht betrachtet. Von den restlichen 300 Datensätzen waren etwa zwei Drittel aufgrund von fehlenden Systemparametern wie der Batteriespeicherkapazität oder Datenlücken nicht für eine weitere Untersuchung geeignet. Schlussendlich bilden die Betriebsdaten des Jahres 2022 von 110 PV-Speichersystemen die Datengrundlage für die folgenden Analysen.

## Wie sehr variiert der Autarkiegrad unterschiedlicher Wohngebäude mit PV-Anlage?

Zunächst wurden die Betriebsergebnisse der PV-Anlagen ohne Batteriespeicher verglichen. Hierzu wurde in einem ersten Schritt der durch die PV-Anlage erzielbare Autarkiegrad aus dem Verhältnis der zeitgleich direkt verbrauchten PV-Energie zum Haushaltsstrombedarf auf Basis der täglichen Energiesummen bestimmt.

Der Autarkiegrad eines Haushalts hängt von zahlreichen Faktoren ab, unter anderem von der installierten PV-Leistung, dem jährlichen Stromverbrauch und dem Lastprofil des Haushalts [6]. Die PV-Leistung der analysierten Systeme liegt zwischen 4,8 kW und 13 kW, der Median liegt bei 8,4 kW. Die untersuchten Haushalte erreichen ohne Batteriespeicher Autarkiegrade zwischen 19 % und 61 %. Im Mittel decken sie ihren jährlichen Strombedarf zu 40 % durch eigens erzeugten Solarstrom. Den höchsten Autarkiegrad erreicht ein Haushalt mit einer 7,3-kW-PV-Anlage. Allerdings sind die Betriebsdaten von einer großen Streuung geprägt: Beispielsweise erreicht ein Eigenheim mit einer ähnlichen PV-Leistung einen Autarkiegrad von lediglich 26 %. Allein aus der Größe der PV-Anlage eines Haushalts lassen sich folglich keine Rückschlüsse zur Höhe des erreichbaren Autarkiegrades ziehen.

Bild 1 visualisiert die Abhängigkeit des Autarkiegrades vom jährlichen Haushaltsstromverbrauch. Die untersuchten Haushalte verbrauchten 2022 zwischen 2333 kWh und 10 583 kWh. Der Median liegt bei 4882 kWh. Bei steigendem Stromverbrauch sinkt der Autarkiegrad um 2,2 Prozentpunkte je 1000 kWh/a. Wie zu erwarten, ist allerdings auch hier eine hohe Varianz der Ergebnisse erkennbar: So erreicht der Haushalt mit dem geringsten Stromverbrauch einen Autarkiegrad von 46 % - ebenso wie ein Haushalt mit einem Stromverbrauch von 5318 kWh/a, welcher mehr als doppelt so hoch ist.

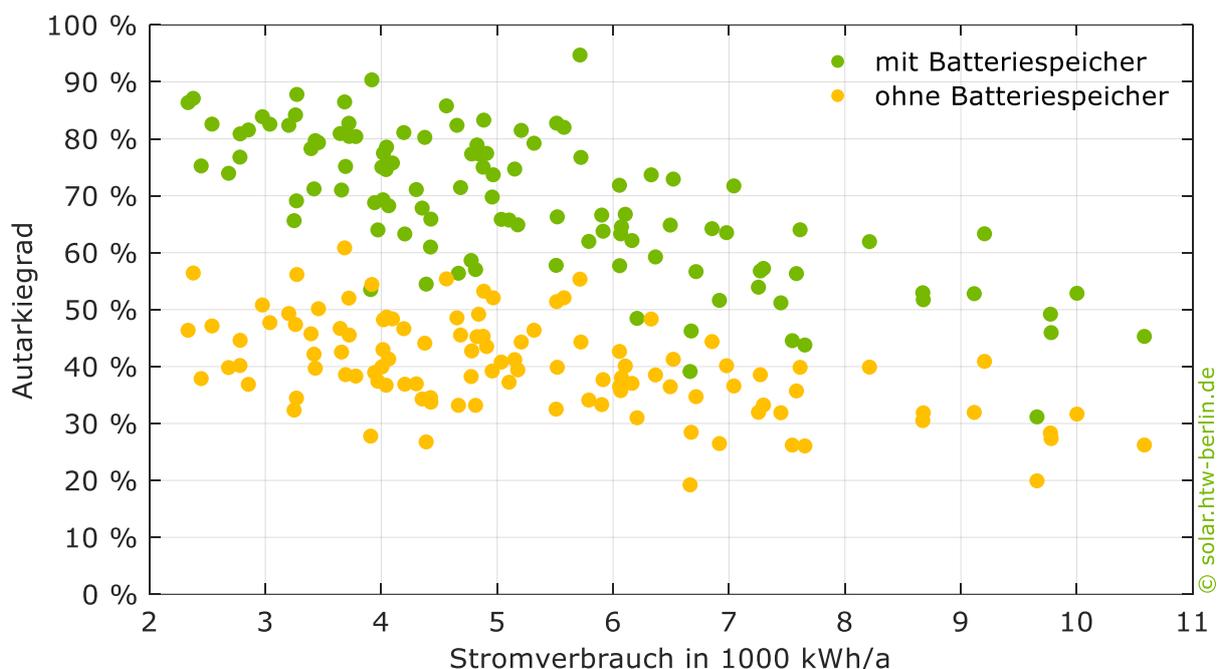


**Bild 1** Autarkiegrade von 110 Haushalten mit Photovoltaik-Anlage in Abhängigkeit von dem individuellen jährlichen Haushaltsstromverbrauch (Daten: Eigensonne, Kostal).

## Um wie viel Prozent steigert ein Batteriespeicher den Autarkiegrad?

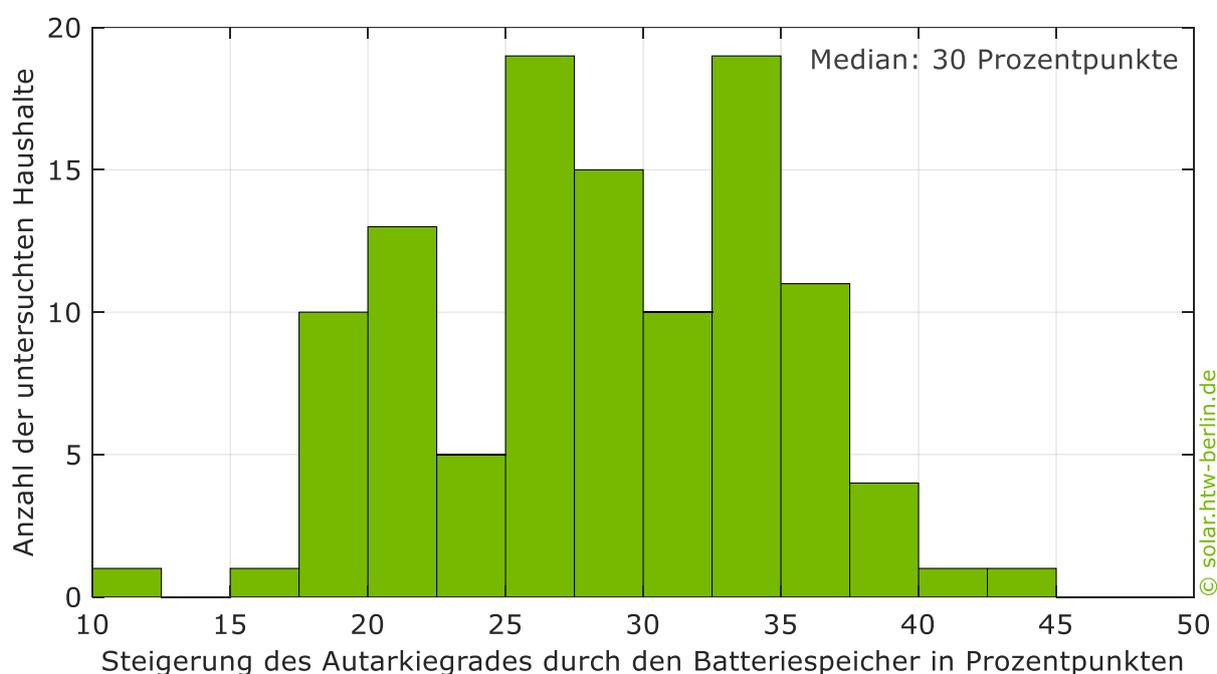
Ein Batteriespeicher kann den tagsüber überschüssig erzeugten Solarstrom speichern und in der Nacht oder bei ungenügender PV-Erzeugung wieder abgeben. Batteriespeichersysteme dienen somit dem Ausgleich des täglichen Erzeugungs- und Bedarfsüberschusses, fungieren jedoch nicht als saisonale Stromspeicher. Um die Autarkiegrade der Systeme zu vergleichen, wurde für diese Analyse auf Basis der täglichen Energiesummen das Verhältnis der Summe aus Direktverbrauch und aus der Batterie gedeckten Last zum Haushaltsstrombedarf gebildet. In den untersuchten Haushalten befinden sich Batteriespeicher mit nutzbaren Speicherkapazitäten von 4,9 kWh bis 9,7 kWh. Der Median der installierten Speicherkapazität liegt bei 7,3 kWh. Die untersuchten Eigenheime erreichen durch die Integration eines Stromspeichers Autarkiegrade zwischen 31 % und 95 %. Der Median liegt bei 70 %, was bedeutet, dass die analysierten Haushalte durch die Verwendung eines Solarstromspeichers nur noch 30 % ihres Strombedarfs aus dem öffentlichen Netz beziehen.

Bild 2 stellt die Autarkiegrade der Haushalte in Abhängigkeit vom Jahresstromverbrauch dar. Die niedrigste Steigerung des Autarkiegrades durch den zusätzlichen Betrieb eines Batteriespeichers beträgt 11 Prozentpunkte. Dieser Wert resultiert in einem Haushalt mit einem hohen Stromverbrauch von 9657 kWh/a. Die zugehörige PV-Anlage mit einer Leistung von 4,8 kW, sowie der Batteriespeicher mit einer nutzbaren Speicherkapazität von 4,9 kWh sind im Verhältnis zum Stromverbrauch eher klein dimensioniert. Ein anderer Haushalt erreicht bei einem Strombedarf von 5700 kWh/a durch den Einsatz eines 9,7-kWh-Batteriespeichers den höchsten Autarkiegrad von fast 95 %. Seinen mittleren täglichen Strombedarf von etwa 16 kWh deckt das Eigenheim fast vollständig durch die PV-Anlage und den Batteriespeicher. Der Haushalt bezieht im gesamten Jahr 2022 nur etwas mehr als 310 kWh aus dem öffentlichen Stromnetz.



**Bild 2** Autarkiegrade von 110 Haushalten mit PV-Speichersystem in Abhängigkeit von dem individuellen jährlichen Haushaltsstromverbrauch (Daten: Eigensonne, Kostal).

Bild 3 stellt die Häufigkeitsverteilung der Steigerung des Autarkiegrades der betrachteten Haushalte durch den Einsatz eines Batteriespeichers dar. Die Installation eines Batteriespeichers erhöht die solarelektrische Eigenversorgung aller untersuchten Haushalte um ca. 30 Prozentpunkte, wie der Median der Betriebsdaten zeigt. Neben der zuvor erwähnten minimalen Zunahme von 11 Prozentpunkten beträgt die maximale Steigerung fast 45 Prozentpunkte. Diese maximale Steigerung der Autarkie erreicht ein Eigenheim mit einem Strombedarf von etwa 2900 kWh/a. Durch den kombinierten Einsatz einer 6,8-kW-PV-Anlage mit einem 4,9-kWh-Batteriespeicher bezieht der Haushalt nur noch 18 % seines Strombedarfs im Jahr 2022 aus dem öffentlichen Netz. Von Anfang Mai bis Ende August ermöglicht die hohe Erzeugung von Solarstrom der PV-Anlage, dass sich der Haushalt fast vollständig autark versorgen kann. In diesem Zeitraum beträgt der Netzbezug lediglich 8 kWh. In den Sommermonaten Juni und Juli übersteigt die Direktversorgung der Last durch den Solarstrom die aus der Batterie entladene Energie. Im Januar und Dezember ist hingegen der Anteil der aus der Batterie gedeckten Last mehr als doppelt so hoch.



**Bild 3** Häufigkeitsverteilung der Steigerung des Autarkiegrades durch den Einsatz eines Batteriespeichers in 110 Haushalten mit PV-Batteriespeichersystem (Daten: Eigensonne, Kostal, Klassenbreite: 2,5 Prozentpunkte).

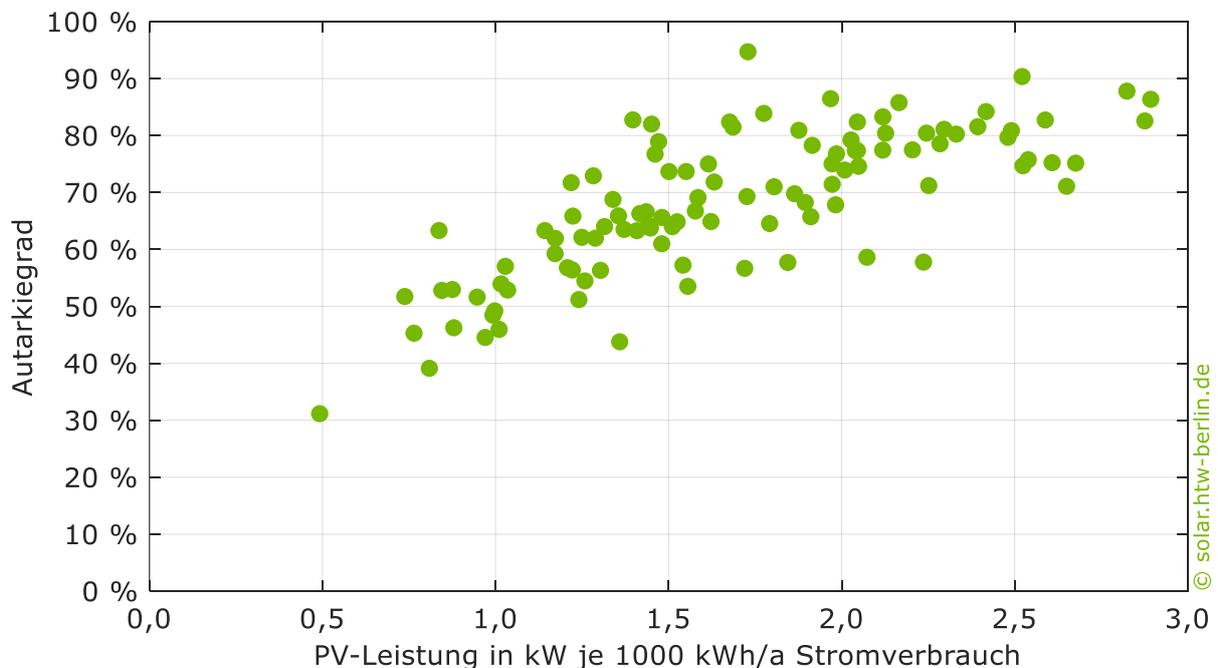
### Wie lassen sich die Betriebsergebnisse unterschiedlich dimensionierter PV-Batteriesysteme vergleichen?

Zur besseren Vergleichbarkeit der Betriebsergebnisse von PV-Batteriesystemen ist es empfehlenswert, die Nennleistung der PV-Anlage und die nutzbare Speicherkapazität auf den jährlichen Stromverbrauch zu normieren [6], [7]. Bild 4 stellt den Autarkiegrad der untersuchten Haushalte mit PV-Speichersystemen in Abhängigkeit von der auf den jährlichen Haushaltsstrombedarf normierten PV-Leistung dar. Dafür wurde das Verhältnis der individuellen PV-Leistung zu dem individuellen jährlichen Stromverbrauch der einzelnen Haushalte gebildet.

Der Haushalt mit dem geringsten Autarkiegrad von knapp 31 % verbraucht 9657 kWh/a und hat eine 4,8-kW-PV-Anlage. Das Verhältnis von PV-Leistung zu Stromverbrauch beträgt somit rund 0,5 kW je 1000 kWh/a. Tendenziell steigt der erreichbare Autarkiegrad, wenn das Verhältnis aus Leistung der PV-Anlage zu Stromverbrauch zunimmt. Ab einem Verhältnis von 1,5 kW je 1000 kWh/a steigt der Autarkiegrad jedoch immer langsamer an [8].

Auch hier zeigen die Betriebsergebnisse bei der kombinierten Betrachtung von PV-Leistung und Jahresstromverbrauch eine hohe Abweichung: Das System mit dem größten Verhältnis aus PV-Leistung und Jahresstromverbrauch liegt bei knapp 2,9 kW je 1000 kWh/a - der Haushalt erreicht einen Autarkiegrad von 86 %. Denselben Eigenversorgungsanteil erreicht allerdings auch ein Haushalt mit einem Verhältnis von 1,9 kW je 1000 kWh/a. Dieser verbraucht von Mitte April bis Ende September täglich etwa 10 kWh Strom. Aufgrund des wesentlich höheren Bedarfs im Sommer, welcher beispielsweise durch ein strombetriebenes Klimagerät aufkommen kann, liegt der Jahresstromverbrauch knapp 900 kWh über dem Bedarf des anderen Haushalts. Dadurch entsteht bei einer ähnlichen PV-Leistung ein wesentlich niedrigeres Verhältnis zwischen PV-Leistung und jährlichem Stromverbrauch. Der hohe Direktverbrauch des Solarstroms im Sommer deckt zusammen mit dem Batteriespeicher die elektrische Last jedoch fast vollständig, sodass der Haushalt dennoch einen sehr hohen Autarkiegrad erreicht. Der Haushalt mit einem Verhältnis von 2,9 kW je 1000 kWh/a hat dementsprechend vor allem eine höhere Netzeinspeisung als der Haushalt mit dem Verhältnis von 1,9 kW je 1000 kWh/a.

Im Bereich von 1,5 kW je 1000 kWh/a bis 2,0 kW je 1000 kWh/a ist die beobachtete Streuung der Betriebsergebnisse ebenfalls sehr hoch: Der niedrigste ermittelte Autarkiegrad liegt in diesem Bereich bei 53 %, wohingegen das System mit dem höchsten Autarkiegrad 95 % erreicht.

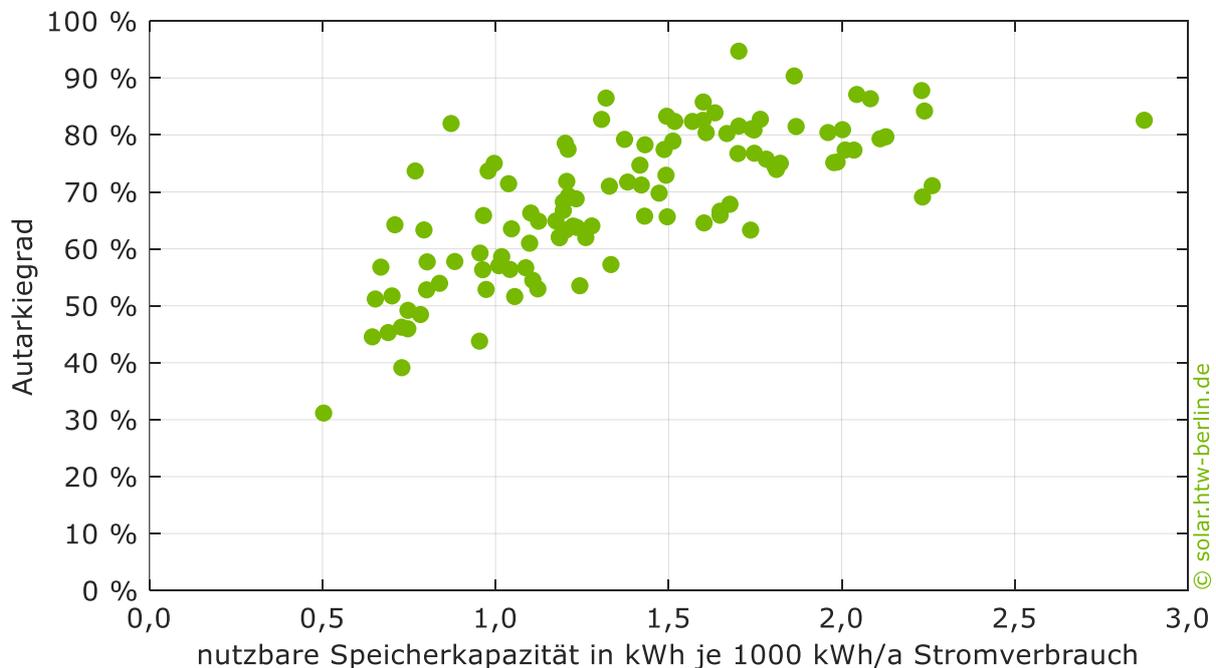


**Bild 4** Autarkiegrade von 110 Haushalten mit PV-Speichersystem in Abhängigkeit von der auf den jährlichen Haushaltsstromverbrauch normierten PV-Leistung (Daten: Eigensonne, Kostal).

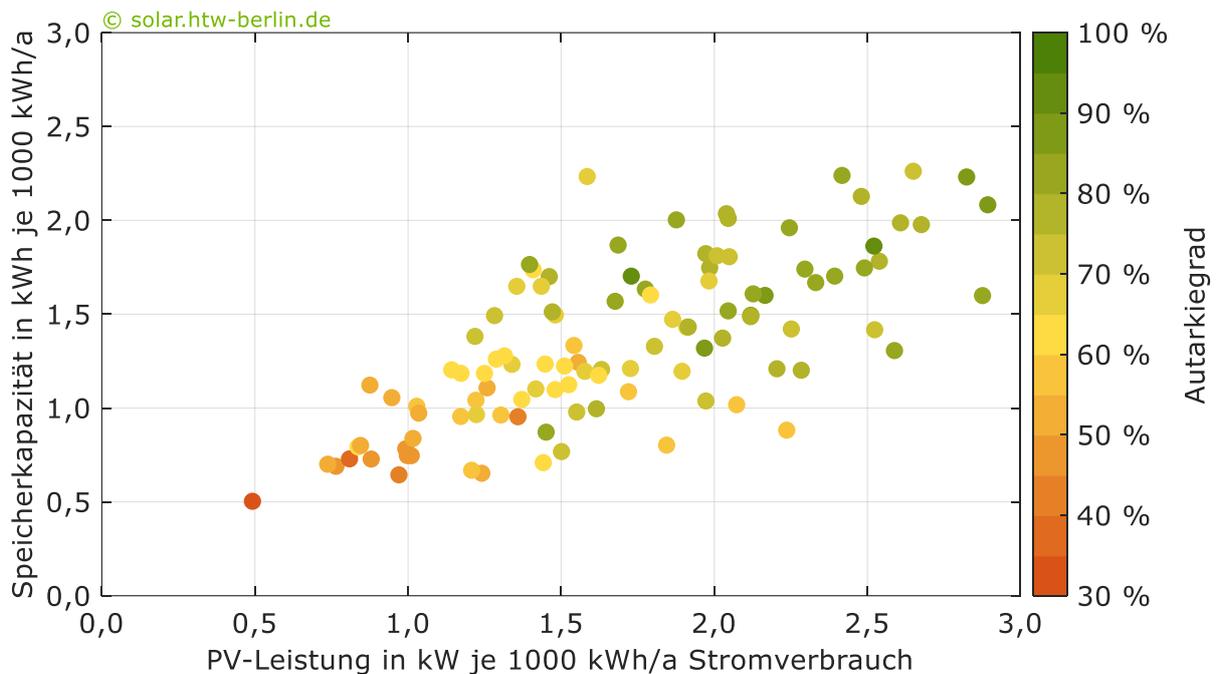
Die Abweichungen in diesem Segment zeigen deutlich, wie stark die Betriebsergebnisse trotz ähnlichem Verhältnis von PV-Leistung zu Jahresstromverbrauch voneinander abweichen und unterstreicht die Relevanz einer sinnvollen Auslegung von PV-Anlage und Batteriespeicher.

Bild 5 stellt in Ergänzung zu Bild 4 den Autarkiegrad in Abhängigkeit von dem Verhältnis aus nutzbarer Speicherkapazität zu jährlichem Stromverbrauch dar. Das kleinste Verhältnis von 0,5 kWh je 1000 kWh/a hat der Haushalt mit dem geringsten Autarkiegrad. Das maximale Verhältnis von Speicherkapazität zu Jahresstromverbrauch beträgt hingegen fast 2,9 kWh je 1000 kWh/a. In dem zugehörigen Haushalt mit einem Stromverbrauch von knapp 2500 kWh/a verhilft der 7,3-kWh-Batteriespeicher dem Eigenheim zu einem Autarkiegrad von 83 %. Denselben Wert erzielt ein System mit dem Verhältnis von 0,9 kWh je 1000 kWh/a. Ein weiteres Beispiel für hohe Abweichungen sind etwa 15 Haushalte mit einem Verhältnis von Speicherkapazität zu Jahresstromverbrauch von je etwa 0,75 kW je 1000 kWh/a. Die Autarkiegrade der Systeme liegen im Bereich von 39 % bis 74 %, was verdeutlicht, dass auch der Vergleich der Betriebsergebnisse anhand von Speicherkapazität und Jahresstromverbrauch keine eindeutigen Ergebnisse oder Faustformeln liefert.

Die Darstellung der beiden auf den Haushaltsstromverbrauch normierten Systemparameter PV-Leistung und Speicherkapazität ermöglicht dennoch eine intuitivere Analyse der berechneten Autarkiegrade in Abhängigkeit von den drei Kenngrößen. Um die Analyse der Betriebsdaten zu komplementieren, stellt Bild 6 den Autarkiegrad der untersuchten Haushalte in Abhängigkeit von der auf den Jahresstromverbrauch normierten PV-Leistung und der normierten Speicherkapazität dar.



**Bild 5** Autarkiegrade von 110 Haushalten mit PV-Speichersystem in Abhängigkeit von der auf den jährlichen Haushaltsstromverbrauch normierten Batteriespeicherkapazität (Daten: Eigensonne, Kostal).



**Bild 6** Autarkiegrade von 110 Haushalten mit PV-Speichersystem in Abhängigkeit von der auf den jährlichen Haushaltsstromverbrauch normierten PV-Leistung und nutzbaren Batteriespeicherkapazität (Daten: Eigensonne, Kostal).

Trotz abweichender Betriebspunkte lässt sich ein klarer Trend erkennen, der den Anstieg des Autarkiegrades mit bedarfsgerechter Zunahme der Speicherkapazität und PV-Leistung deutlich unterstreicht. Der Bereich mit einer PV-Leistung von 1,5 kW bis 2,0 kW je 1000 kWh/a Stromverbrauch in Kombination mit einer analogen normierten Speicherkapazität zeigt jedoch eine hohe Streuung der Betriebsergebnisse: Hier liegen die Autarkiegrade um bis zu 30 Prozentpunkte auseinander. Der Haushalt mit dem niedrigsten Autarkiegrad erreicht in diesem Segment eine solare Eigenversorgungsrate von 65 %, wobei der Haushalt mit der höchsten Autarkie fast 95 % erreicht. Noch signifikanter ist die Streuung der Daten im selben Bereich der PV-Leistung, jedoch mit einer Kapazität von 1,0 kWh bis 1,5 kWh je 1000 kWh/a. In diesem Segment liegen 15 der untersuchten Haushalte. Ihre Autarkiegrade reichen von 54 % bis 86 %. Die Standardabweichung aller ermittelten Autarkiegrade beträgt fast 13 %. Beeinflusst wird dieser Wert durch einige Extremfälle. So erreicht beispielsweise ein Haushalt mit dem Verhältnis von PV-Leistung zu Jahresstromverbrauch von 1,3 kW je 1000 kWh/a und dem Verhältnis von Speicherkapazität zu Jahresstromverbrauch von 0,9 kWh je 1000 kWh/a einen wesentlich geringeren Autarkiegrad als andere Haushalte mit einer vergleichbaren Systemdimensionierung. Das Lastprofil des abweichenden Haushalts zeigt hohe Lasten in den Wintermonaten, welche um den Faktor vier bis acht höher sind als in den Sommermonaten. Aufgrund dessen sinkt der Anteil der solarelektrischen Eigenversorgung und der Haushalt erreicht nur einen vergleichsweise geringen Autarkiegrad.

Dementsprechend kann aus den Ergebnissen abgeleitet werden, dass die Autarkiegrade von Haushalten mit ähnlich dimensionierten PV-Batteriesystemen stark variieren können. Neben der PV-Erzeugung, der Batteriekapazität und dem jährlichen Stromverbrauch beeinflusst auch das Verbrauchsverhalten sowie die Umwandlungseffizienz des PV-Batteriesystems die Höhe des erreichbaren Autarkiegrades [4], [9].

## Literaturverweise

- [1] Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA): „Marktstammdatenregister der Bundesnetzagentur“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR>. [Zugegriffen: 03-Aug-2022].
- [2] J. Weniger, N. Orth, L. Meissner, C. Schlüter, J. von Rautenkranz: „Stromspeicher-Inspektion 2024“, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Berlin, 2024.
- [3] T. Thierschmidt, F. Kever, M. Rothert: „Kompaktspeicher: Placebo oder Zukunftslösung? Ergebnisse aus einem Jahr Felderfahrung“, in *30. Symposium Photovoltaische Solarenergie*, Bad Staffelstein, 2015.
- [4] C. Messner, J. Kathan, C. Seitzl, S. Hofmüller, J. Wolfahrt: „Field Assessment of PV Home Storage Systems“, in *6th Solar Integration Workshop - International Workshop on Integration of Solar Power into Power Systems*, Wien, 2016.
- [5] J. Figgenger, D. Haberschusz, K.-P. Kairies, O. Wessels, B. Tepe, D. U. Sauer: „Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm Solarstromspeicher 2.0 - Jahresbericht 2018“, Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe (ISEA), RWTH Aachen, Aachen, 2018.
- [6] J. Weniger: „Dimensionierung und Netzintegration von PV-Speichersystemen“, Masterarbeit, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Berlin, 2013.
- [7] J. Weniger, J. Bergner, T. Tjaden, V. Quaschnig: *Dezentrale Solarstromspeicher für die Energiewende*. Berlin: Berliner Wissenschafts-Verlag, 2015.
- [8] J. Weniger, N. Orth, I. Lawaczeck, L. Meissner, V. Quaschnig: „Stromspeicher-Inspektion 2021“, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Berlin, 2021.
- [9] J. Weniger: „Bewertung der Energieeffizienz von netzgekoppelten Photovoltaik-Batteriesystemen in Wohngebäuden“, Dissertation, Technische Universität Berlin, Berlin, 2019.

## Danksagung

Die präsentierten Ergebnisse sind im Vorhaben „Bewertung der Performance von Stromspeichersystemen (Perform)“ entstanden. Die Autoren danken dem deutschen Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz für die finanzielle Unterstützung des Projekts.