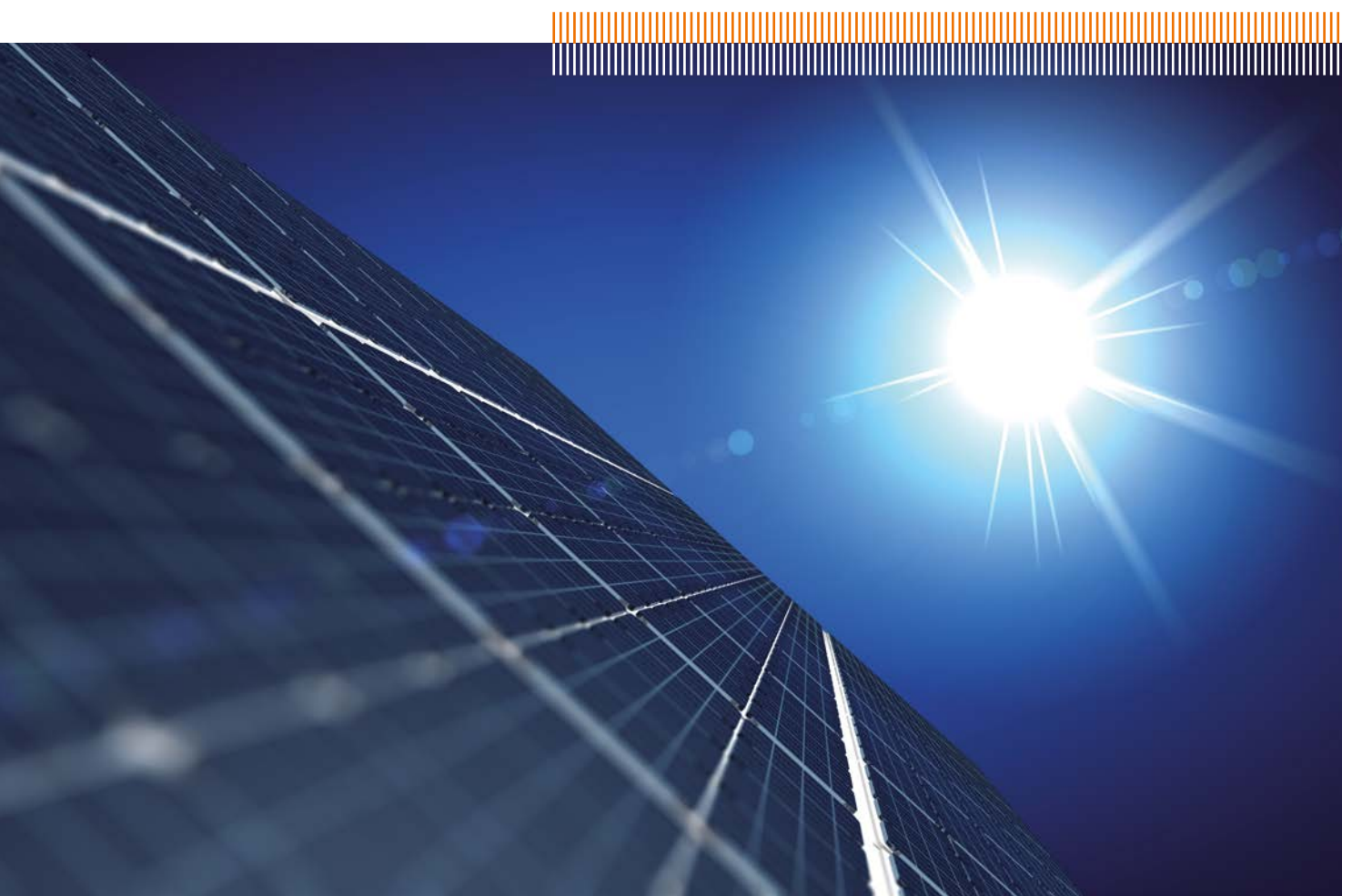




# Photovoltaik und Batteriespeicher

## Technologie, Integration, Wirtschaftlichkeit



## Einleitung

Mit Sonne Strom erzeugen – dafür entscheiden sich immer mehr Menschen in Deutschland. Die Zahl der Solaranlagen auf Dächern oder freier Fläche steigt und steigt. Ende 2019 waren über 1,8 Millionen Anlagen mit einer Gesamtleistung über 49 Gigawatt installiert. Immer mehr Anlagenbetreiber gehen jedoch noch einen Schritt weiter und installieren einen elektrischen Stromspeicher: In einem ersten Schritt wird die erzeugte Energie nicht mehr nur ins Netz eingespeist, sondern für den Eigenverbrauch genutzt. In einem nun weiteren Schritt kann der nicht direkt genutzte Strom in einem elektrischen Speicher zwischengelagert werden, um dann, wenn die Sonne nicht scheint, z. B. in der Nacht genutzt zu werden. Solarstromspeicher machen dies möglich. Ohne einen Speicher wird der solar erzeugte Strom überwiegend in das öffentliche Stromnetz eingespeist, denn insbesondere in den Mittagsspitzen übersteigt er in der Regel deutlich den eigenen Strombedarf. Bis Anfang 2020 wurden bereits fast 200.000 Speicher in Verbindung mit Photovoltaik im Bundesgebiet verbaut. Das ist insofern interessant, da 2018 „nur“ 100.000 Speicher installiert waren.

Solarstromspeicher machen Solarstrom zeitunabhängig für den Eigenverbrauch verfügbar. Mithilfe von dezentralen Batterien wird der solar erzeugte Strom zwischengespeichert und zeitversetzt wieder abgegeben – ganz nach Bedarf. Betreiber von Photovoltaikanlagen in Kombination mit einem Energiespeicher können so ihren Strombezug aus dem öffentlichen Netz weiter reduzieren und damit unabhängiger von tendenziell steigenden Strompreisen werden. Außerdem kann durch geschickte Steuerung des Speichers das öffentliche Netz entlastet werden.

Wie Solarstromspeicher ausgelegt werden sollten, welche Speichertypen und -systeme es gibt und wie diese gefördert werden, erfahren Sie in dieser Broschüre.

## Steigerung des Eigenverbrauchs

Um zu prüfen, ob und inwieweit durch eine Photovoltaikanlage mit kombiniertem Batteriespeicher im Einzelfall ein Gewinn generiert werden kann, können zwei Kenngrößen als Orientierungswert herangezogen werden: Der Eigenverbrauchsanteil und der Autarkiegrad.

### Eigenverbrauchsanteil

Der Eigenverbrauchsanteil stellt eine zunehmend wichtige Größe bei der Planung von Photovoltaikanlagen dar. Er gibt den Anteil des erzeugten Stroms an, der vor Ort tatsächlich selbst verbraucht wird. Da die Anlagenpreise in den letzten Jahren stark gesunken sind, liegen die Erzeugungskosten für Solarstrom mittlerweile deutlich unter dem durchschnittlichen Strombezugspreis für Privatkunden. Daher lohnt sich generell ein möglichst hoher Eigenverbrauchsanteil, um Strombezugskosten einzusparen.

### Autarkiegrad

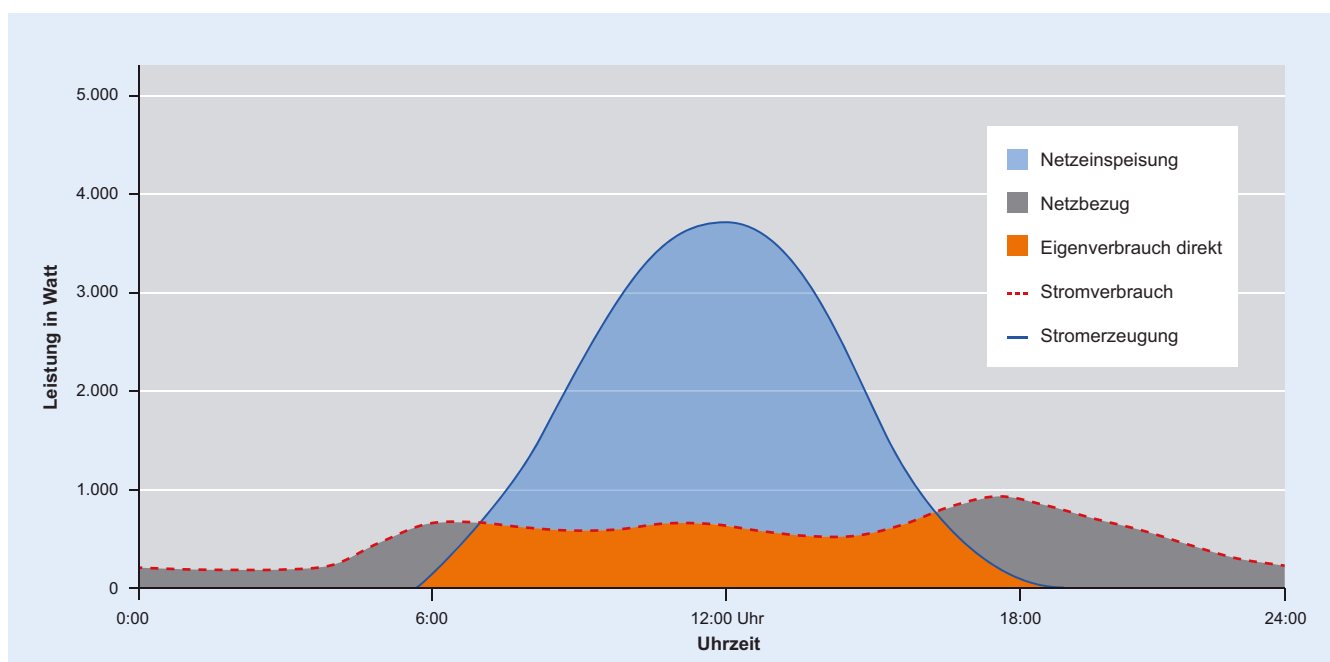
Der Autarkiegrad wiederum beschreibt, inwieweit sich ein Haushalt – gemessen an seinem Jahresstromverbrauch – mit dem selbsterzeugten Strom der Photovoltaikanlage eigenständig versorgen kann. Er verdeutlicht also das Maß

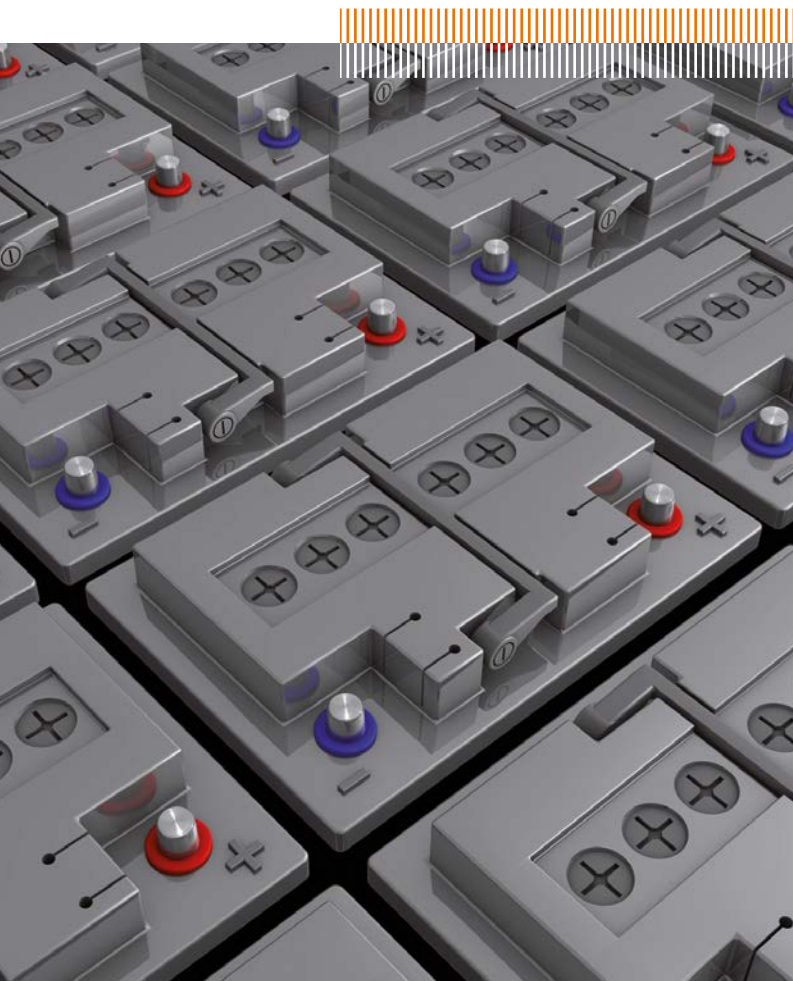
der Unabhängigkeit eines Haushalts von zusätzlichen Strombezügen. Ein höherer Autarkiegrad mindert somit das Kostenrisiko durch ansteigende Strompreise.

### Einfluss eines Speichers

In Nordrhein-Westfalen können Solaranlagenbetreiber bei Süd Ausrichtung in einem durchschnittlichen Jahr mit einem Stromertrag von rund 860 bis 920 Kilowattstunden (kWh) pro Jahr je Kilowattpeak (kWp) installierter Leistung rechnen. Ein Durchschnittshaushalt mit einem jährlichen Strombedarf von 4.500 kWh könnte entsprechend rein rechnerisch bereits mit einer Anlagengröße von 5 kWp bedarfsdeckend mit Solarenergie versorgt werden. Da aber Stromerzeugung und verbrauch zeitlich nicht deckungsgleich sind, liegen der tatsächliche Eigenverbrauchsanteil sowie der Autarkiegrad bei dieser Anlagenkonfiguration – und einer typischen Verbrauchskurve – bei jeweils etwa 20 bis 30 Prozent. Ein Drittel des solar erzeugten Stroms wird also typischerweise direkt selbst verbraucht. Die übrigen 70 bis 80 Prozent werden dann typischerweise in das öffentliche Stromnetz eingespeist.

### Eigenverbrauch ohne Stromspeicher

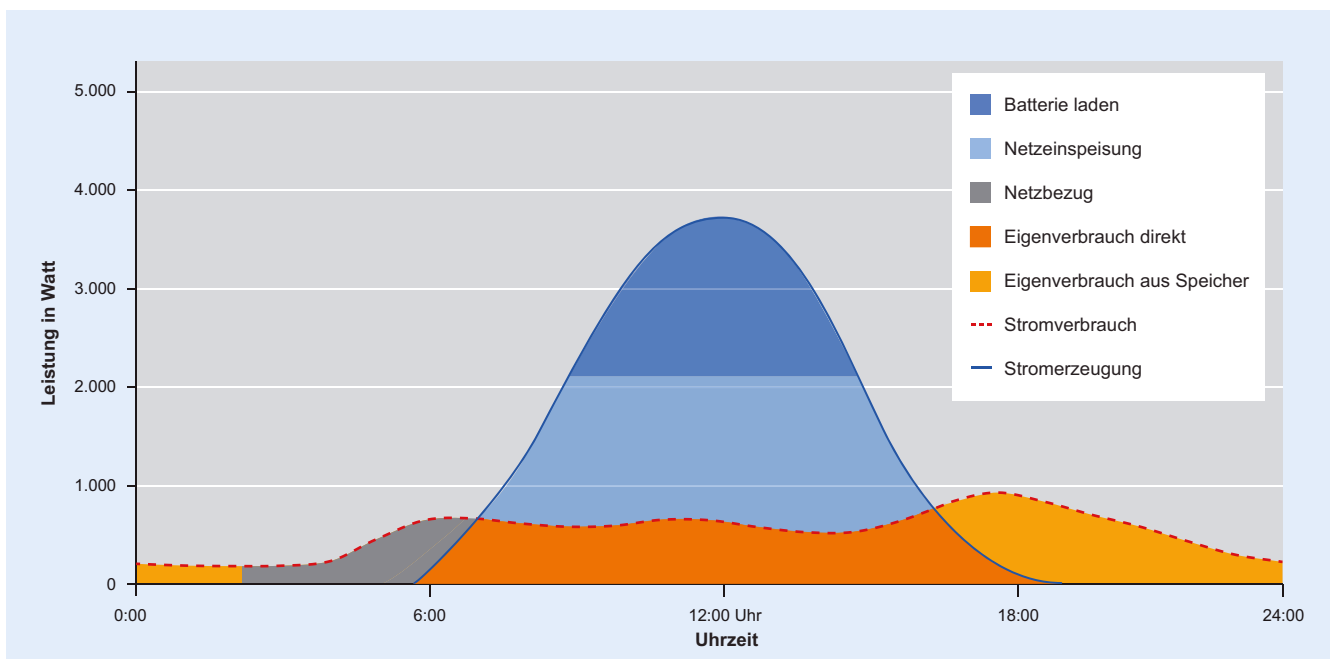




Durch die Installation eines Batteriespeichersystems lässt sich die Menge des Eigenverbrauchs steigern, indem insbesondere morgens und abends auf den gespeicherten Solarstrom zurückgegriffen wird. Eine Batterie mit einer nutzbaren Speicherkapazität von 5 kWh erhöht in dem konkreten Beispiel den Eigenverbrauchsanteil auf etwa 60 Prozent und den Autarkiegrad auf etwa 55 Prozent. Für Betreiber von Photovoltaikanlagen ist die Investition in einen Speicher daher bereits heute interessant, um sich unabhängiger von zusätzlichen Strombezügen und damit von tendenziell steigenden Strompreisen zu machen.

Dezentrale Speicher sind auch in Hinblick auf das allgemeine Stromsystem von zunehmender Bedeutung. Durch den Einsatz von Heimspeichern kann die Netzeinspeisung von Photovoltaikanlagen reduziert werden. Wird das System netzoptimiert betrieben, indem z. B. Wetterprognosen mit einfließen und die Batterie insbesondere die häufigen Einspeisespitzen am Mittag abfedert, werden die örtlichen Stromverteilnetze erheblich entlastet. Dies gilt gleichermaßen für mögliche Verbrauchsspitzen in den Abendstunden, wenn zukünftig mehr batterieelektrische Fahrzeuge zu Hause geladen werden.

### Eigenverbrauch mit Stromspeicher (netzoptimierte Ladung)



## Dimensionierung und Wirtschaftlichkeit

### Nutzbare Speicherkapazität

Eine wichtige Kenngröße für die optimale Auslegung des Speichersystems ist die nutzbare Kapazität. Sie gibt an, welche Kapazität für die maximale Lebensdauer der Batterie zur Verfügung steht. Da eine Solarbatterie nicht komplett entladen werden kann, ohne dass sie Schaden nimmt, sollte die vom Hersteller angegebene maximale Entladetiefe grundsätzlich nicht unterschritten werden. Hat eine Batterie beispielsweise eine Gesamtkapazität von 9 kWh und eine Entladetiefe von 80 Prozent, liegt die nutzbare Kapazität bei 7,2 kWh.

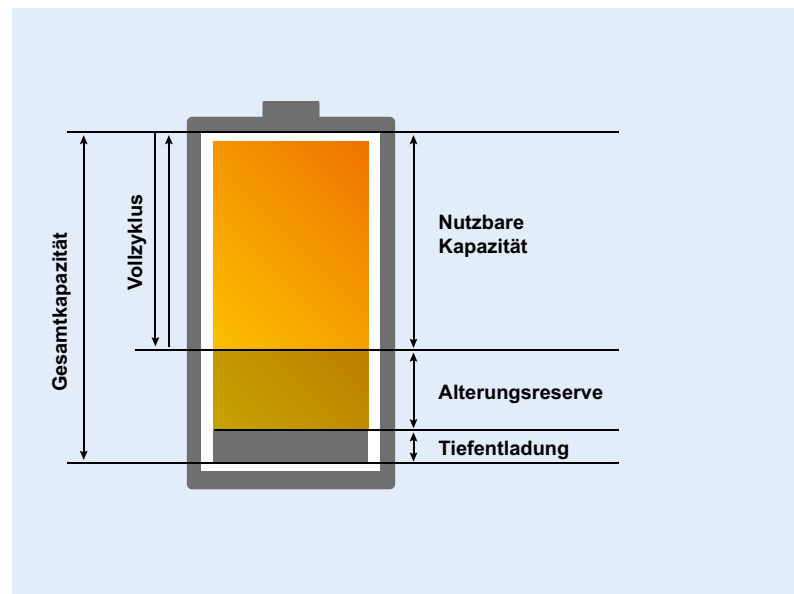
### Optimale Auslegung des Speichers

Grundsätzlich stellt die Installation einer nutzbaren Speicherkapazität von 1 kWh je 1 kWp PV-Leistung eine sinnvolle Dimensionierung des Batteriespeichersystems dar. Ein Durchschnittshaushalt mit einem 5 kWp PV-System erreicht mit Hilfe eines 5 kWh-Batteriespeichers einen Eigenverbrauchsanteil und Autarkiegrad von etwa 60 bzw. 55 Prozent. Steht der Autarkiegedanke im Vordergrund, lässt sich dieser Wert weiter steigern, allerdings mit einem verhältnismäßig hohen Aufwand.

Eine 100%-ige Autarkie mit Speichern aufzubauen, lohnt sich wirtschaftlich betrachtet nicht, dazu wäre ein zu großer Speicher notwendig. Dadurch würden die mittleren Kosten des selbst erzeugten Solarstroms zu stark steigen. Anlagen im Verhältnis 1 kWp PV zu 1 kWh Speicher können sich – je nach spezifischem Lastgang – aber bereits heute finanziell auszahlen.

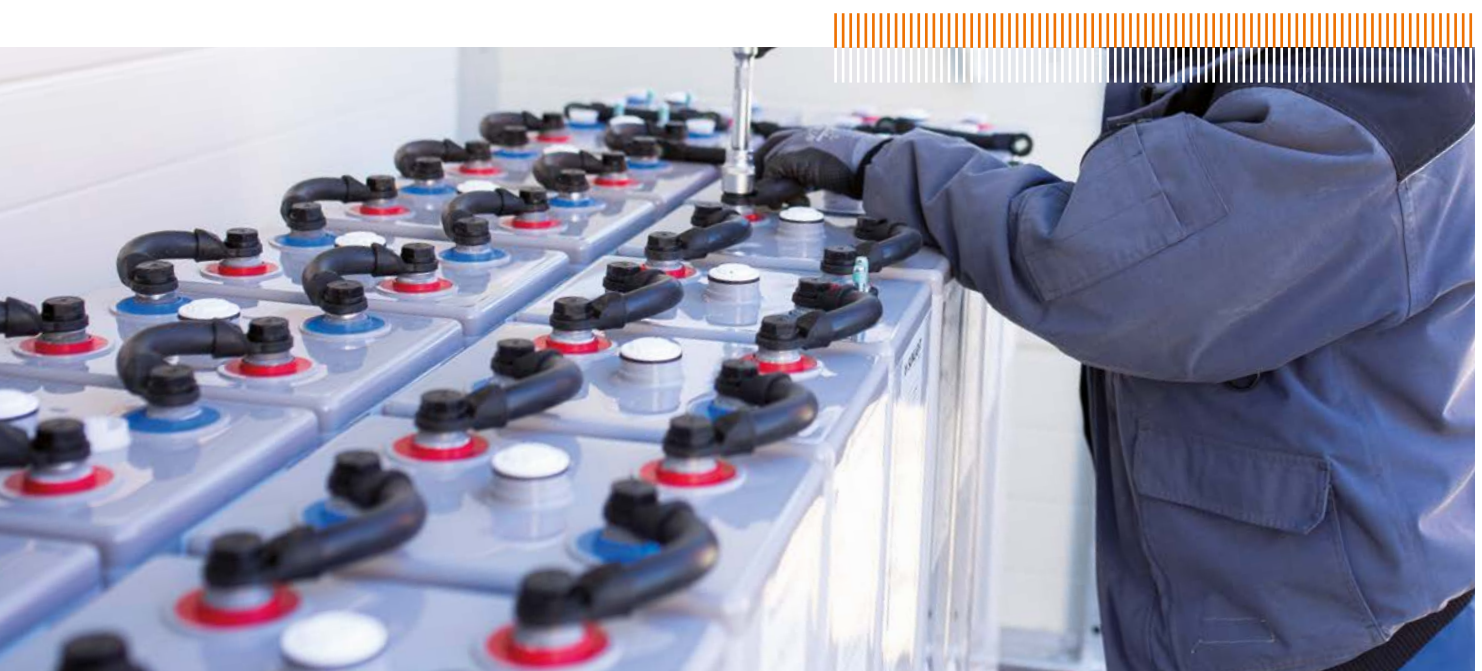
In den kommenden Jahren ist außerdem aufgrund der weiteren Preissenkungen bei der Speichertechnologie damit zu rechnen, dass sich auch PV-Systeme mit größeren Batteriespeichern wirtschaftlich darstellen und der Eigenverbrauchsanteil sowie der Autarkiegrad mit immer geringeren Mehrkosten weiter steigern lassen.

### Batteriekapazität



Neben den Kosten der Batteriesysteme sind viele weitere Faktoren – wie die Entwicklung der finanziellen Förderung oder der Strompreise – entscheidend für die Wirtschaftlichkeit der Investition in einen Speicher und bei der Planung zu berücksichtigen. Eine erste Einschätzung ermöglichen mittlerweile Speicherrechner im Internet. Diese ersetzen aber nicht die professionelle Beratung vor Ort auf Basis der individuellen Verbrauchsdaten und der Solarstromerzeugung.

Bei der Größe der PV-Anlage und des Speichers sollte soweit wie möglich auch zukünftige Entwicklungen wie das Wachsen des Haushalts oder der Anschluss zusätzlicher Stromverbraucher wie das eines Elektroautos berücksichtigt werden. Das Speichersystem sollte nachträglich erweiterbar sein.



## Speichertechnologien

Mittlerweile kommen für die Kombination mit Photovoltaikanlagen hauptsächlich Batterien auf Lithium-Ionen-Basis in Betracht. „Lithium-Ionen“ ist dabei ein Oberbegriff für verschiedene Zellchemien. Für den stationären Einsatz kommen üblicherweise Zellen mit NMC (Nickel-Mangan-Kobalt) oder LFP (Lithium-Eisenphosphat) Kathoden in Frage. Die beiden Zellchemien unterscheiden sich hinsichtlich Preis, Energiedichte, Leistungsdichte und Lebensdauer.

### Kosten

Neben dem Anschaffungspreis bzw. den Investitionskosten bezogen auf die nutzbare Speicherkapazität (Euro/kWh) sind auch die Faktoren Entladetiefe (siehe Abschnitt „Batteriekapazität“), Lebensdauer und Wirkungsgrad des Speichers für einen wirtschaftlichen Betrieb entscheidend. Preislich liegen aktuelle Speichersysteme je nach funktionellem Umfang zwischen 600 und 1 500 €/kWh (netto).

### Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad beschreibt das Verhältnis von gespeicherter Energie zu später wieder abgegebener Energie. Er macht entsprechend Leistungsverluste durch elektronische Komponenten (Wechselrichter, Laderichter, etc.) deutlich. Der Wirkungsgrad von Lithium-Ionen-Akkus liegt vom Ladevorgang, über den Entladevorgang bis hin zur Umwandlung zu Wechselstrom durch einen Wechselrichter bei etwa 90%.

### Lebensdauer

Für die Betrachtung der Lebensdauer sind zwei Herstellerangaben von Bedeutung: Die Zyklenlebensdauer und die kalendarische Alterung. Die Zyklenlebensdauer ist die Anzahl der Vollzyklen, also der möglichen Be- und Entladungen, bevor die Kapazität der Batterie auf 80 Prozent der ursprünglichen Gesamtkapazität gesunken ist. Aus dem spezifischen Anwendungsprofil des Haushalts – bei einem Durchschnittshaushalt z. B. ca. 250 Vollzyklen im Jahr – ergibt sich die zu erwartende Lebensdauer in Jahren. Kleinere Batteriespeicher sind durch die höhere Anzahl von Be- und Entladevorgängen je nach Nutzungsprofil stärker belastet als Speicher mit einer größeren Kapazität. Auch die Lade- und Entladegeschwindigkeit haben hierbei Einfluss auf die Alterung.

Die kalendarische Alterung beschreibt die Alterung durch chemische Zerfallsprozesse. Diese treten auch auf, wenn der Speicher gar nicht in Betrieb ist. Aktuelle Speicher mit modernen Zellen sind in der Regel sehr zyklenstabil, weshalb vor allem die kalendarische Alterung (in Verbindung mit äußeren Faktoren wie der Umgebungstemperatur) das bestimmende Maß für die Lebensdauer darstellt. Mit einem gewissen Kapazitätsverlust über die Zeit sind Lebensdauern von etwa 15 Jahren realistisch.

### Entladetiefe

Um die Kapazität eines Speichers über einen möglichst langen Zeitraum aufrecht erhalten zu können, sollten die jeweils vom Hersteller empfohlenen maximalen Entladetiefen (DoD, Depth of Discharge) nicht unterschritten werden, da sich dadurch sowohl die zyklische als auch die kalendarische Lebensdauer verringern kann. Bei Lithium-Ionen-Batterien ist grundsätzlich eine größere Entladetiefe möglich als bei Bleibatterien. Ein Batteriemanagementsystem achtet u. a. darauf, dass die maximalen Entladetiefen (d.h. Entladung bis zur Reserve) eingehalten werden.

### Lagerung

Lithium-Ionen-Batterien sollten nur im Innenbereich aufgestellt werden. Die Lufttemperatur liegt dabei idealerweise zwischen 20 und 30 °Celsius und die maximale Luftfeuchtigkeit nicht über 80 Prozent. Brandlasten sollten mindestens zwei bis drei Meter entfernt gelagert werden.

### Wartung

Lithium-Speicher-Systeme sind generell eher wartungsarm. Hersteller geben Wartungsintervalle von ein bis zwei Jahren vor. Teil der Wartung können beispielsweise die Prüfung des Batteriewechselrichters oder die leistungstechnische Prüfung der Batteriemodule sein.

### Versicherung

Die dauerhafte Installation eines Speichersystems sollte in jedem Fall dem Gebäudeversicherer gemeldet werden, da stationäre Stromspeicher immer eine elektrische Anlage mit einem dafür typischen Brandrisiko darstellen können. Batterie- und Temperaturmanagement überwachen den Speicher bis hinunter auf die Zellebene und schützen so vor Falschanwendung. Sie ermöglichen zudem die Erkennung möglicher Fehler und Defekte, um eine maximale Sicherheit zu gewährleisten.

### Beide Technologien im Detail\*:

|   | Lithium-Ionen-Batterien   |                       |
|---|---|-----------------------|
|   | Heute   | In 10 Jahren erwartet |
| <b>Wirkungsgrad</b>   | 85 % bis 90 %   | 90 % bis 95 %         |
| <b>Zykluslebensdauer</b> (Vollzyklen)                                     | 5.000 bis 15.000  | 15.000 bis 30.000     |
| <b>Kalendarische Lebensdauer</b> (abhängig von Temperatur u. Ladezustand) | 15 bis 20 Jahre   | 15 bis 25 Jahre       |
| <b>Entladetiefe</b>   | Bis 100 %   | Bis 100 %             |
| <b>Vorteile</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Lange Lebensdauer</li> <li>■ Keine hohen Anforderungen an Aufstellort</li> <li>■ Kompaktes System</li> </ul> |                       |

Quelle: Dirk Uwe Sauer (2013): Marktanzreizprogramm für dezentrale Speicher insbesondere für PV-Strom. Kurzgutachten im Auftrag des BMU.

\* Es handelt sich um Durchschnittswerte. Diese variieren zum Teil sehr stark. Die tatsächlichen Parameter einzelner Batteriespeicher können zudem deutlich von diesen Werten abweichen. Insbesondere die verschiedenen Lithium-Batterietechnologien haben jeweils sehr unterschiedliche Eigenschaften.

## Speicherintegration

Die Wahl des Batterietyps ist nicht die einzige Entscheidung, die Verbraucher treffen müssen. Es stellt sich daneben die Frage, an welcher Stelle im PV-System die Batteriespeicher integriert werden. Grundsätzlich wird unterschieden, ob der Speicher auf der Wechselstromseite (AC-System) oder auf der Gleichstromseite des PV-Wechselrichters (DC-System) eingebunden ist.

Beide Installationsmöglichkeiten haben spezifische Vor- und Nachteile. Welche Variante im Einzelfall sinnvoller ist, hängt von der jeweiligen Ausgangssituation ab.

### AC-Systeme

Insbesondere bei der Nachrüstung bietet sich eine AC-Kopplung an. Die Solarbatterie wird dann mit einem Konverter (Batteriewechselrichter) an das Hausnetz (Wechselstrom) angeschlossen. Die Solaranlage mit Gleichstromwandler und PV-Wechselrichter bleibt hierbei unverändert.

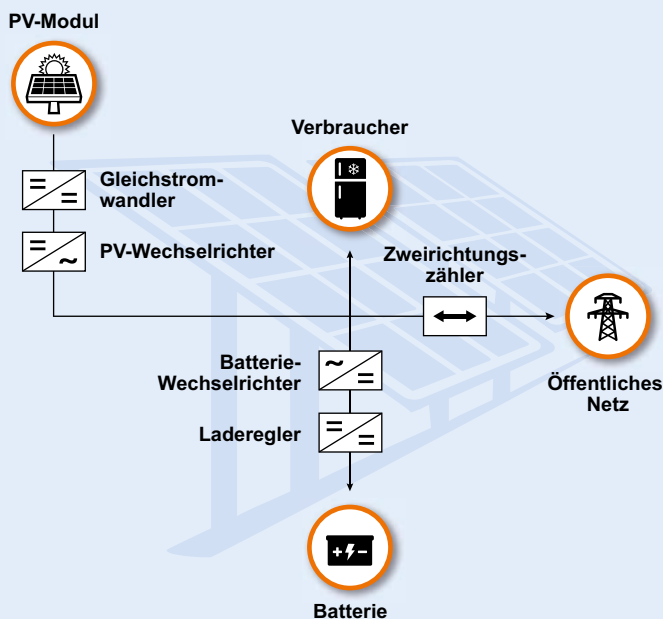
Der Konverter ist notwendig, da eine Solarbatterie grundsätzlich mit Gleichstrom be- und entladen wird. Der zusätzliche Wechselrichter hat tendenziell höhere Umwandlungsverluste zur Folge.

### DC-Systeme

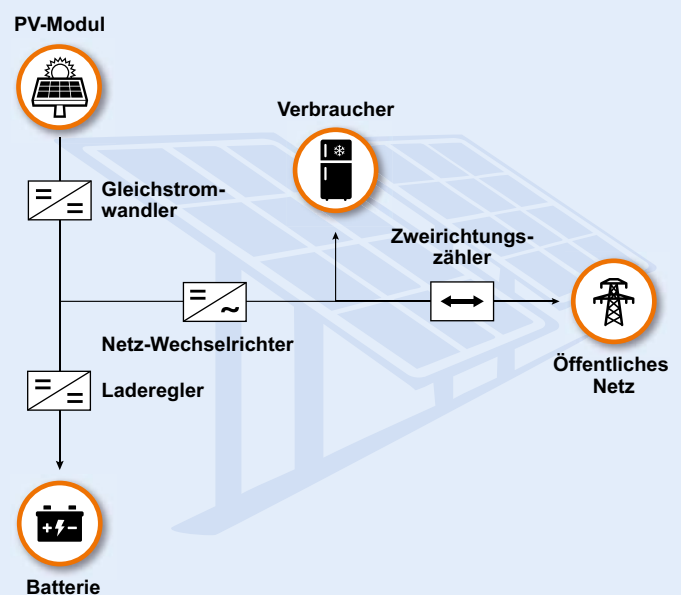
Bei DC-gekoppelten Systemen wird der Batteriespeicher vor dem PV-Wechselrichter im Gleichstromkreis angeschlossen. Die doppelte Transformation des Stroms entfällt, da die Batterie direkt den erzeugten Gleichstrom der Photovoltaikanlage lädt. Ein separater Batteriewechselrichter ist nicht notwendig. Hierdurch ergibt sich eine leicht höhere Effizienz gegenüber AC-Systemen.

Die Nachrüstung eines Speichers im Gleichstromkreis kann den Austausch des Wechselrichters der PV-Anlage notwendig machen.

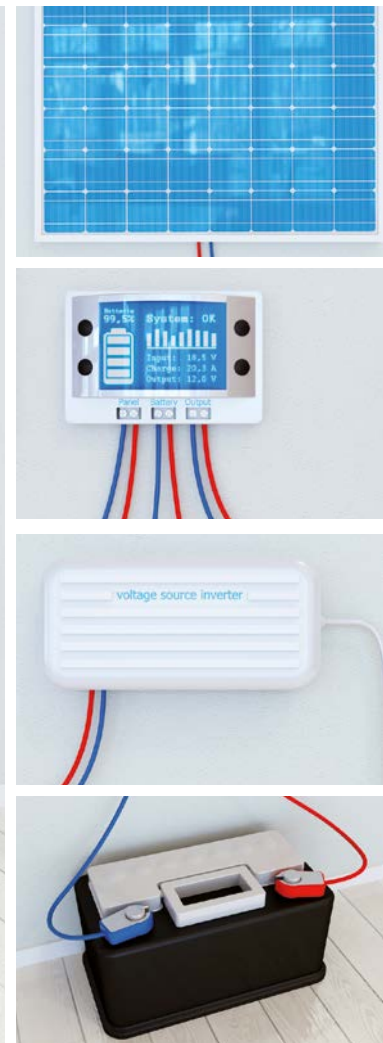
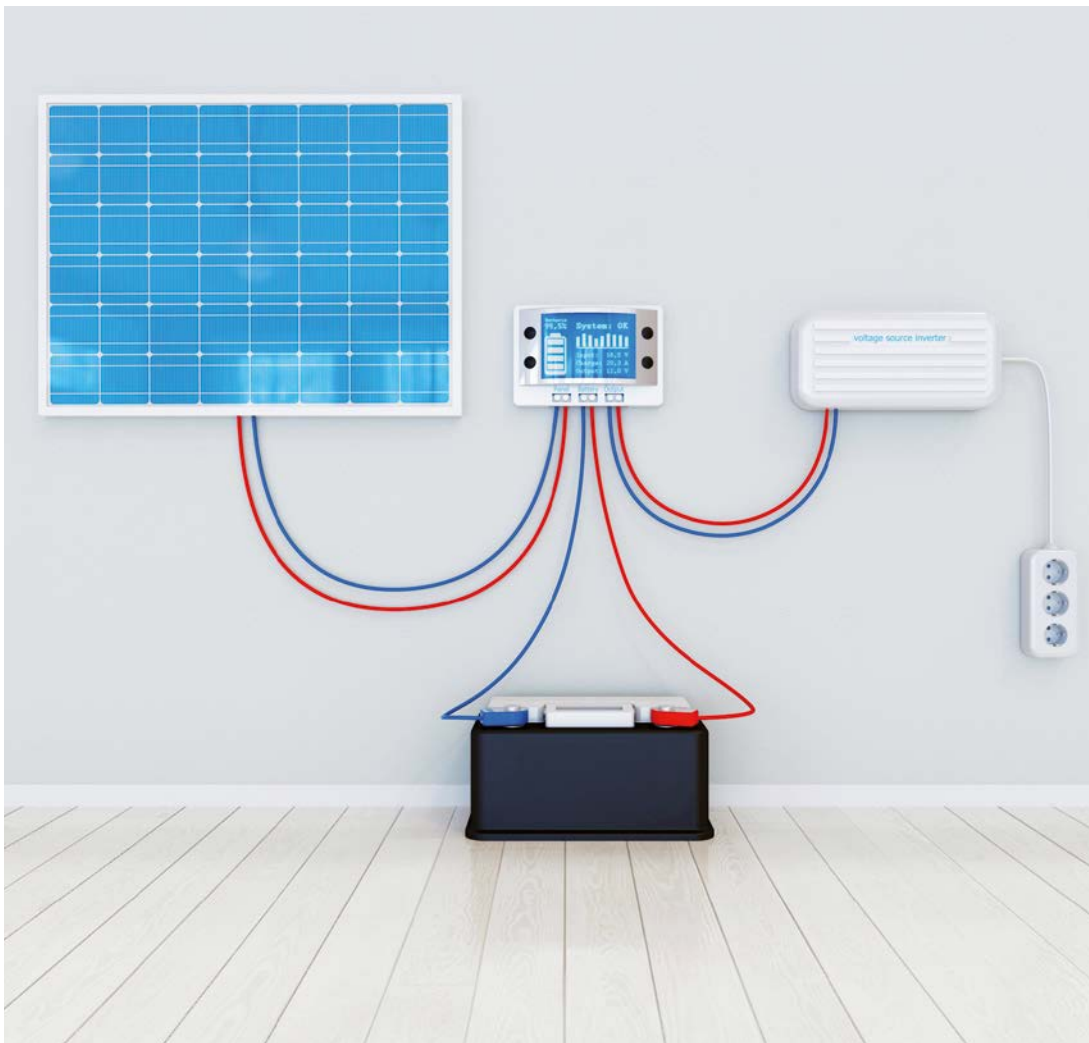
### AC-gekoppeltes System



### DC-gekoppeltes System







### Beide Installationsvarianten im Überblick:

|           | AC-Systeme   | DC-Systeme   |
|-----------|--|--|
| Vorteile  | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Höhere Flexibilität</li> <li>■ Einfachere Nachrüstung bestehender Systeme</li> <li>■ Freie Skalierung des Batteriesystems</li> </ul>                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tendenziell geringere Umwandlungsverluste</li> <li>■ Geringer Platzbedarf des integrierten Systems</li> </ul> |
| Nachteile | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Höhere Kosten durch zusätzlichen Wechselrichter</li> <li>■ Höherer Platzbedarf durch zwei separate Systeme</li> <li>■ Tendenziell höhere Umwandlungsverluste</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Geringe Flexibilität</li> <li>■ Aufwändiges Nachrüsten bestehender Systeme</li> </ul>                         |

Quelle: [www.speichermonitoring.de](http://www.speichermonitoring.de)

### Speicherpass

Der Bundesverband Solarwirtschaft (BSW) und der Zentralverband der Deutschen Elektro- und Informationstechnischen Handwerke (ZVEH) haben mittlerweile ein Qualitätssiegel für Solarstromspeicher („Photovoltaik-Speicherpass“) entwickelt. Kunden können sich diesen bei der Übergabe des Speichersystems aushändigen lassen, um die Qualität der Komponenten sowie die fachgerechte Installation zu dokumentieren.

## Förderung

Für die Neuinstallation stationärer Batteriespeichersysteme in Verbindung mit Photovoltaikanlagen stehen staatliche und regionale Förderprogramme zur Verfügung. Zudem fördert das Land NRW für Unternehmen die Anschaffung von Ladestationen für Elektrofahrzeuge in Kombination mit Batteriespeichersystemen und gewährt in diesem Zuge auch einen Photovoltaik-Bonus, wenn im Rahmen dieser Maßnahme eine neue Photovoltaikanlage errichtet wird. Die aktuellen Fördersätze der jeweiligen Förderprogramme sind dazu auf der Seite [www.foerdernavi.de](http://www.foerdernavi.de) zu finden.

### Beispiel: 4 Personen Haushalt

|                           |  |
|---------------------------|--|
| Stromverbrauch:           | 5.000 kWh                                |
| Stromkosten:              | 28 ct/kWh (brutto)                       |
| Stromkostensteigerung:    | 1% pro Jahr                              |
| Betriebskosten:           | 2% des Investments pro Jahr<br>(140 €/a) |
| Betriebskostensteigerung: | 2% pro Jahr                              |
| PV:                       | 6,6 kWp (Süd, 35°)                       |
| Ertrag:                   | 6.090 kWh pro Jahr                       |
| Speicher:                 | 6,4 kWh                                  |
| <hr/>                     |  |
| Eigenverbrauchsgrad:      | 58%                                      |
| Autarkiegrad:             | 70%                                      |
| <hr/>                     |  |
| PV-Kosten:                | 1.400 €/kWp                              |
| Speicherkosten:           | 850 €/kWp                                |

#### Förderung durch progres.nrw

##### (Stand September 2021):

640€ = 6,4 kWh \* 100,- €/kWh Förderung

##### Gesamtkosten (abzüglich Förderung):

14.140 € (netto) / 16.820 € (brutto)

Amortisationszeit: 12,2 Jahre (Unternehmer)

15 Jahre (Kleinunternehmer)



### Beispiel: Gewerbe:

Wie wirtschaftlich ein PV-Speicher System in einem Gewerbebetrieb ist, hängt von der Höhe des Stromverbrauchs, dem Strompreis und ggf. den maximalen Lastspitzen ab.

|                           |  |
|---------------------------|--|
| Stromverbrauch:           | 80.000 kWh                                     |
| Stromkosten:              | 23 ct/kWh (netto)                              |
| Stromkostensteigerung:    | 0,5% pro Jahr                                  |
| Betriebskosten:           | 2% des Investments pro Jahr<br>(ca. 2.550 €/a) |
| Betriebskostensteigerung: | 2% pro Jahr                                    |
| Einspeisevergütung:       | ca. 5,4 ct/kWh (01.01.2021)                    |
| <hr/>                     |  |
| PV:                       | 99,5 kWp (Ost-West, 10°)                       |
| Ertrag:                   | 83.000 kWh pro Jahr                            |
| Speicher:                 | 80 kWh   |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| Eigenverbrauchsgrad: | 64% |
| Autarkiegrad:        | 66% |

|                 |                   |
|-----------------|-------------------|
| PV-Kosten:      | 900 €/kWp (netto) |
| Speicherkosten: | 750 €/kWp (netto) |

#### Förderung durch progres.nrw

##### (Stand September 2021):

8.000 € = 80 kWh \* 100,- €/kWh Förderung

##### Gesamtkosten (abzüglich Förderung):

141.550 € (netto) / 168.444 € (brutto)

Amortisationszeit: 11 – 13 Jahre

### Garantie

Die Garantiebedingungen der am Markt erhältlichen Batteriespeichersysteme unterscheiden sich derzeit zum Teil noch erheblich. Das Förderprogramm nennt als eine weitere Voraussetzung, dass für die Batterien des Batteriespeichersystems eine Zeitwertersatzgarantie des Händlers bzw. Herstellers für einen Zeitraum von 10 Jahren vorliegen muss. Beim Kauf eines Speichers sollte grundsätzlich darauf geachtet werden, ob es auch Händler oder Hersteller gibt, die mit ihren Garantiebedingungen über dieses Mindestmaß hinausgehen.

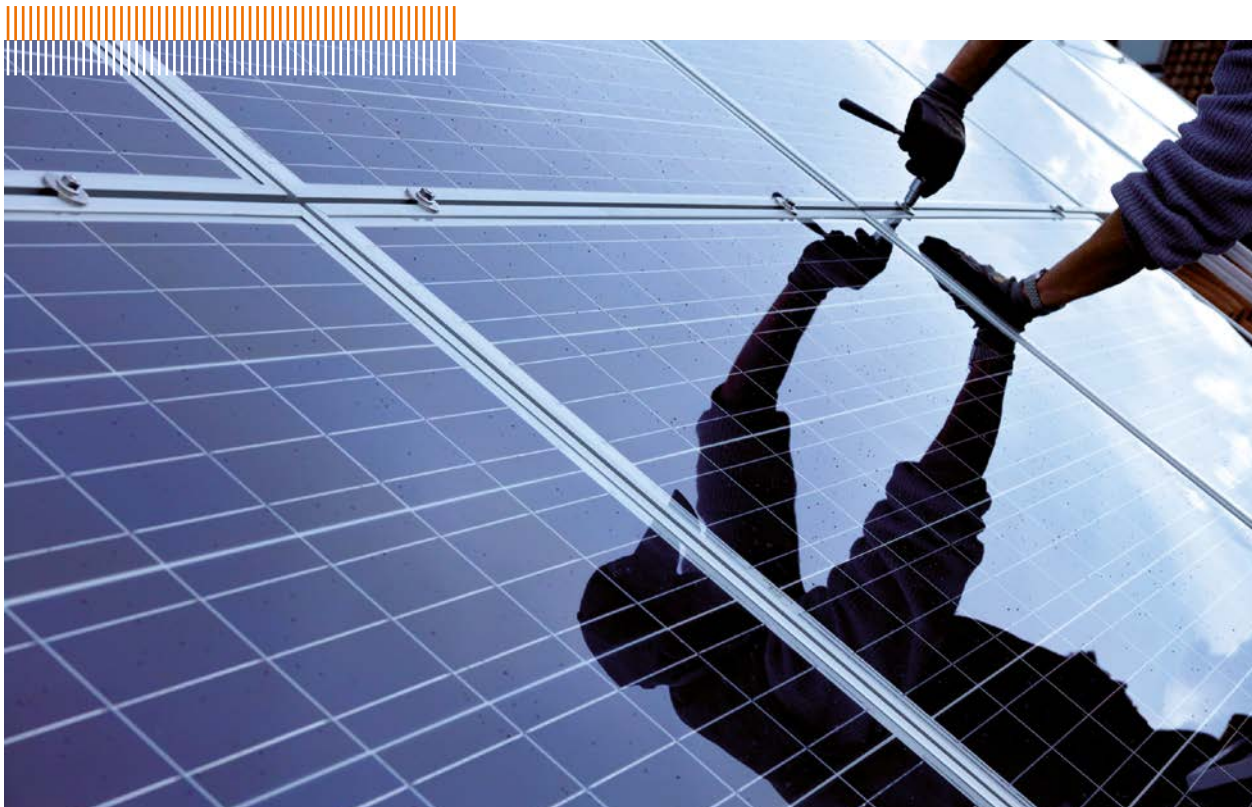
### Meldepflichten im Zusammenhang mit Photovoltaik und Speicher

Neue aber auch alle alten Anlagen, die Strom erzeugen können, sind in dem Marktstammdatenregister der BundesNetzAgentur anzumelden. Das umfasst Photovoltaikanlagen sobald sie mit dem Netz verbunden sind, auch wenn es nur zeitweise ist.

Für eine Anlage, die vor dem 31. Januar 2019 angeschlossen wurde, liegt der späteste Zeitpunkt für die Anmeldung auf dem 31. Januar 2021. Für neue Anlagen gilt eine Monatsfrist, ansonsten drohen der Verlust von Einspeisevergütung oder Bußgelder.

Die gleichen Fristen gelten auch für Speicher!

<https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR>



**Impressum**

EnergieAgentur.NRW GmbH  
Roßstraße 92  
40476 Düsseldorf

Telefon: 0211 / 837-1930  
hotline@energieagentur.nrw  
www.energieagentur.nrw

© EnergieAgentur.NRW GmbH/EA645

**Gestaltung**

www.liniezwei.de

**Stand**

10/2021

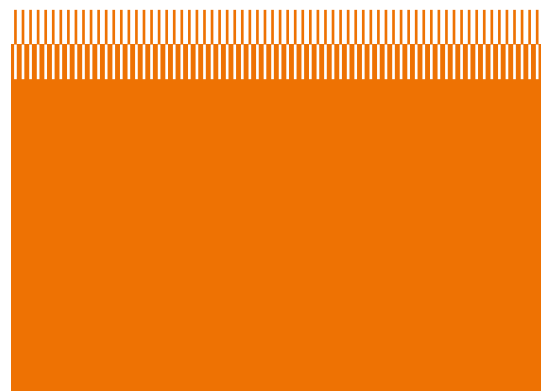
Die EnergieAgentur.NRW GmbH verwendet in ihren Veröffentlichungen allein aus Gründen der Lesbarkeit die männliche Form von Substantiven; diese impliziert jedoch stets auch die weibliche Form. Nutzung von Inhalten – auch in Teilen – bedarf der schriftlichen Zustimmung.

**Bildnachweis**

Titel: markus dehlzeit; S. 2: vege;  
S. 4: Thomas Jansa; S. 9: styleuneeed;  
S. 10: momius; S.11: Simon Kraus (alle © fotolia.de);  
S. 6: BSW-Solar/Borrmann

**Quellen**

Weniger, Johannes; Quaschnig, Volker; Tjaden,  
Tjarko (2013): Optimale Dimensionierung von  
PV-Speichersystemen. In: pv magazine 01/2013.



EUROPÄISCHE UNION  
Investition in unsere Zukunft  
Europäischer Fonds  
für regionale Entwicklung

Ministerium für Wirtschaft, Innovation,  
Digitalisierung und Energie  
des Landes Nordrhein-Westfalen

