

Vom Nischenprodukt zur Standardlösung

Stromspeicher-Inspektion 2023 vergleicht die Technik und zeigt Trends im Heimspeichermarkt auf

Neben der eigenen Photovoltaik(PV)-Anlage setzen immer mehr Privatpersonen auf einen Batteriespeicher. Aus ökonomischer und ökologischer Sicht sollte dieser möglichst effizient sein. In der Stromspeicher-Inspektion 2023 vergleicht die Forschungsgruppe Solarspeichersysteme der Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Berlin 18 PV-Speichersysteme und kürt Effizienztestieger. Zudem wird aufgezeigt, worauf es bei der effizienten Stromspeicherung ankommt.

Immer mehr Deutsche, die ein Eigenheim besitzen, entscheiden sich für die Installation einer PV-Anlage und eines Batteriesystems. Das verdeutlicht die Analyse der Forschungsgruppe Solarspeichersysteme der HTW Berlin, die auf den Daten des sogenannten Marktstammdatenregisters der Bundesnetzagentur beruht. Bild 1 visualisiert den jährlichen Zubau der neu errichteten PV-Anlagen seit 2015.

Photovoltaikanlagen und Batteriespeicher boomen

Ausgehend von 41 000 neu montierten PV-Systemen im Jahr 2015 mit einer Nennleistung zwischen 2 kW und 20 kW ist ein kontinuierliches Wachstum zu beobachten. Bis zum Jahr 2019 stieg der jährliche Zubau bereits auf 90 000 PV-Anlagen. In den vergangenen vier Jahren hat sich die Anzahl der

jährlichen Neuinstallationen verdreifacht. Im Mittel wuchs der Markt für private PV-Anlagen in Deutschland in diesem Zeitraum um jährlich 46 %.

Im Jahr 2022 wurden über 269 000 PV-Anlagen aufs Dach geschraubt – annähernd so viele Systeme wie zwischen 2015 und 2019 insgesamt installiert wurden. Ein Ende der Erfolgsgeschichte ist mit den Klimaschutzzielen der Bundesregierung erst einmal nicht in Sicht. Fachkräfte werden händeringend gesucht.

Mit den PV-Anlagen stieg auch die Anzahl der installierten Batteriesysteme rasant an. Von 7 000 installierten Heimspeichersystemen im Segment bis 20 kWh im Jahr 2015 über 42 000 Systeme im Jahr 2019 auf 197 000 neu installierte Geräte im Jahr 2022. Im Vergleich zum Vorjahr wuchs der Markt für Heimspeichersysteme um 44 %.

Die Gesamtanzahl der in Deutschland installierten PV-Batteriesysteme beläuft sich Ende 2022 bereits auf mehr als 526 000. Der Heimspeichermarkt wird dabei mit 98 % klar

von Lithium-Ionen-Batterien dominiert. Wie die Stromspeicher-Inspektion 2023 zeigt, sind in puncto Energieeffizienz die seit vielen Jahren etablierten Lithium-Ionen-Batterien den zum Teil jungen alternativen Batterietechnologien derzeit noch deutlich überlegen.

Speicherkapazität, Batterie- und PV-Leistung nehmen zu

Den Daten des Marktstammdatenregisters lässt sich gleichzeitig der Trend hin zu größer dimensionierten PV-Anlagen und Batteriesystemen entnehmen. Die durchschnittlich installierte PV-Anlagengröße stieg seit dem Jahr 2020 innerhalb von zwei Jahren von 8,3 kW auf 9,1 kW an.

Ein Grund hierfür: Mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) 2021 wurde die Leistungsschwelle für die Befreiung von der EEG-Umlage auf den selbstverbrauchten Solarstrom von 10 kW auf 30 kW erhöht. Seit Anfang 2021 ist daher die Installation von PV-Anlagen mit Nennleistungen größer als 10 kW weitaus attraktiver.

Aufgrund der seit Januar 2023 geltenden steuerlichen Erleichterungen für PV-Anlagen bis 30 kW ist zudem absehbar, dass sich der Trend hin zu PV-Anlagengrößen über 10 kW in den kommenden Jahren noch weiter verstärken wird.

Auch die Batteriespeicher werden leistungsfähiger. Während die mittlere Nennleistung der installierten Batteriesysteme im Jahr 2019 noch bei rund 4,1 kW lag, betrug sie im Jahr 2022 bereits 5,3 kW.

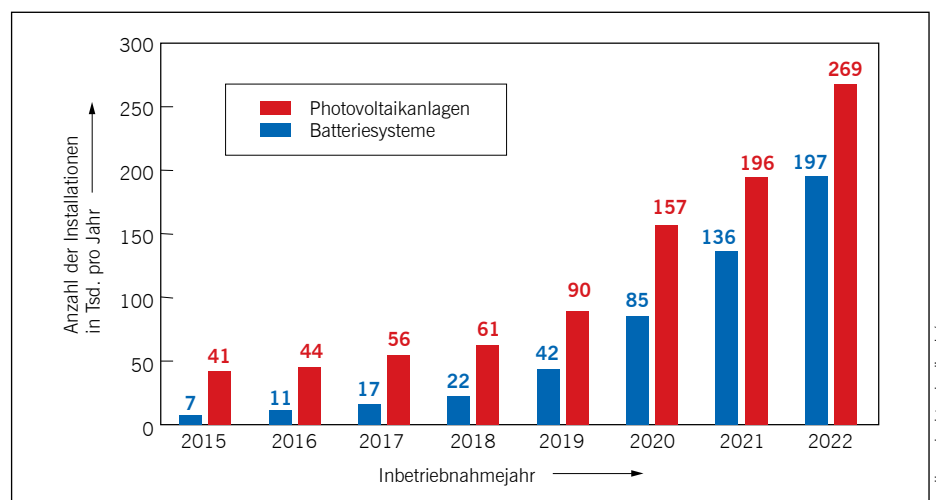
Dies geht mit der Zunahme der nutzbaren Speicherkapazität der installierten Batteriespeicher einher. Im Jahr 2022 lag diese durchschnittlich bei 8,4 kWh. Drei Jahre zuvor waren es noch 7,9 kWh. Neben dem

Autoren

M. Sc. Nico Orth ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Forschungsgruppe Solarspeichersysteme um Prof. Volker Quaschnig an der Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW Berlin. In dem Forschungsprojekt Perform analysiert und vergleicht er die Energieeffizienz von PV-Speichersystemen.

Dr.-Ing. Johannes Weniger initiierte die jährlich erscheinende Stromspeicher-Inspektion im Jahr 2018. Er hat zudem zum Thema der Bewertung der Energieeffizienz von netzgekoppelten Photovoltaik-Batteriespeichersystemen promoviert.

Lucas Meissner ist Masterand an der HTW Berlin und arbeitet parallel in der Forschungsgruppe Solarspeichersysteme.



1 Anzahl der in deutschen Privathaushalten jährlich installierten PV-Anlagen und Speichersysteme (Angabe in Tausend, Daten: Marktstammdatenregister)

Wunsch nach mehr Unabhängigkeit ist dies zum einen auf größere Batteriemodule zu rückzuführen.

Zum anderen werden zunehmend größere Batteriezellen verbaut, die geringere Batteriespannungen je kWh Speicherkapazität zur Folge haben.

Um die von den Wechselrichtern vorgegebene minimale Eingangsspannung zu erreichen, sind Batteriespeicher mit höheren Speicherkapazitäten erforderlich [1]. Das Verhältnis aus nominaler Batterieleistung und nutzbarer Speicherkapazität lag im Jahr 2022 im Mittel bei 0,6 kW/kWh.

Hybridwechselrichter und Lithium-Eisen-Phosphat im Trend

Mit der zunehmenden Verbreitung von sogenannten Hybridwechselrichtern zeichnet sich bei den PV-Speichersystemen ein weiterer Trend ab. Hybridwechselrichter koppeln die PV-Anlage DC-seitig mit dem Batteriespeicher. Die leistungselektronischen Komponenten zur Verknüpfung des Batteriespeichers und der PV-Anlage sind im Gegensatz zu AC-gekoppelten Systemen somit in einem Gerät vereint.

Im Zeitraum zwischen 2015 und 2019 wurden noch überwiegend AC-gekoppelte Systeme in Deutschland verkauft. Seit 2020 ist der Marktanteil der Hybridwechselrichter und damit der DC-gekoppelten Systemlösungen jedoch stark gestiegen. Im Jahr 2022 wurden bereits Dreiviertel aller neu installierten PV-Speichersysteme mit einer DC-Anbindung des Batteriespeichers realisiert.

Ein ebenso deutlicher Marktwandel hat sich in den letzten Jahren in Bezug auf das verwendete Aktivmaterial auf der Kathodenseite der Lithium-Ionen-Batteriespeicher vollzogen. Zwei Drittel der Lithium-Ionen-Batteriesysteme, die im Jahr 2022 in Deutschland verkauft wurden, beinhalten Lithium-Eisen-Phosphat (LFP)-Batteriezellen.

Batteriesysteme, deren Kathoden auf Lithium-Nickel-Kobalt-Aluminium-Oxiden (NCA) basieren, gewannen ebenfalls an Bedeutung: Während NCA-Batterien im Jahr 2018 lediglich einen Marktanteil von 13 % vorweisen konnten, waren es im vergangenen Jahr bereits 20 %.

Stromspeicher-Inspektion: Der renommierte Speichervergleich

Mittlerweile bieten in Deutschland über 60 Hersteller Speichersysteme oder einzelne Komponenten zur Speicherung von Solarstrom an. Den Heimspeichermarkt zu über-

schauen und qualitativ hochwertige Produkte mit akzeptablen Lieferzeiten zu finden, stellt sowohl Interessierte als auch Installationsbetriebe vor Herausforderungen.

Mit dem Ziel, die Vergleichbarkeit der erhältlichen Solarstromspeicher weiter zu verbessern, lädt die HTW Berlin seit 2018 im Rahmen der Stromspeicher-Inspektion jährlich alle in Deutschland aktiven Speicherhersteller zur Teilnahme an der Studie ein.

Wie Bild 2 zeigt, beauftragen die Hersteller unabhängige Prüfinstitute mit den Tests ihrer Produkte gemäß den Vorgaben des Effizienzleitfadens für PV-Speichersysteme [2]. Welche Geräte in der Stromspeicher-Inspektion antreten, liegt somit allein in der Hand der teilnehmenden Hersteller.

Im Anschluss prüft die Forschungsgruppe Solarspeichersysteme die Labormessergebnisse auf Plausibilität, vergleicht die Testergebnisse und bewertet die Energieeffizienz der vermessenen Geräte.

Insgesamt 25 Hersteller beteiligten sich seit 2018 mit 71 untersuchten Systemkonfigurationen an dem Speichervergleich. Im Rahmen der diesjährigen Stromspeicher-Inspektion

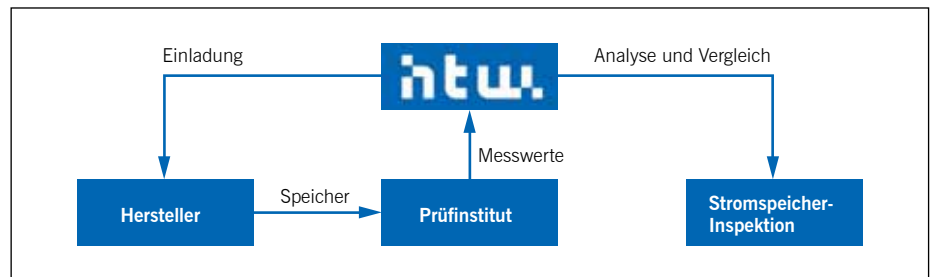
wurden 18 Systeme von 11 Herstellern miteinander verglichen.

Für mehr Transparenz im Markt wäre es erfreulich, wenn zukünftig alle Hersteller ihre Karten offenlegen würden. Die nächste Chance bietet sich mit der Stromspeicher-Inspektion im Frühjahr 2024.

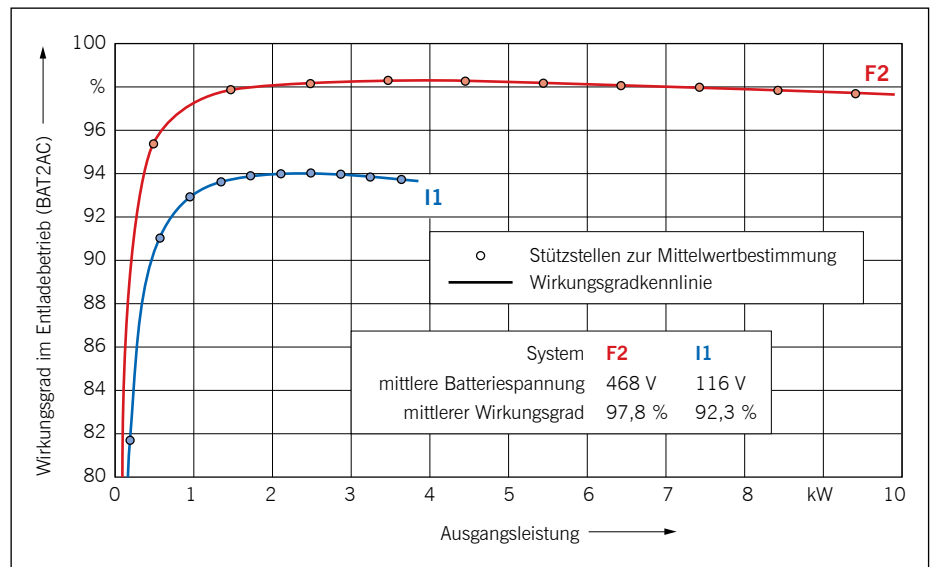
Auf die Spannung kommt es an

Hauptverantwortlich für die Gesamtverluste der PV-Speichersysteme sind die im Batteriespeicher und in den leistungselektronischen Systemkomponenten anfallenden Umwandlungsverluste. Bei der Auswahl eines Speichersystems sollte deswegen ein besonderer Fokus auf der Umwandlungseffizienz liegen.

Auf ein aussagekräftiges Datenblatt gehören daher zu allen Energiewandlungspfaden (PV-Einspeisung, PV-Batterieladung, AC-Batterieladung, AC-Batterieentladung) die leistungsabhängigen Wirkungsgrade in einer Tabelle oder in Form von Wirkungsgradkennlinien [3]. Umwandlungswirkungsgrade größer als 95 % im Teillastbereich bei einer Leistung von



2 Vorgehensweise zum Vergleich der Speichersysteme im Rahmen der Stromspeicher-Inspektion



3 BAT2AC-Wirkungsgradkennlinien sowie Stützstellen zur Bestimmung des mittleren Umwandlungswirkungsgrads der DC-gekoppelten Systeme F2 und I1 der Stromspeicher-Inspektion 2023

1 000 W sind ein Indiz für einen sehr effizienten Wechselrichter. Mit den sogenannten mittleren Pfadwirkungsgraden wird darüber hinaus der Ansatz verfolgt, die Wirkungsgrade für jeden Energieumwandlungspfad in einem Wert zusammenzufassen [2].

Sie entsprechen dem arithmetischen Mittel der Wirkungsgrade, die an zehn äquidistant verteilten Stützstellen zwischen 5 % und 95 % der nominalen Ausgangsleistung resultieren.

Bei hocheffizienten Geräten liegen die mittleren Pfadwirkungsgrade in der Regel über 96 %. Bild 3 stellt beispielhaft die Wirkungsgradkennlinien sowie die Stützstellen zur Bestimmung der mittleren Pfadwirkungsgrade für die AC-Batterieentladung (BAT2AC) der zwei Hochvoltsysteme F2 und I1 dar.

Das System von RCT Power (F2) kann im Vergleich zu dem anonym teilnehmenden Produkt I1 über den gesamten Leistungsbe-

reich einen um mehr als vier Prozentpunkte höheren BAT2AC-Umwandlungswirkungsgrad vorweisen. Dies ist insbesondere auf die unterschiedliche Batteriespannung zurückzuführen. Durch höhere Batteriespannungen sind meist auch höhere Wechselrichterwirkungsgrade möglich [4, 5]. Der mittlere Pfadwirkungsgrad des Systems F2 übertrifft den von I1 daher um insgesamt 5,5 Prozentpunkte.

Der große Wirkungsgradunterschied hat allerdings noch eine weitere Ursache. Mit steigender nominaler Entladeleistung verschieben sich die zehn Stützstellen hin zu höheren Leistungen. Daraus resultieren insbesondere an den Stützstellen im unteren Leistungsbereich deutlich bessere Wirkungsgrade.

Bei der Interpretation der mittleren Pfadwirkungsgrade gilt es somit zu beachten, dass die Umwandlungswirkungsgrade nicht nur von der Batteriespannung, sondern auch von

der nominalen Leistung des jeweiligen Systems beeinflusst werden.

Zudem können etwaige unetstetige Verläufe der Wirkungsgradkennlinien aufgrund der stützstellenbasierten Bestimmung nicht exakt abgebildet werden [6].

Festzuhalten bleibt: Um geringe Umwandlungsverluste durch kleine Spannungsunterschiede im System zu erzielen, sind Hybridwechselrichter insbesondere in Kombination mit sogenannten Hochvolt-Batterien vorteilhaft.

Den Stand-by-Verbrauch im Blick behalten

Neben den Verlusten bei der Energieumwandlung führt die Leistungsaufnahme im Bereitschaftsbetrieb zu weiteren Effizienzeinbußen der Speichersysteme.

Der Leistungsbezug während des Stand-by-Modus wird entweder AC- oder DC-seitig bereitgestellt. Dabei wird primär zwischen dem Stand-by-Verbrauch im vollgeladenen und entladenen Zustand unterschieden. Bei einigen Systemen müssen zudem sogenannte Peripheriekomponenten, wie zum Beispiel der Leistungssensor am Netzanschlusspunkt, dauerhaft versorgt werden.

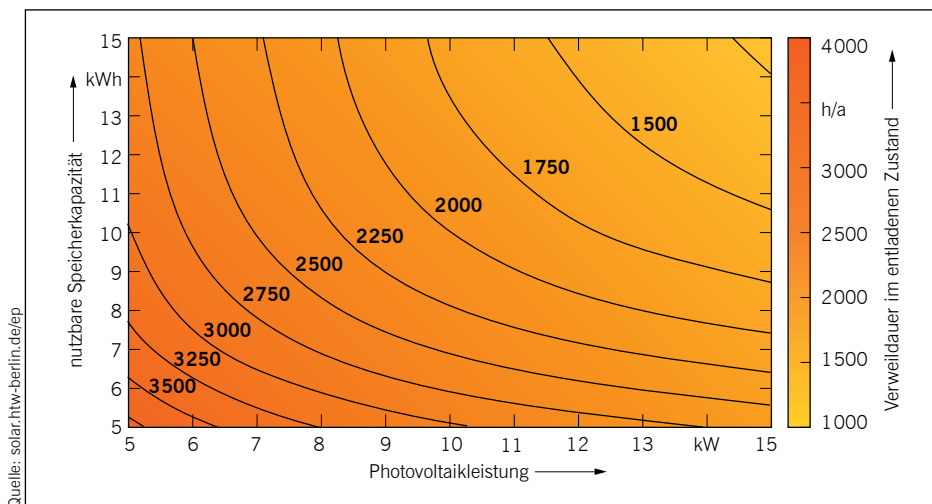
Die Höhe der Bereitschaftsverluste resultiert aus dem Leistungsbedarf sowie aus der Verweildauer der Batterie im entsprechenden Systemzustand. Wie Bild 4 zeigt, sind die Batteriespeicher je nach Systemdimensionierung üblicherweise 1 250 h/a bis 3 500 h/a vollständig entladen.

Je kleiner PV-Anlage und Batteriespeicher sind, desto länger verweilt der Batteriespeicher im entladenen Zustand.

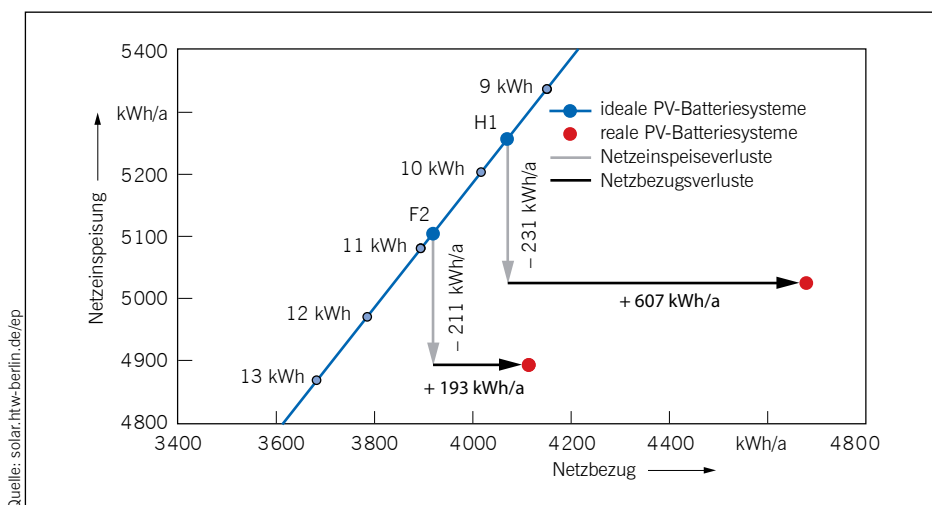
Ein Beispiel: Ein 10-kWh-Batteriespeicher in einem Wohngebäude mit einer 10-kW-PV-Anlage und einem Stromverbrauch von 5 010 kWh/a ist jährlich etwa 2 000 h vollständig entladen. Beträgt die Leistungsaufnahme dieses Systems im entladenen Zustand 50 W, bezieht das System pro Jahr 100 kWh aus dem Netz oder der Energieinhalt der Batterie wird um den gleichen Betrag reduziert.

Mit einem Systemverbrauch von lediglich 2 W kann ein System von Varta (A1) die geringste Leistungsaufnahme im Stand-by-Betrieb vorweisen. Dagegen bezieht das anonym teilnehmende System H1 insgesamt 51 W. Im Durchschnitt beträgt die Stand-by-Leistungsaufnahme der untersuchten Systeme im entladenen Zustand 19 W.

Im Vergleich dazu: Je nach Systemdimensionierung verweilt der vollgeladene Batteriespeicher nur rund 1 000 h/a bis 2 000 h/a



4 Einfluss der Dimensionierung des PV-Batteriesystems auf die Verweildauer bei entlademem Batteriespeicher (Stromverbrauch: 5010 kWh/a)



5 Reduktion der Netzeinspeisung und Anstieg des Netzbezugs aufgrund der Systemverluste der PV-Batteriesysteme F2 und H1 (Rahmenbedingungen der Simulationsanalyse: PV-Nennleistung: 10 kW, Stromverbrauch: 9364 kWh/a)

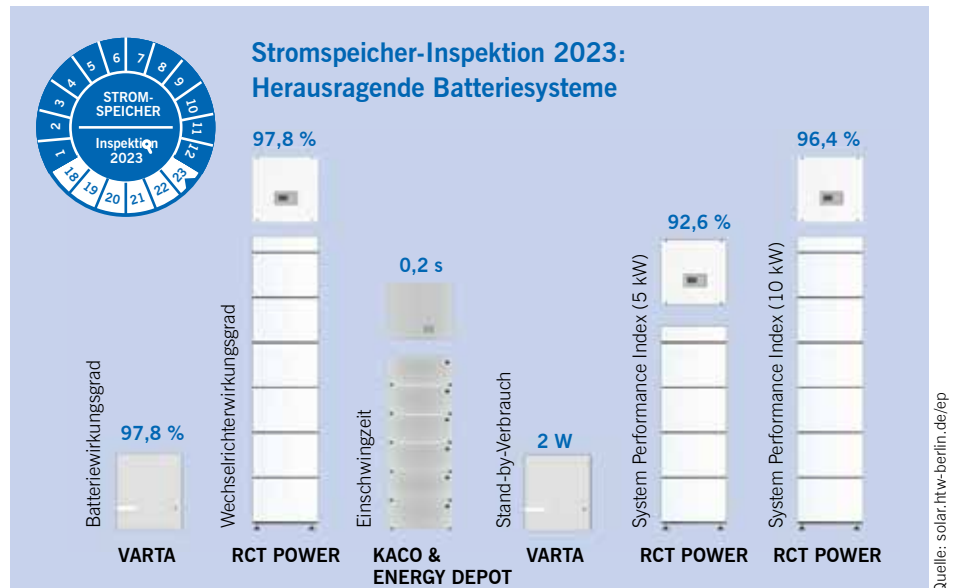
im Stand-by-Modus. Der Mittelwert der Leistungsaufnahme bei vollgeladenem Batteriespeicher ist mit einem Wert von 4 W etwa um den Faktor 5 geringer.

Systemverluste beeinflussen Netzeinspeisung und Netzbezug

Zusätzlich zu den Umwandlungs- und Bereitschaftsverlusten treten zum einen noch Dimensionierungsverluste aufgrund der Leistungsbeschränkung einzelner Systemkomponenten auf. Zum anderen kommt es in der Praxis durch regelungstechnische Einstellungen und eine begrenzte Messgenauigkeit zu dynamischen und stationären Abweichungen zwischen der geforderten und der bereitgestellten AC-seitigen Batterieleistung.

Bild 5 veranschaulicht die Auswirkungen der Effizienzverluste auf die jährlich in das Netz eingespeiste sowie jährlich aus dem Netz bezogene Energie. Die abgebildete grüne Gerade stellt die Simulationsergebnisse verlustfreier PV-Speichersysteme bei unterschiedlichen Speicherkapazitäten dar. Je größer der Batteriespeicher ist, desto mehr PV-Energie wird gespeichert. Folglich wird mit steigender Speicherkapazität weniger Energie in das Netz eingespeist und weniger Energie aus dem Netz bezogen. Aufgrund der um 1,4 kWh höheren Speicherkapazität des Systems F2 liegen daher beide Energiesummen unter verlustfreien Bedingungen unter den Werten des Systems H1.

Die Systemverluste reduzieren die Netzeinspeisung der realen PV-Batteriesysteme. Die Umwandlungsverluste des Systems H1 beispielsweise verringern dessen Netzeinspeisung um 420 kWh/a. Dagegen führen die hohen stationären Regelabweichungen im Entladebetrieb dazu, dass System H1 220 kWh/a zusätzlich in das Netz einspeist. Die Folge: Diese un-



6 Gleich mehrere Geräte erzielten in den verschiedenen Effizienz kategorien der Stromspeicher-Inspektion 2023 neue Bestwerte

erwünschte Entladung des Batteriespeichers in das Stromnetz reduziert die zur Verfügung stehende Energie zur Deckung des Haushaltstromverbrauchs. In der Bilanz verringern alle berücksichtigten Verluste die Netzeinspeisung um 231 kWh/a. Die Einspeiseverluste des Systems F2 liegen mit 211 kWh/a in einer ähnlichen Größenordnung.

Während die Effizienzverluste eines PV-Speichersystems die Netzeinspeisung reduzieren, steigern sie dagegen den Energiebezug aus dem Stromnetz.

Bei System H1 sind die Umwandlungsverluste mit 244 kWh/a und die Regelungsverluste mit 233 kWh/a hauptverantwortlich für die deutliche Zunahme des Netzbezugs. Hinzu kommen weitere 119 kWh/a, die aufgrund der hohen Bereitschaftsverluste zusätzlich aus dem Netz bezogen werden.

Mit insgesamt 607 kWh/a sind die Netzbezugsverluste des Systems H1 mehr als dreimal so hoch wie bei dem deutlich effizienteren System F2.

Zusammengefasst: Die Systemverluste eines PV-Speichersystems reduzieren die Netzeinspeisung und erhöhen den Netzbezug. Dies hat ökonomische Folgen.

Die Bewertungsgröße: Der System Performance Index

Der System Performance Index (SPI) verfolgt den Ansatz, die Auswirkungen der Effizienzverluste auf die Energieflüsse am Netzananschlusspunkt zu bewerten.

Die an der HTW Berlin entwickelte Effizienz-kennzahl ermöglicht den Vergleich verschiede-

nerer Systemtopologien und umgeht Schwächen anderer Kennzahlen, wie beispielsweise des Autarkiegrads oder des Systemnutzungsgrads [7].

Der SPI vergleicht das Betriebsverhalten eines realen PV-Speichersystems mit den theoretisch erzielbaren Betriebsergebnissen eines baugleichen, aber verlustfreien PV-Speichersystems. Die Bewertungsmethodik zur Bestimmung der Gesamtsystemeffizienz ist daher mit der sogenannten Performance Ratio (PR) eines PV-Systems vergleichbar.

In der Praxis werden zum Teil sehr unterschiedlich dimensionierte PV-Speichersysteme installiert. Um dieser Entwicklung gerecht zu werden, wurden mit der Stromspeicher-Inspektion 2020 zwei unabhängige Referenzfälle zur Effizienzbewertung mit dem SPI eingeführt [4].

Diese unterscheiden sich zum einen in der Dimensionierung der PV-Anlage (5 kW und 10 kW). Zum anderen variiert die Höhe und Zusammensetzung des Gesamtstrombedarfs: 5 010 kWh/a und 9 362 kWh/a. Die Größe der PV-Anlage ist ausschlaggebend für die Bezeichnung der Effizienzkennzahlen SPI (5 kW) und SPI (10 kW).

Wichtig zu beachten: Aufgrund der unterschiedlichen Rahmenbedingungen der beiden Kenngrößen ist ein Vergleich der beiden Kennzahlen nicht zulässig.

Herausragende Batteriesysteme

In der höheren Leistungsklasse setzte sich ein DC-gekoppeltes Speichersystem von RCT Power mit einem SPI (10 kW) von 96,4 %

ep TIPP

Die ausführlichen Testergebnisse der Stromspeicher-Inspektion 2023 stehen kostenfrei bereit unter <https://solar.htw-berlin.de/inspektion>

Wer die wichtigsten Effizienzigenschaften von PV-Speichersystemen unterschiedlicher Hersteller individuell miteinander vergleichen möchte, kann die neue Web-Anwendung Stromspeicher-Inspektor nutzen:

<https://solar.htw-berlin.de/inspektor/>

durch, siehe Bild 6. Die Hybridwechselrichter von Kaco und Fronius erzielten in Kombination mit den Batteriespeichern von Energy Depot und BYD ebenfalls einen hervorragenden SPI (10 kW). Hier entschied die zweite Nachkommastelle über die Platzierung auf den Plätzen 2 bis 4. In der 5-kW-Leistungsklasse setzte sich ebenfalls RCT Power durch, vor Fronius und Kostal.

Auffällig: Bei allen Geräten auf dem Siegereppchen handelt es sich um Hybridwechselrichter in Kombination mit Hochvolt-Batterien.

Grundlage für die sehr gute Bewertung der Effizienztestsieger sind hervorragende Werte in unterschiedlichen Effizienz kategorien. Ein System von Varta überzeugt mit einem hohen Batteriewirkungsgrad von 97,8 % und einem Stand-by-Verbrauch von lediglich 2 W. Bei einem deutlich weniger effizienten Mitbewerber weichen die Werte mit 92,9 % und 51 W stark ab.

RCT Power punktet mit einem exzellenten Wechselrichterwirkungsgrad im Entladebetrieb von 97,8 %. Der neue Bestwert ist unter anderem auf die Optimierung der Zwischenkreisregelung und die Verwendung von effizienten Siliziumkarbid-Leistungshalbleitern zurückzuführen.

Mit einer Einschwingzeit von unter 200 ms stellte der Hybridwechselrichter von Kaco ebenfalls einen neuen Rekord auf. Bei diesem Gerät ist die Reaktion und Anpassung auf einen neuen Leistungswert bereits beendet, bevor 14 der anderen 17 untersuchten Systeme überhaupt auf eine Änderung der Leistung reagieren.

Dem Geldbeutel und der Umwelt zuliebe

Aus ökonomischer Sicht sollte ein PV-Speichersystem möglichst wenig Verluste haben. Das macht auch der Vergleich zweier Speichersysteme sehr unterschiedlicher Effizienz in der Studie deutlich: Wer auf ein hocheffizientes PV-Speichersystem setzt, kann innerhalb der ersten zehn Betriebsjahre bis zu 1 700 € zusätzlich einsparen. Darüber hinaus ist die effiziente Stromspeicherung auch aus ökologischen Gesichtspunkten anzustreben, da dies die vermiedenen CO₂-Emissionen positiv beeinflusst [8].

Zusammenfassung

PV-Anlagen in Kombination mit Speichersystemen haben sich im Eigenheimbereich in den vergangenen Jahren vom Nischenprodukt zur Standardlösung entwickelt. Installiert wer-

den dabei vornehmlich Hybridwechselrichter in Kombination mit Lithium-Eisen-Phosphat-Batterien.

Wer bei der Auswahl eines PV-Speichersystems auf die Energieeffizienz achten möchte, erhält in dem renommierten Speichervergleich „Stromspeicher-Inspektion“ einen Überblick über die effizientesten Geräte. Warum das wichtig ist: Hohe Verluste von PV-Speichersystemen können die Netzeinspeisung entscheidend reduzieren und gleichzeitig den Netzbezug deutlich erhöhen. Eine gute Umwandlungseffizienz lässt sich an hohen Batteriewirkungsgraden sowie hohen Umwandlungswirkungsgrade im Teillastbetrieb von über 95 % erkennen.

Wer zudem auf eine geringe Leistungsaufnahme im Stand-by-Betrieb und auf eine geringe Einschwingzeit achtet, spart nicht nur mehr Geld, sondern reduziert auch seinen ökologischen Fußabdruck.

Danksagung

Die Stromspeicher-Inspektion 2023 wurde im Projekt „Perform“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Literatur

- [1] Weniger, J., Orth, N., Lawaczek, I., Meissner, L., Quaschnig, V.: Stromspeicher-Inspektion 2021. Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Berlin (2021).
- [2] BVES - Bundesverband Energiespeicher e. V., BSW – Bundesverband Solarwirtschaft e. V.: Effizienzleitfaden für PV-Speichersysteme 2.0., Berlin (2019).
- [3] Orth, N., Weniger, J., Meissner, L., Lawaczek, I., Quaschnig, V.: Stromspeicher-Inspektion 2022. Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Berlin (2022).
- [4] Weniger, J., Maier, S., Orth, N., Quaschnig, V.: Stromspeicher-Inspektion 2020. Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Berlin (2020).
- [5] Kulkarni, S.S., Büchle, F., Munzke, N., Heckmann, W., Giesen, N., Messner, C.: Effizienzleitfaden für PV-Speichersysteme - Wiederholbarkeit und Einfluss von Mess- und Auswerteparametern. (2022). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30164.27526>
- [6] Weniger, J.: Bewertung der Energieeffizienz von netzgekoppelten Photovoltaik-Batteriesystemen in Wohngebäuden. Diss. TU Berlin (2019).
- [7] Weniger, J., Tjaden, T., Quaschnig, V.: Vergleich verschiedener Kennzahlen zur Bewertung der energetischen Performance von PV-Batteriesystemen. In: 32. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein (2017).
- [8] Fares, R.L., Webber, M.E.: The impacts of storing solar energy in the home to reduce reliance on the utility. *Nature Energy*. 2, (2017). <https://doi.org/10.1038/nenergy.2017.1>

EMOBILITY EINFACH GEMACHT!

**LADELÖSUNGEN MASSGESCHNEIDERT
FÜR INDUSTRIE UND GEWERBE!**

MENNEKES
ativo



Wer Mitarbeitern oder Kunden Lademöglichkeiten für ihre Elektroautos anbietet, punktet mit einem grünen Image und profitiert auch wirtschaftlich. Mit unserer modernen Ladesäule AMEDIO® und der Wallbox AMTRON® Professional gelingt der Einstieg in die Elektromobilität spielend einfach – optional mit komfortabler Abrechnung über MENNEKES ativo.

Finden Sie Ihre ideale Lösung unter www.MENNEKES.de/emobility

MENNEKES
MY POWER CONNECTION