

Effizienz von Batteriespeichersystemen

In Angeboten zu PV-Anlagen wird stets auf hohe Eigenverbrauchsdaten und hohe Autarkieraten Wert gelegt. Die Werte beruhen jedoch meist auf theoretischen, in der Praxis stark abweichenden Annahmen.

Nachfolgend dargelegte Erläuterungen und Berechnungen zu Verlusten, Einzel- /Gesamt-Wirkungsgraden, Eigenverbrauch und anderen Themen sollen die Angebotsbewertung erleichtern.

Sinnhaftigkeit von dynamischen Stromtarifen zur Aufladung von Speichern wird ebenfalls bewertet.

1. Was sind Wandlungsverluste?

Wenn Sonnenlicht auf Solarzellen einer PV-Anlage trifft, fließt Strom und dessen Elektronen müssen auf Ihrem Weg vom Dach zum Stromspeicher zahlreiche Hindernisse wie Leitungen, elektrische Bauteile (z.B. Wechselrichter) und am Ende die Batterien des Speichersystems überwinden.

An jedem einzelnen Hindernis geben sie dabei einen kleinen Teil ihrer zuvor erzeugten Energie wieder ab, es entstehen Umwandlungsverluste, die vom Verbraucher nicht mehr genutzt werden können. Dieser Teil der elektrischen Energie wird dabei in Wärmeenergie umgewandelt.

2. Was ist ein Wirkungsgrad?

Wie viel elektrische Energie von der Quelle bis zum Ziel in Wärme umgewandelt wird, zeigt der Wirkungsgrad. Liegt er bei 80 Prozent, kommen 80 Prozent der ursprünglich erzeugten elektrischen Energie am Ziel (z.B. am Haushaltsgerät, in der Wärmepumpe, im E-Auto) an, 20 Prozent ist die sogenannte Verlustleistung.

3. Welche Rolle spielt der Wirkungsgrad

Physikalisch gesehen, kann es keinen Wirkungsgrad von 100 Prozent geben, kleinste Umwandlungsverluste treten immer auf. Das Ziel von Effizienzsteigerungen technischer Geräte ist es daher, einen möglichst hohen Wirkungsgrad zu erreichen und die vermeidbaren Verluste – soweit es geht – zu minimieren. Photovoltaik-Wechselrichter, welche den Gleichstrom der Solarmodule in Wechselstrom umwandeln, erreichen heute zum Beispiel Wirkungsgrade zwischen 96 und 98 Prozent.

Aber auch Sicherheit oder die Verfügbarkeit und nicht zuletzt die Kosten spielen eine Rolle. Es gibt also zahlreiche Faktoren, die sich gegenseitig beeinflussen. Ähnlich wie der Verbrauch eines Autos pro 100 km eine wichtige Kenngröße ist, aber keine umfassende Aussage über die Qualität des Autos zulässt.

Ein sehr hoher Wirkungsgrad kann zum Beispiel zu deutlich höheren Kosten führen, weil die verwendeten Bauelemente oder eine präzise Fertigung qualitativ hochwertig und sehr teuer oder knapp sind. Hier wägt jeder Hersteller ab, welchen Weg er gehen will. Das gilt auch für Batteriespeicher, die sich daher in ihrem Wirkungsgrad unterscheiden. Ein neutraler Vergleich zwischen verschiedenen Herstellern ist durch unterschiedliche Berechnungsgrundlagen bei den Angaben in Datenblättern schwierig.

Wichtiger Hinweis: Die Zusammenfassung wurde nach bestem Wissen erstellt. Das Bürgernetzwerk übernimmt keine Haftung für den Inhalt oder die Richtigkeit der darin getroffenen Aussagen.

4. Welchen Wirkungsgrad soll man vergleichen?

Für ein Batteriespeichersystem kann der Wert der Gesamtentladung durch den Wert der Gesamtladung geteilt werden, um den Gesamtwirkungsgrad zu ermitteln. Wichtig ist es, hier unbedingt den Jahreswert zu nehmen, da sich ausschließlich durch die Betrachtung eines ganzen Jahres ein vollständiges Bild ergibt. Erst dann sind Jahreszeiteffekte, verschiedene Nutzungsprofile und damit einhergehende niedrige Teillast-Wirkungsgrade ausgeglichen. In der Praxis variieren diese Werte von Haushalt zu Haushalt.

Als beispielhaften Anwendungsfall gehen wir nachfolgend von einem **Gesamtwirkungsgrad zwischen 75 und 80 Prozent** aus, der recht häufig auftritt. Dabei handelt es sich um den **realen Wert für das gesamte Batteriespeichersystem** und nicht um Bestwerte oder um die Werte einzelner Komponenten.

Daten und Angaben in technischen Datenblättern eines Geräts, sind dagegen immer im optimalen Arbeitspunkt gemessen, der in der Praxis nur sehr selten eintritt.

Wie berechnet man Umwandlungsverluste und was hat dabei den größten Einfluss auf den Gesamtwirkungsgrad eines Batteriespeichersystems?

Die 3 wichtigsten Faktoren im Überblick

Der Wirkungsgrad eines typischen Batteriespeichersystems beträgt ca. 75 bis 80 Prozent. Was steckt hinter dieser Verlustleistung von ca. 20 bis 25 Prozent?

5. Der Strom auf seinem Weg durch das Batteriespeichersystem

Der hier genannte Wirkungsgrad beginnt beim Wechselrichter – also da, wo der Wechselstrom des Hausnetzes in Gleichstrom umgewandelt wird. Durch den Wechselrichter geht es dann zu den Batterien selbst, wo die elektrische Energie in chemische Energie umgewandelt wird. Beim Entladen geht es wieder den gleichen Weg zurück. Dabei wird dann chemische Energie in den Batterien wieder in elektrische umgewandelt und die fließt durch den Wechselrichter zu den Verbrauchern in das Hausnetz. Dazu kommen noch Widerstände in den Leitungen von den PV-Modulen auf dem Dach bis zum Wechselrichter und der Batterie, sowie von dort zum Haupt-Schaltschrank mit dem Stromzähler. Der Strom muss also beim Ein- und Ausspeichern gleich zweimal Wechselrichter und Batterie überwinden, an denen sie jedes Mal durch Umwandlungseffekte Energie abgeben.

Folgendes Rechenbeispiel soll dies verdeutlichen:

Angenommen, der Wechselrichter hat für das Be- und Entladen einen Wirkungsgrad von 96 Prozent und die Batterien genauso, dann lautet die Rechnung:

$$\begin{aligned} &0,96 \text{ (Wechselrichter Beladen der Batterie)} \\ &* 0,96 \text{ (Speicherverlust innerhalb der Batterie)} \\ &* 0,96 \text{ (Wechselrichter Entladender Batterie)} \\ &= \mathbf{88,5 \% \text{ Gesamtwirkungsgrad}} \end{aligned}$$

Das sind jedoch mehr als die 75 bis 80 Prozent, die wir zuvor als realen Wert genannt haben. Aber woher kommt dieser Unterschied?

6. Batteriespeichersystem unter realen Bedingungen

Neben den Umwandlungsverlusten des Wechselrichters gibt es weitere wesentliche Faktoren, welche die Effektivität beeinflussen. Bei den im Datenblatt angegebenen Werten für den Wirkungsgrad handelt es sich um Bestwerte und nicht um real erzielbare Durchschnittswerte. Solche optimalen Bedingungen werden in der Praxis nur sehr selten erreicht. Die Temperatur oder die Höhe der Leistung spielen hier ebenfalls eine Rolle. Viele Wechselrichter arbeiten am effizientesten, also mit hohen Wirkungsgraden, wenn sie hohe Leistungen erbringen müssen, etwa im Leistungsbereich zwischen 50 und 100 Prozent.

6.1. Beladung:

Bei einer 5kWh-Batterie läge dieser Bereich also zwischen 2,5 kW und 5,0 kW. Allerdings gibt es Zeiten, in denen die Batterie mit weit weniger Leistung beladen wird, weil zum Beispiel der PV-Ertrag im Winter, bei Bewölkung, am Morgen oder Abend niedriger ist. Wird die Batterie z. B. nur mit 600 Watt beladen, liegt dieser Teillast-Wirkungsgrad nur noch bei ca. 93 Prozent und niedriger – die Verluste (hier 7%) wären in diesem Fall also bereits fast doppelt so hoch als im Nennleistungsbereich (3-4%).

6.2. Entladung:

Auch beim Verbrauch sind nicht immer hohe Leistungen nötig, gerade in der Nacht oder während Abwesenheitszeiten (Beruf, Urlaub, Hobby, etc.) sind Leistungen von 200-300 Watt (für Kühlschrank, Tiefkühlschrank und ein paar Stand-By-Geräte) durchaus üblich. Bei so kleinen Leistungen ist dann auch der Wirkungsgrad niedrig und die Verluste im Verhältnis zum Verbrauch recht hoch.

Berücksichtigt man den nicht immer optimalen (aber durchaus realen) Bereich mit kleinen Leistungen, könnte unsere Rechnung dann in etwa so aussehen:

0,93 (Wechselrichter Beladen der Batterie) Teillastbereich
* 0,96 (Speicherverluste innerhalb der Batterie)
* **0,93** (Wechselrichter Entladen der Batterie) Teillastbereich
= 83 % Gesamtwirkungsgrad

6.3. Der Eigenverbrauch

Einen kleinen Schritt sind wir immer noch von den üblicherweise erzielbaren 75% bis 80 % entfernt. Denn eine Größe fehlt noch in der Betrachtung: Der Eigenverbrauch des Batteriespeichersystems. Denn auch die Batterie selbst benötigt Energie, z.B. um externe Geräte zu steuern, Daten für die App bereitzustellen, für die Beleuchtung oder um sich möglicherweise für ein virtuelles Kraftwerk bereitzuhalten. Das sind üblicherweise zwischen 10W bis 35 Watt (bei „günstigen“ Batterien auch schon mal 50W und mehr). Über ein komplettes Jahr berechnet sich der Eigenverbrauch Batterie dann wie folgt:

Eigenverbrauch = 35W * 24 Stunden * 365 Tage = 307 kWh / Jahr.

Dazu kommt jetzt noch ein weiterer Schritt unserer Rechnung: Angenommen eine PV-Anlage leitet einen Teil von Höhe von ca. 5.000 kWh ihres Gesamtjahresstromertrags in den Batteriespeicher und der Gesamtwirkungsgrad liegt wie oben errechnet bei etwa 83 Prozent. Dann ergeben sich aus den 17% = **850 kWh Umwandlungsverluste**. Dazu kommen dann die **307 kWh Eigenverbrauchsverluste**. Die aus dem Batteriespeicher noch verfügbare Energie beträgt dann abzüglich der Verluste: 5.000 kWh – 850 kWh – 307 kWh = 3.843 kWh. Oder anders ausgedrückt: **Der Gesamtwirkungsgrad des Batteriespeichersystems beträgt jetzt nur noch 77 Prozent.**

6.4. Der Wirkungsgrad ist nicht immer entscheidend

Grundsätzlich ist ein höherer Wirkungsgrad zwar wünschenswert, da unterwegs weniger Energie verloren geht. Aber ganz so einfach ist es nicht. Am folgendem Gedankenspiel kann man erkennen, dass ein höherer Wirkungsgrad nicht zwangsläufig auch mehr verfügbare Energie bedeuten muss:

6.4.1 Beispiel 1 - Wechselrichter mit geringerer Be-/Entladeleistung

Nehmen wir an, der Wechselrichter ist etwas kleiner dimensioniert (hat also eine kleine maximale Be- und Entladeleistung – beispielsweise nur 3,6 kW), damit der Hausverbrauch, der selten hohe Leistungsspitzen hat, möglichst häufig im optimalen Wirkungsgrad verläuft. Der Wechselrichter läuft also häufig mit hoher Last und damit nahe dem optimalen Bereich. Doch im Winter scheint die Sonne oft nur in einem kleinen Zeitfenster von ca. 2 bis 3 Stunden. Der etwas schwächere Wechselrichter schafft es jetzt mit seiner kleinen Leistung und in dem kleinen Sonnen-Zeitfenster nicht mehr, die volle Energie der PV-Anlage (z.B. 5 kW) aufzunehmen und in die Batterie weiterzuleiten. Ein Teil des Solarstroms geht also ins Netz statt in die Batterie.

6.4.2 Beispiel 2 - Wechselrichter mit höherer Be-/Entladeleistung

Wenn der Wechselrichter größer ausfällt (hat also eine große maximale Be- und Entladeleistung – beispielsweise 10 kW), kann er mehr Energie auf einmal in den Speicher befördern und auch die kurzen Sonnenzeiten im Winter besser ausnutzen. Dann wäre das System zwar durch den niedrigen Teillastwirkungsgrad insgesamt weniger effizient, dafür hätte der Haushalt aber schneller einen vollen Stromspeicher.

7. Aufladen des Batteriespeichers und dynamischer Stromtarif

Wie oben bereits dargelegt, muss in einem üblichen Batteriespeichersystem mit 25-30% Verlusten gerechnet werden. In vielen Fällen werden den Kunden von dynamischen Stromtarifanbietern empfohlen, günstigen Strom (z.B. in der Nacht) zu nutzen, um den Batteriespeicher „günstig“ aufzufüllen, um so tagsüber teuren Strombezug zu vermeiden.

Da die gesamten Verluste in üblichen Batteriespeichersystemen aber im Bereich von 25-30% liegen, müsste der dynamisch bezogene Strom über das gesamte Jahr hinweg eine mittlere Preisersparnis von 25-30% einbringen, bevor ein einziger Cent beim Kunden eingespart werden kann.

Von den Anbietern der dynamischen Stromtarife wird aber eine Einsparung abgeschätzt, die im Idealfall genau in der Größenordnung der Batteriespeicherverluste liegen. Eine Nutzung von dynamischen Tarifen zur Batteriebeladung ist also in den wenigsten Fällen wirtschaftlich.

Anders sieht es aus, wenn der Kunde einen großen Strombedarf in den Zeiten von günstigem Strom hat und diesen dann direkt – ohne Zwischeneinlagerung in Batteriespeicher - nutzen kann. Dazu können Smartmeter helfen und den Verbrauch in die richtigen Zeitphasen verschieben. Allerdings sind auch diese Möglichkeiten beschränkt, z.B. wenn ein Haus tagsüber beheizt werden oder Geräte tagsüber betrieben werden **müssen**. Hier ist eine vorherige, sorgfältige Prüfung aller Möglichkeiten auf Basis der vorhandenen Verbraucher notwendig, um nicht in eine Kostenfalle zu laufen. Auch wäre der Batterieverschleiß und die Degradation der Batterieleistung aufgrund der erhöhten Lastzyklenzahl höher – eine Ersatzinvestition früher erforderlich.

8. Fazit

Die Auswahl eines richtig dimensionierten Stromspeichers und Wechselrichters ist keine Frage von richtig oder falsch, sondern welche Prioritäten man für den eigenen Energiehaushalt setzen möchte. Solateure sollten solche Fragen einzuschätzen wissen und die richtige Lösung für die individuellen Bedürfnisse der Kunden finden und erklären können. Diese Art von Problemlösungskompetenz ist in der Praxis aber leider nur selten vorhanden. Anlagenbetreiber müssen u.U. 30 Jahre mit den Mängeln leben.

Dabei muss diese Betrachtung auch im Zusammenspiel mit anderen Kenngrößen wie z. B. Qualität, Wirtschaftlichkeit, Anlagensicherheit, Erfahrung, Langlebigkeit, Servicefreundlichkeit, Erreichbarkeit bei Problemen, Installationsfreundlichkeit oder die „Intelligenz“ zur sinnvollen Nutzung von Überschussstrom, die Verlagerung von Verbrauchern in Zeiten günstiger Stromtarife (flexible oder dynamische), eine große Anwendungsbreite (Steuern von externen Verbrauchern wie Wärmepumpen, Klimageräten, Temperaturerhöhung von Raumtemperaturen und Pufferspeichern, Wallboxen oder eine mögliche zukünftige uneingeschränkte Erweiterbarkeit oder Nachrüstbarkeit der Komponenten zu sehen.

Wie viel und wie schnell der produzierten Solarenergie vom Dach in eine Batterie gelangt und wie viel davon für den täglichen Bedarf zur Verfügung steht, hängt von vielen verschiedenen Faktoren ab. Nicht nur der reale Wirkungsgrad, auch die maximale Leistung des Wechselrichters und die Kapazität des Stromspeichers und deren Eigenverbrauch spielen eine wichtige Rolle. Wie groß dieser Einfluss ist, kann sich von Haushalt zu Haushalt unterscheiden. Technische Datenblätter zeigen dabei (nur) den optimalen Zustand, den die Geräte in der Praxis jedoch nie erreichen.

Daher ist eine Gesamtbetrachtung von PV-Anlagengröße (Peak Leistung), Ertragsleistungsverlauf über den Tag hinweg (Süd- oder Ost-West-Ausrichtung der Module), max. Wechselrichterleistung, Batteriespeicherkapazität und Verbrauchsprofile unumgänglich, um von vornherein ein realistisches Verständnis für die passende Auslegung und Dimensionierung der technischen Ausstattung zu bekommen.

Dynamische Stromtarife können zu Einsparungen führen, falls größere Verbraucher den günstigeren Strom zeitvariabel und direkt nutzen können. Eine reine Zwischenspeicherung in einem Batteriespeicher zur Nutzung des Stroms am Tag ist dagegen wegen der dargelegten hohen Umwandlungsverluste meist nicht wirtschaftlich.