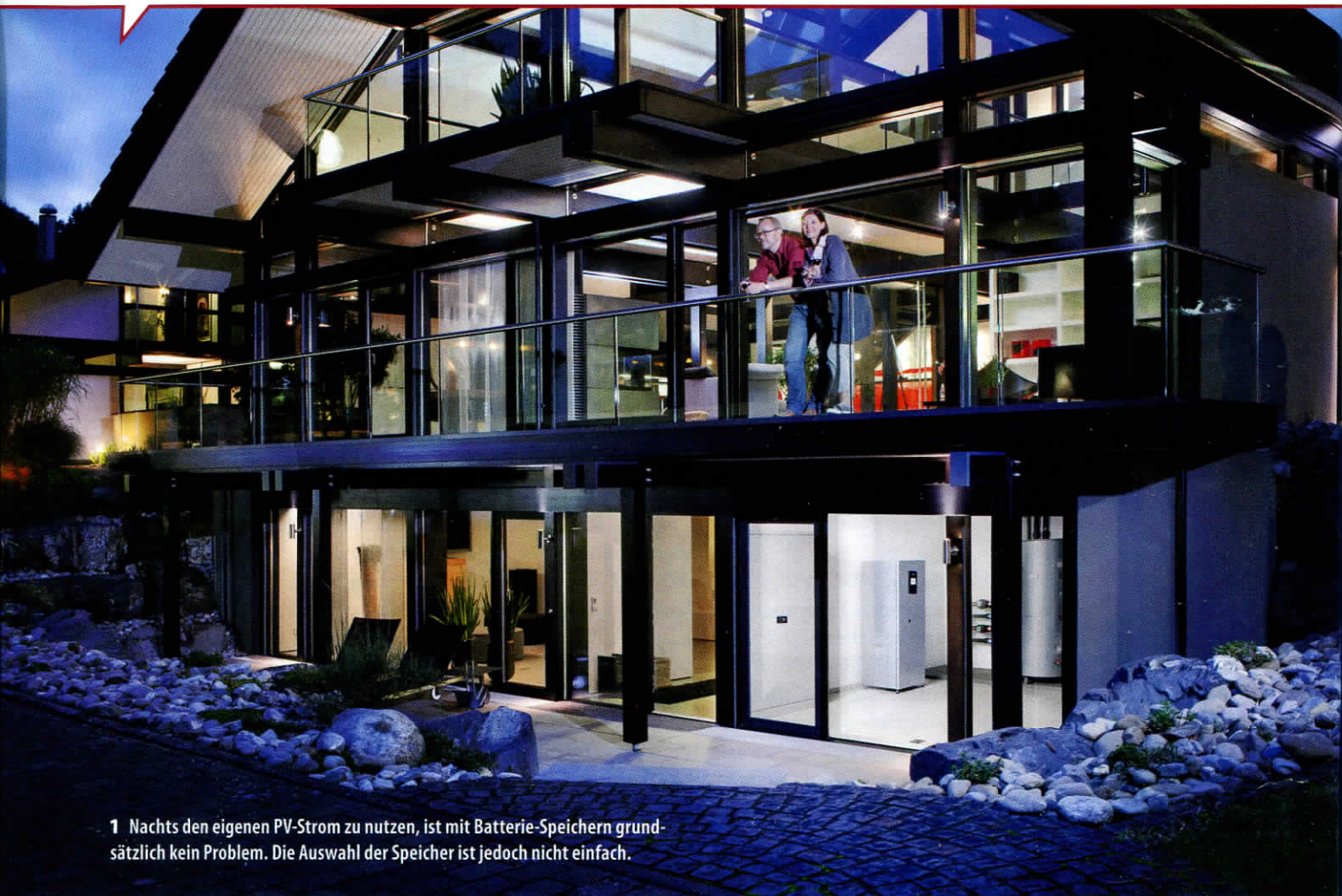




1 Nachts den eigenen PV-Strom zu nutzen, ist mit Batterie-Speichern grundsätzlich kein Problem. Die Auswahl der Speicher ist jedoch nicht einfach.

Solarstrom speichern

BATTERIESYSTEME: GESAMTEFFIZIENZ BETRACHTEN Wer seinen PV- oder BHKW-Strom speichern will, hat derzeit die Wahl zwischen Blei- und Lithium-Ionen-Batterien. Lesen Sie, wo die Unterschiede der Speichersysteme liegen. Dr. Armin U. Schmiegel

□ Während das Lastprofil der meisten Gewerbebetriebe nahezu deckungsgleich der Produktionskurve von Solarstrom entspricht, sind Hausbesitzer in der Regel darauf angewiesen, zusätzliche Maßnahmen zu treffen, um den Eigenverbrauch von Solarstrom zu steigern. Neben Hausautomatisierungstechnologien verzeichnen Solarstromspeichersysteme eine immer stärkere Nachfrage, da hier mit relativ geringem Installationsaufwand hohe Eigenverbrauchsquoten erreicht werden. So können bis zu 80 % des eigenen Stromverbrauchs durch Solarstrom gedeckt werden, ohne dass Hausbesitzer ihr Verhalten einschränken müssen. Die rasant wachsende Zahl der Anbieter und die unterschiedlichen verwendeten Technologien erschweren jedoch eine Orientierung auf dem Speichermarkt. Vier Technologien haben sich aktuell am Markt etabliert: die klassische Bleibatterie, Batterien auf Lithium-Ionen-Basis, Redox-Flow-Systeme und Natrium-Schwefel-Hochtemperaturbatterien. Sowohl Redox-Flow- als auch

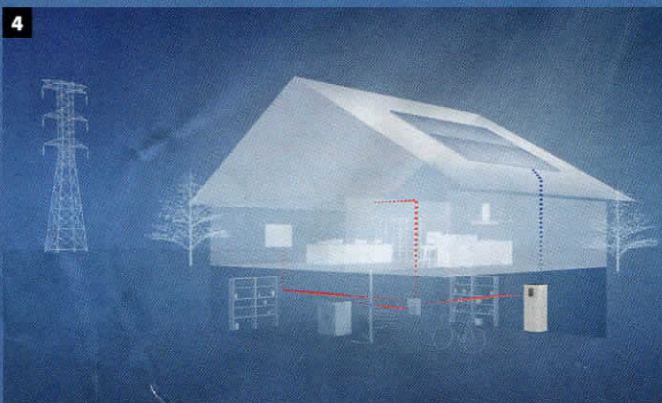
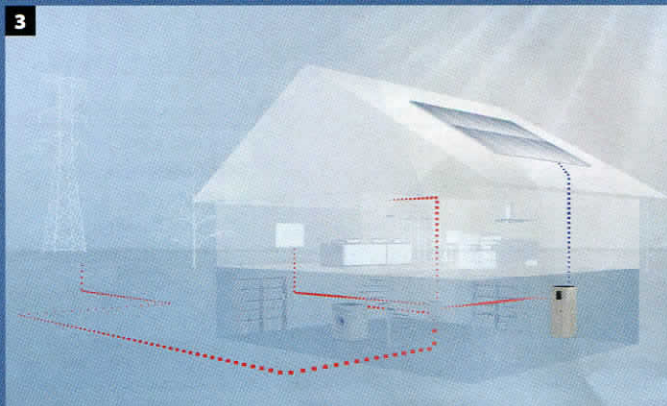
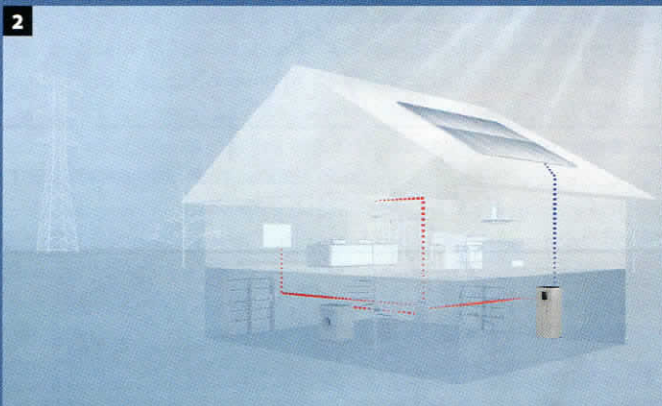
Natrium-Schwefel-Batterien sind im Heimbereich nicht anzutreffen. Sie werden in der Regel für Anwendungen genutzt, in denen größere Leistungen oder Kapazitäten benötigt werden. Zudem haben sie einen hohen Service- und Wartungsaufwand, was sie für die Anwendung im Hausbereich vorerst unattraktiv macht. Im Bereich der Privathäuser werden daher Bleibatterien und Lithium-Ionen-Systeme verwendet.

Kostengünstige Systeme mit Bleibatterien

Bleibatterien zeichnen sich vor allem durch ihren günstigen Anschaffungspreis aus. Es handelt sich hier um eine bewährte Technologie, die im Solarbereich bei Off-Grid-Anwendungen schon lange verwendet wird. Gerade in diesen Bereichen stellen Investitionskosten einen wesentlichen Faktor dar und so haben kostengünstige Off-Grid-Systeme mit Blei-Technologie heute einen bedeutenden Marktanteil. Die Wirkungsgrade dieser Technologie liegen bei 75 bis 85 %. Wandlungsverluste der

Leistung
hängt
mit g
oder
tigt m
Solar
60 bis
der E
Selbst
voll g
zu ein
sind c
Woch

Kalen
Neben
Leben
scheid
Zyklus
den V
prozes
Die Z
grund
lus de
man h
ladepr
stellt e



2 Wenn die Sonne am Vormittag scheint, werden die Stromverbraucher automatisch mit Solarstrom versorgt. Der überschüssige Strom wird in die Speicher eingelagert.

3 Im Idealfall ist der Speicher erst am späteren Nachmittag voll, sodass erst dann ins Netz eingespeist wird, wenn die Produktionsspitzen der PV-Anlagen vorüber sind.

4 Am Abend können Strom verbrauchende Aktivitäten mit eingelagertem PV-Strom aus den Speichern bestritten werden.

Leistungselektronik sind hierbei noch nicht berücksichtigt. Sie hängen sehr von der verwendeten Technologie (traflos oder mit galvanischer Trennung) und der Speichertopologie (AC- oder DC-gekoppelte Anbindung der Batterie) ab. Berücksichtigt man diese Effekte zusätzlich, liegt die Gesamteffizienz von Solarstromspeichersystemen mit Bleibatterien in der Regel bei 60 bis 70 %. Eine weitere wichtige Rolle bei der Berechnung der Effizienz des Gesamtsystems spielt bei Bleibatterien die Selbstentladung: Sie liegt zwischen 5 bis 30 % pro Monat. Eine voll geladene Batterie verliert also innerhalb eines Monats bis zu einem Drittel ihrer gespeicherten Kapazität. Bleibatterien sind daher für die Speicherung von Solarstrom über mehrere Wochen oder Monate ungeeignet.

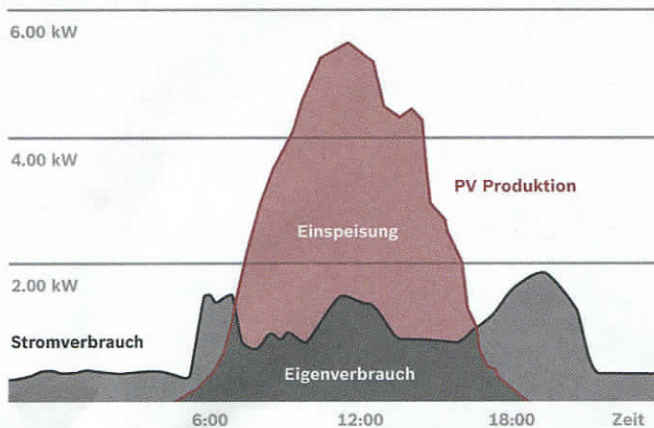
Kalendarische Alterung und Zyklenlebensdauer

Neben der Effizienz und der Selbstentladung ist die erwartete Lebensdauer für die Systemauslegung relevant. Dabei unterscheidet man zwischen der kalendarischen Alterung und der Zyklenlebensdauer. Die kalendarische Lebensdauer beschreibt den Verlust der Kapazität aufgrund von chemischen Zerfallsprozessen. Bei Bleibatterien liegt diese bei fünf bis zehn Jahren. Die Zyklenlebensdauer beschreibt den Kapazitätsverlust aufgrund der Benutzung der Batterie. Dabei beschreibt ein Zyklus den Vorgang des Be- und Entladens. Vereinfachend rechnet man hier in Vollzyklen, d.h. man betrachtet einen Be- und Entladeprozess über einen definierten Anteil der Kapazität. Dies stellt eine gewisse Vereinfachung dar, da kleinere Zyklen oder

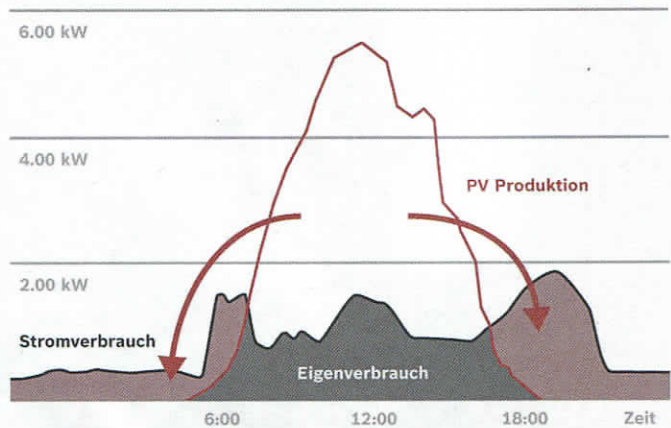
Teilzyklen nicht mitgerechnet werden. Bei Solarstromspeichersystemen und den hier auftretenden üblichen Mikro- und Teilzyklen haben Messungen und Simulationen gezeigt, dass diese Vereinfachung für eine grobe Lebensdauerabschätzung durchaus zulässig ist, da die Teil- und Mikrozyklen eine sehr geringe Entladungstiefe haben. Ausschlaggebend ist die Zyklientiefe, das heißt die Energiemenge, die beim Be- und Entladen tatsächlich mithilfe der Batterie umgesetzt wird. Bleibatterien sind hier besonders empfindlich. Sie altern deutlich schneller, wenn sie tiefer entladen werden.

Die installierte Kapazität von Bleibatterien ist daher in der Regel deutlich höher als die tatsächlich genutzte Kapazität. Sehr häufig liegt das Verhältnis zwischen nutzbarer und installierter Kapazität bei 1:1,5 bis 1:2. Ein Speicher mit 1 kWh nutzbarer Energie muss also um 0,5 bis 1 kWh überdimensioniert werden. Diese zusätzliche Kapazität wird nur in Ausnahmefällen genutzt, z.B. im Fall eines Stromausfalles. Eine Folge dieser Überkapazitäten ist der sehr große Raumbedarf von Bleibatterien. Weiterhin sind zusätzliche Sicherheitsanforderungen für Speichersysteme auf Blei-Basis zu beachten: So ist eine aktive Belüftung vorgeschrieben, die verhindern soll, dass die Wasserstoffgas-Konzentration durch das Ausgasen ein gefährdendes Ausmaß im Raum annimmt. Da Bleibatterien Schwefelsäure enthalten, sind zusätzliche Vorkehrungen zum Schutz des Grundwassers vorzunehmen.

Neben der geringen Zyklenfestigkeit bei hoher Entladungstiefe wird die Lebensdauer von der mittleren Entladungstiefe beeinflusst. Bleibatterien leben darüber hinaus deutlich länger,



5 Ohne Stromspeicher muss die PV-Anlage um die Mittagszeit den Überschuss größtenteils ins Stromnetz einspeisen, was sich negativ auf die Netzstabilität auswirkt.



6 Mit Batteriespeicher werden Überschüsse eingelagert und in Zeiten ohne Sonnenstrahlung genutzt. Das erhöht die Autarkie und schont das Elektrizitätsnetz.

wenn sie stets vollgeladen sind. Ihr Lebensende hat die Bleibatterie erreicht, wenn sie noch 80 % ihrer ursprünglichen Kapazität besitzt. Bei dieser Grenze hat sich nicht nur die Kapazität verringert, sondern der interne Widerstand auch verdoppelt. Diese Erhöhung des Widerstandes führt automatisch auch zu

Sicherheit bei Lithium-Ionen-Systemen

Erst seit zwei Jahren sind Solarstromspeichersysteme mit Batterien auf Lithium-Ionen-Basis am Markt präsent. Daher gibt es, anders als bei Bleibatterie-Systemen oder anderen Haushaltsgeräten, noch keine allgemein anerkannten Sicherheitsstandards. Um dennoch Aussagen über die Sicherheit eines Solarstromsystems zu treffen, behelfen sich die meisten Hersteller damit, dass sie für die einzelnen Komponenten (Batterie, Wechselrichter und Gehäuse) Sicherheitszertifikate vorlegen.

Mittlerweile haben verschiedene Verbände dieses Manko erkannt und arbeiten daran, Sicherheitsstandards zu benennen. Bis es aber so weit ist, sollte man sehr genau prüfen, ob wirklich das gesamte System ein TÜV-Siegel besitzt oder nur der Schrank „nach VDE 0100“. Bosch gehört zu den Herstellern, die über ein Zertifikat verfügen, das die Sicherheit des Gesamtsystems attestiert. In den Tests wird nicht nur die Sicherheit einzelner Komponenten bewertet, sondern auch deren Zusammenspiel im Fall eines Fehlers. So soll sichergestellt werden, dass bei ordnungsgemäßem Gebrauch keine Gefahr für Leib und Leben besteht.

Lithium-Ionen-Technologie

Die kalendarische Alterung der unterschiedlichen Lithium-Ionen-Batterien hängt unter anderem von der Temperaturbelastung der Zellen ab.

- LMO (Lithium-Mangan-Oxid) gilt als temperaturempfindliche Technologie. Be- und Entladeströme sollten gering sein.
- LiFePO (Lithium-Eisen-Phosphat) ist diesbezüglich robuster, allerdings erreichen nur qualitativ hochwertige Zellen eine kalendarische Lebensdauer von 15 bis 20 Jahren.
- NCA (Nickel-Cadmium-Aluminium) wird als verlässlichste Technologie gewertet. Hochwertige Zellen erreichen eine kalendarische Lebensdauer von über 30 Jahren.

einer Verringerung des Wirkungsgrades und zu einer erhöhten Erwärmung der Batterie. Ein Effekt, der sich natürlich verstärkend auf die weitere Alterung der Batterie auswirken kann. Bei Bleibatterien beginnt weiterhin ab 80 % eine sehr schnelle Kapazitätsreduzierung, sodass es nicht mehr sinnvoll ist, die Batterie weiter zu betreiben. Bei Lithium-Ionen-Batterien geht man hier mittlerweile von 70 % aus. Messungen haben gezeigt, dass hier die kritische Schwelle, ab der die Kapazitätsverluste sehr schnell kommen, deutlich später erreicht wird.

Einfluss der Entladungstiefe auf die Lebensdauer

Vor diesem Hintergrund werden Bleibatterien gerne in Anwendungen eingesetzt, in denen sie die meiste Zeit vollgeladen sind. Dies ist bei Starter-Batterien im Automobilbereich oder USV-Anwendungen (unterbrechungsfreie Stromversorgung) der Fall. Diese Batterien sind stets vollgeladen und werden nur selten entladen. Bei Solarstromspeichersystemen verhält es sich leider umgekehrt. Morgens werden die Batterien geladen, um über die Nacht hinweg komplett entladen zu werden. Hier sind bis zu 300 Vollzyklen im Jahr zu erwarten, in denen die komplette nutzbare Kapazität auch entladen wird. Das bedeutet eine hohe Belastung für die Bleibatterie und ihre Lebensdauer.

Da im Winter Solarstromspeichersysteme oftmals komplett entladen sind, müssen Vorkehrungen getroffen werden, um eine Beschädigung der Batterien aufgrund von Tiefentladungen zu vermeiden. Dies wird entweder dadurch realisiert, dass eine Mindestladung von 50 % stets gewährleistet wird oder dass die Batterie komplett geladen wird und das System in einen Winterschlaf-Betrieb wechselt, in dem die Batterie ungenutzt bleibt. Dies hat natürlich Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit, da hier die Batterie nur zu drei Vierteln des Jahres genutzt wird.

Strom speichern mit Lithium-Ionen-Batterien

Lithium-Ionen-Batterien sind deutlich robuster gegenüber tiefen Entladungen. Mittlerweile bieten viele Hersteller Solarstromspeichersysteme mit Lithium-Ionen-Technologie an. Die hohe Speicherdichte und die hohe Zyklenfestigkeit auch bei hoher Entladetiefe (DoD = Depth of Discharge) macht diese Speichertechnologie sehr attraktiv. Grob kann man von einem Faktor 3 gegenüber Blei sprechen, das heißt, dieselbe instal-

lierte Kapazität hat mit Bleibatterie das dreifache Gewicht und das dreifache Volumen. Das Verhältnis zwischen nutzbarer und installierte Kapazität liegt in der Regel bei 1:1,2. Das bedeutet, auf 1 kWh nutzbarer Kapazität kommen nur 0,2 kWh Alterungsreserve hinzu, wobei ein Teil dieser Alterungsreserve als Tiefentladungsschutz genutzt wird.

Neben der hohen Speicherdichte und Zyklenfestigkeit ist der Wirkungsgrad von Lithium-Ionen-Batterien sehr hoch. Er liegt bei 97 bis 98 %, bei der Speicherung von 1 kWh gehen also nur 0,02 kWh verloren. Allerdings bezieht sich dieser hohe Wirkungsgrad allein auf die chemische Speicherung der Energie. Da alle Lithium-Ionen-Batteriesysteme ein Batteriemanagement verwenden, das neben der Überwachung auch den Ladezustandsausgleich der verschiedenen Zellen vornimmt, kommen operativ noch weitere Verluste hinzu. Diese differieren sehr stark zwischen den verschiedenen Technologien und Herstellern und können zwischen 0,04 bis 0,1 kWh entsprechen, was den Gesamtwirkungsgrad auf 90 bis 96 % reduzieren kann. Die reine Selbstentladung ist bei Lithium-Ionen-Batterien mit 1 bis 2 % im Jahr extrem gering.

Für die Aufstellung von Solarstromspeichersystemen auf Lithium-Basis sind deutlich weniger Anforderungen zu beachten. So ist eine aktive Belüftung nicht vorgeschrieben. Die Zellen sind versiegelt, daher sind keine gesonderten Vorkehrungen zum Schutz des Grundwassers vorzunehmen.

Verschiedene Arten von Lithium-Ionen-Batterien

Anders als bei Bleibatterien handelt es sich bei Lithium-Ionen um eine ganze Familie von Batterien. Der Unterschied besteht im verwendeten Anoden- bzw. Kathodenmaterial. Das am häufigsten verwendete Kathodenmaterial ist Kohlenstoff. Als Anodenmaterial sind am häufigsten Lithium-Eisen-Phosphat (LiFePO), Nickel-Cadmium-Aluminium (NCA) und Lithium-Mangan-Oxid (LMO) vorzufinden. Die Technologien unterscheiden sich weniger in ihrer Zyklenfestigkeit, hier geben alle Hersteller Zyklen von mehr als 5000 an. Ausschlaggebend ist vor allem die kalendarische Alterung. Sie hängt bei Lithium-Ionen-Batterien nicht nur vom mittleren Ladezustand ab – dieser sollte, anders als bei Bleibatterien, möglichst niedrig sein – sondern auch von der Temperaturbelastung der Zellen. Diese hängt von der Umgebungstemperatur und der Höhe der Be- und Entladeleistung ab. Gerade hier zeigen sich deutliche Unterschiede in der Qualität und Anwendbarkeit der Zellen.

LMO (Lithium-Mangan-Oxid) beispielsweise gilt als sehr temperaturempfindliche Technologie, weshalb Solarstromspeichersysteme, die diese Technologie verwenden, in der Regel mit geringen Be- und Entladeströmen laufen sollten.

LiFePO (Lithium-Eisen-Phosphat) ist diesbezüglich deutlich robuster, allerdings erreichen nur qualitativ hochwertige Zellen eine kalendarische Lebensdauer von 15 bis 20 Jahren – eine Minimalanforderung, um eine Batteriesystemlebensdauer von mehr als zehn Jahren zu gewährleisten.

NCA (Nickel-Cadmium-Aluminium) kann hier als die mit- hin verlässlichste Technologie gewertet werden. Besonders

Wirtschaftlichkeit abschätzen

In einem eigenen Webportal hat Bosch Power Tec Informationen zum Solarstromspeicher BPT-55 Hybrid zusammengestellt. Neben technischen Daten und Broschüren gibt es z. B. FAQ und einen Film. Im Menüpunkt Rendite ist ein Solarstromrechner zu finden, mit dem sich die Wirtschaftlichkeit des Speichersystems abschätzen lässt. www.solarstrom-tag-und-nacht.de



hochwertige Zellen erreichen eine kalendarische Lebensdauer von über 30 Jahren.

Gerade bei Lithium-Batterien wird das Zusammenspiel aus kalendarischer Lebensdauer und Zyklenfestigkeit immer wieder falsch oder gar nicht berücksichtigt. Eine einfache Kalkulation verdeutlicht, wie wichtig diese Angabe jedoch ist, um die Wirtschaftlichkeit eines Systems über die gesamte Lebensdauer zu berechnen: Wenn ein Hersteller eine Zyklenfestigkeit von 6000 Zyklen und eine kalendarische Lebensdauer von 20 Jahren angibt, so ergibt sich eine effektive Lebensdauer von gerade mal zehn Jahren! Die Ursache ist leicht erklärt. Beide Alterungen addieren sich. Nach zehn Jahren hat die Batterie

aufgrund der kalendarischen Alterung bereits die Hälfte der Alterungsreserve aufgebraucht. Gleiches gilt bei 3000 Zyklen, also der Hälfte der angegebenen Leistung. In Summe steht nach dem zehnten Jahr keine Alterungsreserve mehr zu Verfügung.

Fazit

Blei wie auch Lithium haben beide ihre Stärken. Während im Off-Grid- und USV-Bereich Bleibatterien aufgrund ihrer niedrigen Investitionskosten vorerst weiterhin den Markt dominieren werden, kann davon ausgegangen werden, dass Solarstromspeichersysteme auf Lithium-Ionen-Basis weiter auf dem Vormarsch bleiben werden. Sie sind für den langjährigen Einsatz in Einfamilienhäusern besser geeignet. Bei guter Qualität rechnen sich diese Systeme bereits heute.

Neben der Effizienz und der Selbstentladung ist die erwartete Lebensdauer für die Systemauslegung relevant.

Dr. Armin U. Schmiegel

ist Portfoliomanager bei der Bosch Power Tec GmbH und für Innovation zuständig.
armin.schmiegel@de.bosch.com,
www.bosch-power-tec.com

