

**VERGLEICHEN**



**INSTALLIEREN**



**PROFITIEREN**



# DCTI GreenGuide

## Solar.Strom.Speicher 2017

Der Weg zum passenden PV- und Energiespeicher-System



DCTI

[GreenGuide – Solar.Strom.Speicher 2017](#)

Mai 2017

ISBN 978-3-942292-07-8 | © DCTI 2017

Das vorliegende Werk ist insgesamt sowie hinsichtlich seiner Bestandteile (Text, Grafik, Bilder und Layout) urheberrechtlich geschützt. Die teilnehmenden Unternehmen zeichnen für ihre Anzeigen und Beiträge selbst verantwortlich. Die Rechte an den Anzeigen und Beiträgen – und, soweit nicht abweichend bezeichnet, die Rechte an Grafiken und Bildmaterial – liegen ebenfalls bei den Unternehmen bzw. den Urhebern der jeweiligen Werke.

---

**DCTI GreenGuide**

## **Solar.Strom.Speicher 2017**

**Der Weg zum passenden PV- und Energiespeicher-System**

# Gliederung

## Gliederung

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| I. Die Photovoltaikanlage – Module, Wechselrichter und Speicher im System                         | 9  |
| 1.1. Das Photovoltaikmodul – kristallin und Dünnschicht                                           | 10 |
| 1.1.1. Kerngrößen für den Modulvergleich                                                          | 11 |
| 1.2. Der Wechselrichter                                                                           | 13 |
| 1.2.1. Technologien, Wirkungsweise und Eigenschaften                                              | 14 |
| 1.2.2. Zentral-, Multistring-, Modul- oder Batteriewechselrichter                                 | 15 |
| 1.3. Das Montagesystem                                                                            | 17 |
| 1.3.1. Die Aufdachanlage                                                                          | 17 |
| 1.3.2. Photovoltaiksysteme auf Flachdächern                                                       | 18 |
| 1.3.3. Gebäudeintegration von Photovoltaikanlagen                                                 | 19 |
| 1.4. Steckverbinder, Anschlussdosen & Leitungen                                                   | 19 |
| 1.5. Sicherungen & Schutzschalter                                                                 | 20 |
| 1.6. Der Stromspeicher                                                                            | 21 |
| 1.6.1. Mit Speichern den Eigenverbrauchsanteil steigern                                           | 22 |
| 1.6.2. Load Levelling                                                                             | 24 |
| 1.6.3. Mehr als nur ein Stromspeicher – Notstromfähigkeit und unterbrechungsfreie Stromversorgung | 24 |
| 1.6.4. Netzgeführter Einsatz und Teilnahme am Regelenergiemarkt                                   | 25 |
| 1.6.5. Kerngrößen für den Speichervergleich                                                       | 27 |
| 1.6.6. Technologien                                                                               | 29 |
| 1.6.6.1. Lithiumbatterien                                                                         | 29 |
| 1.6.6.2. Bleibatterien                                                                            | 31 |
| 1.6.7. Dezentrale Speicherung mit stationären und nicht-stationären Speichern                     | 32 |
| 1.7. Anlagenüberwachung und -steuerung                                                            | 33 |
| II. Anlagenplanung                                                                                | 35 |
| 2.1. Voraussetzungen vor Ort                                                                      | 35 |
| 2.1.1. Standort                                                                                   | 35 |
| 2.1.2. Energiebedarf und Verbrauchsprofil                                                         | 37 |





|                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.2. Anforderungen an die Photovoltaikanlage                               | 37  |
| III. Kosten, Nutzen und Ertrag im Vergleich                                | 41  |
| 3.1. Kosten einer Photovoltaikanlage                                       | 41  |
| 3.2. Kosten für Speichersysteme                                            | 42  |
| 3.3. Finanzierung & Förderung                                              | 43  |
| 3.3.1. Rahmenbedingungen des EEG                                           | 44  |
| 3.3.2. Speicherförderung                                                   | 46  |
| 3.4. Amortisation, Rendite und Mehrwert durch Zusatznutzen                 | 48  |
| 3.4.1. Neuanlagen                                                          | 48  |
| 3.4.2. Neuanlagen mit Stromspeicher                                        | 49  |
| 3.4.3. Speichernachrüstung von Bestandsanlagen                             | 50  |
| 3.4.4. Geld verdienen am Regenergiemarkt                                   | 51  |
| 3.4.5. Nicht-monetärer Nutzen einer Photovoltaikanlage                     | 52  |
| IV. Erfolgreiche Beispiele aus der Praxis                                  | 55  |
| 4.1. Praxisbeispiel Einfamilienhaus                                        | 55  |
| 4.2. Praxisbeispiel Gewerbe                                                | 58  |
| V. Steuerliche Behandlung von Photovoltaikanlagen                          | 63  |
| VI. Garantie & Gewährleistungsrechte                                       | 65  |
| VII. Risiken, Versicherungen & Sicherheitsmaßnahmen & Sicherheitsmaßnahmen | 71  |
| VIII. Umweltbilanz & Recycling                                             | 75  |
| IX. Solarmarkt Deutschland. Heute und Morgen                               | 79  |
| X. Verzeichnisse                                                           | 81  |
| XI. Anbieter entdecken                                                     | 85  |
| XII. Impressum                                                             | 107 |



# Vorwort



## Liebe Leserin, lieber Leser,

die Einführung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes hat in Deutschland einen Boom bei der Photovoltaik ausgelöst und einen neuen Wirtschaftszweig begründet, der in einem mittlerweile ausgereiften Markt eine große Bandbreite an Produkten, Systemen und Dienstleistungen für die solare Stromerzeugung bereithält.

Viele Menschen, die sich für den Erwerb einer Photovoltaikanlage interessieren, haben den Wunsch, den eigenen energetischen Fußabdruck ökologischer zu gestalten, durch Selbsterzeugung und Eigenverbrauch die Abhängigkeit vom Energieversorger zu verringern, Stromkosten zu sparen sowie als Stromproduzent eine Rendite zu erwirtschaften.

Bis am Ende des Entscheidungsprozesses jedoch die Kaufentscheidung für ein konkretes Photovoltaiksystem fallen kann, müssen zukünftige Anlagenbetreiber zunächst ihren aktuellen und zukünftigen Bedarf festlegen und klären, welche Möglichkeiten am geplanten Standort bestehen.

Mit dem vorliegenden Green Guide Solar. Strom.Speicher 2017 möchten wir vom Deutschen CleanTech Institut (DCTI) Ihnen bei Ihrer Investitionsentscheidung helfen und als unabhängiger Anbieter Orientierungswissen zur Verfügung stellen. Neben der Vorstellung der einzelnen Komponenten und einem Vergleich der konkurrierenden Technologien und Ansätze, soll diese Publikation als Leitfaden dienen, damit Sie sich besser für eine Anlagenkonfiguration entscheiden können, die zu Ihren Bedürfnissen und Anforderungen passt.

Deutlich an Bedeutung gewonnen hat in den letzten Jahren auch das Thema Batteriespeicher.

Sinkende Kosten für Speichersysteme, die Anpassung von Batteriespeichern an die Anforderungen von Photovoltaikanlagen und die Entwicklung von intelligenten Steuerungssystemen haben es ermöglicht, dass der Einsatz von Speichern zur Steigerung des Eigenverbrauchsanteils mittlerweile auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten für Wohngebäude und Gewerbebetriebe zu einem attraktiven Ansatz geworden ist. Dem trägt diese Publikation Rechnung, indem die Rahmenbedingungen für den Einsatz von Batteriespeichern in Neu- und Bestandsanlagen vorgestellt werden.

Unser Ziel ist es, Sie mit allen wichtigen Informationen rund um die Anlagenplanung zu versorgen und Ihnen die Möglichkeiten aufzuzeigen, die Ihnen der Einsatz einer Photovoltaikanlage in Wohnhaus oder Gewerbegebäude bietet.

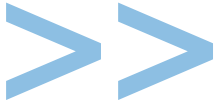
Eine spannende Lektüre und viele neue Erkenntnisse rund um die Photovoltaikanlage wünscht Ihnen

Leo Ganz  
Managing Partner des DCTI



# | ● Die Photovoltaikanlage

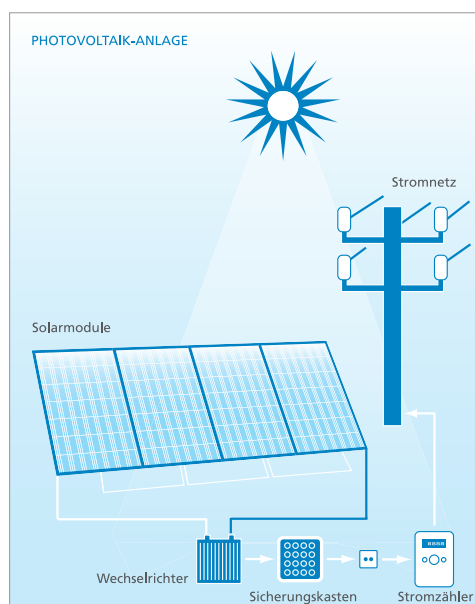




## I. Die Photovoltaikanlage – Module, Wechselrichter und Speicher im System

Während Solarthermieranlagen die einfallende Sonnenenergie in Wärmeenergie umwandeln, die zum Heizen oder für die Warmwasserversorgung genutzt werden kann, wandeln Photovoltaikanlagen einfallendes Licht in Strom um. Dieser kann entweder direkt vor Ort verbraucht werden, für den späteren Verbrauch in einer Batterie zwischengespeichert werden oder in das Stromnetz eingespeist werden. Um die solare Strahlungsenergie zu nutzen, kommen photoaktive Halbleiter zum Einsatz, die in Form einer Beschichtung oder von Solarzellen in einem Modul verarbeitet werden. Trifft ein von der Sonne ausgestrahltes Photon auf ein solches Modul, löst dies eine Elektronenbewegung aus und ein Spannungsgefälle entsteht. Der gewonnene Gleichstrom lässt sich in einer Batterie zur späteren Nutzung zwischenspeichern oder nach der Umwandlung in Wechselstrom über das Hausnetz verteilen und dort direkt vor Ort verbrauchen. Der überschüssige Strom wird in das öffentliche Stromnetz eingespeist und der Anlagenbetreiber erhält dafür im Rahmen des EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) eine Vergütung für jede Kilowattstunde. Zuständig für die Umwandlung zwischen Wechsel- und Gleichstrom ist ein Wechselrichter. Zusätzlich zu den bereits erwähnten Modulen und Wechselrichtern besteht eine Photovoltaikanlage noch aus einem Montagegestell, mit dem die Module sicher auf dem Dach montiert werden, sowie der Verkabelung, welche die einzelnen Module untereinander und mit dem Wechselrichter verbindet. Der Wechselrichter dient auch als Schnittstelle zum öffentlichen Stromnetz und regelt die Einspeisung des erzeugten Stroms.

< Grafik 1: Funktionsweise einer Photovoltaikanlage, Quelle: DCTI >



Zunehmend werden auch Stromspeicher und Energiemanagementsysteme integraler Bestandteil von Solarstromanlagen und können den Funktionsumfang deutlich erweitern. Diese Lösungen sind zum Teil als eigenständige Geräte verfügbar, werden heute aber auch bereits in den Wechselrichter integriert.

Stellen Anlagenstandort und die Anforderungen des zukünftigen Betreibers den Installateur vor keine besonderen Herausforderungen, sind oftmals sogenannte Systemkits üblich, die alle für die Errichtung

# Die Photovoltaikanlage

## Die Photovoltaikanlage

einer Anlage benötigten und aufeinander abgestimmten Komponenten wie Module, Montagegestell, Wechselrichter oder einen optionalen Batteriespeicher beinhalten. Diese stellen eine komfortable Lösung für den Endkunden und Installateur dar, da die Zusammenstellung durch den Hersteller oder Großhändler sicherstellt, dass alle Komponenten reibungslos zusammenarbeiten. Der geringere Aufwand für die Planung der Anlage kann sich zudem positiv auf die Systemkosten auswirken. Gelten am jeweiligen Standort besondere bauliche Voraussetzungen oder müssen individuelle Bedürfnisse des Kunden wie zum Beispiel besondere Lastprofile, die in den Arbeitsabläufen eines Gewerbebetriebs begründet sind, berücksichtigt werden, können erfahrene Installateure und Solarteure die Komponenten auch individuell zusammenstellen und dadurch ein optimales Anlagen-design gewährleisten.

### 1.1. Das Photovoltaikmodul – kristallin und Dünnschicht

Die Photovoltaikmodule bilden das Herz einer Solaranlage, denn in ihnen findet die Stromerzeugung statt. In den Modulen sind entweder Dünnschichtzellen oder kristalline Solarzellen verbaut. Während die Herstellungskosten pro Watt bei Dünnschichtmodulen niedriger sind, verfügen kristalline Module über einen höheren Wirkungsgrad, erlauben also auf der gleichen Fläche eine höhere Ausbeute an Solarstrom. Kristalline Solarzellen sind dabei die älteste und derzeit mit einem Marktanteil von rund 85 Prozent auch die am weitesten verbreitete Technologie. Bei den kristallinen Modulen kann zwischen monokristallinen und polykristallinen Modulen unterschieden werden. Sowohl bei mono- als auch bei polykristallinen Modulen dient hochreines Silizium als Halbleiter. Bei polykristallinen Solarzellen wird das geschmolzene Silizium in Blöcke gegossen und anschließend in Scheiben (Wafer) geschnitten, aus denen anschließend die Zellen und schließlich die Module entstehen. Bei der monokristallinen Zellproduktion hingegen werden aus der flüssigen Siliziummasse Stäbe (Ingots) gezogen, die zu Wafern, Zellen und schließlich zu Modulen weiterverarbeitet werden.

Anders als bei den kristallinen Modulen wird der Halbleiter bei den Dünnschicht-Modulen nicht zersägt, sondern direkt als dünne Schicht auf ein Substrat wie Glas oder andere flexible Trägermaterialien aufgebracht. Im Vergleich zu kristallinen Zellen sind Dünnschichtzellen bis zu 50-mal dünner, dementsprechend niedriger sind die Materialkosten. Die bereits heute erfolgreich kommerziell eingesetzten Dünnschicht-Technologien lassen sich nach den verwendeten Materialien unterscheiden in:

- Amorphe (a-Si) und mikromorphe Solarzellen ( $\mu$ -Si)
- Zellen aus Cadmium-Tellurid (CdTe)
- Zellen aus Kupfer-Indium-Selen (CIS) sowie aus Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (CIGS)

Dünnschichtzellen haben gegenüber kristallinen Modulen den Vorteil, dass sie diffuses – also indirektes – Licht effizienter nutzen können als kristalline Solarzellen. Dementsprechend gut sind Dünnschichtmodule geeignet, wenn die örtlichen Gegebenheiten eine optimale Ausrichtung und Neigung der Photovoltaikmodule bei der Installation nicht zulassen. Außerdem fallen bei den Dünnschichtmodulen bei Erwärmung des Moduls die Verluste geringer aus.

### 1.1.1. Kerngrößen für den Modulvergleich

#### Wirkungsgrad & Effizienz

Der Wirkungsgrad eines Solarmoduls ergibt sich aus dem Verhältnis zwischen der auf das Modul treffenden solaren Strahlungsenergie und der daraus erzeugten Leistung. Alle in den Produktdatenblättern der Hersteller angegebenen Werte werden unter standardisierten Testbedingungen ermittelt. Modulwirkungsgrad und Wechselrichterwirkungsgrad bilden die bestimmenden Größen für den Gesamtwirkungsgrad einer Solaranlage. Derzeit erreichen monokristalline Module den höchsten Wirkungsgrad, gefolgt von polykristallinen Modulen. Grundsätzlich fällt der Wirkungsgrad bei Dünnschichtmodulen niedriger aus, unterscheidet sich jedoch stark je nach Technologie. Während der Wirkungsgrad kommerzieller amorpher Siliziummodule derzeit bei rund fünf bis neun Prozent liegt, nähert sich die  $\text{Cl(G)S}$ - und Cadmium-Tellurid-Module der führenden Anbieter in ihrem Wirkungsgrad bereits dem der polykristallinen Module an.

< Grafik 2: Wirkungsgrad von kommerziellen Photovoltaikmodulen nach Technologien,  
Quelle: DCTI 2017 >

**Wirkungsgrad von kommerziellen Photovoltaikmodulen nach Technologien:**

| Dünnschicht             |                  | Kristallin |                  |
|-------------------------|------------------|------------|------------------|
| amorph                  | 5 bis 9          | mono       | 14 bis 22        |
| Cl (G) S                | 13 bis 15        | poly       | 13 bis 17        |
| Cadmium-Tellurid        | Bis 16           |            |                  |
| Organische Photovoltaik | Bis 3            |            |                  |
|                         | in Prozent (ca.) |            | in Prozent (ca.) |

# Die Photovoltaikanlage

## Die Photovoltaikanlage

Bei den einzelnen Technologien unterscheidet sich jedoch der Wirkungsgrad auch von Hersteller zu Hersteller. So können Premiumanbieter mit dem gleichen Halbleitermaterial aufgrund besserer Produktionsprozesse und einer überlegenen Technologie teils deutlich höhere Wirkungsgrade als die Konkurrenz erzielen, was sich positiv auf den Ertrag der Anlage auswirkt.

Die Entscheidung für eine Technologie sollte allerdings nicht nur abhängig vom Wirkungsgrad getroffen werden. So sind die Kosten (in Euro je Watt) für monokristalline Module in der Regel deutlich höher als für Dünnschichtmodule. Steht also ausreichend Fläche für die gewünschte Anlagenleistung zur Verfügung, kann auch die Entscheidung für ein Modul mit einem geringeren Wirkungsgrad die richtige sein, wenn dieses für einen entsprechend niedrigeren Preis angeboten wird.

### Degradation

Über die Jahre sinken bei jeder Photovoltaikanlage der Wirkungsgrad und damit auch der Stromertrag. Diese unvermeidbare Entwicklung muss von Anfang an bei der Anlagenplanung und der Wirtschaftlichkeitsberechnung berücksichtigt werden. Einige Degradationsursachen können bei allen Technologietypen auftreten, andere wiederum sind für einzelne Technologien typisch. Zu den technologieübergreifenden Einflussfaktoren, die den Wirkungsgrad herabsetzen können, zählen die Korrosion des Schutzglases, Moosbildung auf der Moduloberfläche und die Korrosion der Zellen in Folge von eindringender Feuchtigkeit. Durch Auswahl der verwendeten Materialien, optimierte Herstellungsprozesse und eine sorgfältige Qualitätskontrolle können Hersteller jedoch Einfluss auf den Grad dieser Form der Degradation nehmen.

Auch das auf die Module treffende Licht löst – in erster Linie bei kristallinen Modulen und bei Zellen aus amorphem Silizium – eine Degradation aus. Dabei handelt es sich nicht um einen Fehler, sondern um eine technologietypische Erscheinung. In Prüflaboren lassen sich diese Alterungsprozesse künstlich simulieren und Hersteller können aufgrund der gewonnenen Daten ihren Kunden entsprechende Garantiezusagen machen.

Bei kristallinen Solarzellen sinkt nach einer Anfangsdegradation von bis zu zwei Prozent der Wirkungsgrad über den Nutzungszeitraum relativ kontinuierlich je nach Datengrundlage mit rund 0,1 bis 0,5 Prozent jährlich ab. Unter den Dünnschicht-Modulen ist in erster Linie beim Einsatz von amorphem Silizium (a-Si) eine hohe Anfangsdegradation zu beobachten, die innerhalb der ersten 1.000 Betriebsstunden Werte zwischen 10 und 15 Prozent erreichen kann. Anschließend bleibt die Nennleistung jedoch relativ konstant. Anbieter von Modulen mit amorphem Silizium weisen in ihren Produktblättern die Leistungsfähigkeit des Moduls nach der anfänglichen Degradation aus. Der Kunde erhält also ein Modul, das nach Inbetriebnahme zunächst sogar eine höhere Leistung erzielt als vom Hersteller angegeben.



Demgegenüber ist die durch Licht ausgelöste Degradation bei anderen Dünnschichtmodulen auf Basis von Cadmium-Tellurid (CdTe) oder Cadmium-Indium-Diselenid (CIS) eher vernachlässigbar. Dafür kann die dünne Beschichtung zu internen Kurzschlüssen führen und Temperaturveränderungen können in einzelnen Fällen die Metallkontakte beschädigen, welche die einzelnen Zellen miteinander verbinden. Einen weiteren Einfluss auf die Degradation können Alterungsprozesse beim Material ausüben, das für die Einkapselung verwendet wird. Dies führt dazu, dass für Dünnschicht-Module eine jährliche Degradation von 0,25 bis 0,5 Prozent pro Jahr angenommen werden sollte [DGS: 2008, S. 294].

#### Temperaturabhängigkeit

Die Nennleistung eines Moduls wird unter Standardtestbedingungen bei einer Zelltemperatur von 25 °C ermittelt. Die tatsächliche Leistungsfähigkeit einer Anlage ist jedoch abhängig von der Temperatur, die an den Modulen herrscht. Steigt die Temperatur, geht die Leistung der Module zurück und der Anlagenenertrag sinkt. Die Höhe der temperaturbedingten Leistungsverluste unterscheidet sich bei den einzelnen Technologien und ist bei Dünnschicht-Modulen schwächer ausgeprägt als bei den kristallinen. Für jedes Modul findet sich daher im Produktdatenblatt ein Temperaturkoeffizient. Dieser gibt an, wie stark die Leistung prozentual sinkt, wenn sich die Temperatur um 1 °C erhöht. Bei kristallinen Modulen liegt dieser Wert zwischen -0,4 und -0,5 Prozent, für die beiden Dünnschicht-Technologien CIS und CdTe sind es mit -0,2 bis -0,25 Prozent rund die Hälfte.

Das gleiche Modul, das an einem Frühlingstag oder einem Sommertag mit bedecktem Himmel eine Temperatur von 25 °C aufweist und mit einem Wirkungsgrad von 18 Prozent arbeitet, kann sich einem heißen Sommertag durchaus auf 60 bis 70 Grad erwärmen, wodurch sich die maximale Leistung um rund 20 Prozent verringern kann. Bei klassischen Aufdachanlagen ist durch den Abstand zum Dach die Hinterbelüftung meist ausreichend, um die temperaturbedingten Leistungsverluste zu begrenzen. Bei der vollständigen Dachintegration einer Anlage sollte jedoch ein entsprechender Leistungsverlust in der Wirtschaftlichkeitsberechnung berücksichtigt werden.

## 1.2. Der Wechselrichter

Die Module einer Solaranlage erzeugen Gleichstrom, der vor dem Verbrauch durch auf Wechselstrom ausgelegte Haushaltsgeräte oder der Einspeisung in das öffentliche Stromnetz zunächst in Wechselstrom umgewandelt werden muss. Ein Wechselrichter führt diese Umwandlung durch, steuert die Einspeisung und überwacht den Netzanschluss. Tritt eine Netzstörung auf, wird die Anlage automatisch getrennt und so eine Beschädigung vermieden.

# Die Photovoltaikanlage

## Die Photovoltaikanlage

### 1.2.1. Technologien, Wirkungsweise und Eigenschaften

#### Wirkungsgrad

Bei der Umwandlung von Gleichstrom in Wechselstrom treten Verluste unvermeidbar auf. Ziel der Wechselrichterhersteller ist es aber, diesen Verlust möglichst gering zu halten, da selbst ein geringfügig niedriger Wirkungsgrad sich über die lange Laufzeit einer Photovoltaikanlage signifikant auf den Gesamtertrag auswirkt. Qualitativ hochwertige Wechselrichter erreichen heute einen maximalen Wirkungsgrad von bis zu 99 Prozent. Während einphasige Wechselrichter den Gleichstrom auf 230 Volt Wechselstrom umwandeln, kommen bei größeren Anlagen dreiphasige Wechselrichter zum Einsatz, die eine Ausgangsspannung von 400 Volt erzeugen.

Jeder Wechselrichter verfügt über mindestens einen Maximum Power Point-Tracker (MPP-Tracker), der für jede Einstrahlungsbedingung und jedes Temperaturniveau an den Modulen die Kombination aus Spannung und Strom ermittelt, bei welcher der Wechselrichter die maximal mögliche Leistung erzeugt. Welche Leistung die Anlage tatsächlich erzeugt und wie hoch der Gesamtwirkungsgrad der Photovoltaikanlage ist, hängt also auch davon ab, wie exakt der MPP-Tracker arbeitet und wie schnell dieser auf Veränderungen reagieren kann.

#### Lebensdauer

Anders als bei den Modulen fällt die durchschnittliche Lebensdauer von Wechselrichtern mit rund 10 bis 15 Jahren deutlich niedriger aus. Nach 15 Betriebsjahren liegt die Ausfallquote bei rund 50 Prozent. Anlagenbetreiber sollten also bereits bei der Renditekalkulation ihrer Anlage berücksichtigen, dass Wechselrichter während der angestrebten Betriebszeit der Anlage von 20 bis 25 Jahren ein bis zweimal ausgetauscht werden müssen. Üblicherweise liegen die Garantiezeiten für Wechselrichter bei 5 Jahren, einige Hersteller bieten gegen Aufpreis jedoch auch eine Verlängerung der Garantiezeit auf bis zu 25 Jahre an. Dies ermöglicht es risikoaversen Anlagenbetreibern, sich gegen einen Ausfall des Wechselrichters abzusichern.

#### Mit oder ohne Trafo

Wechselrichter, die ohne Trafo auskommen, eignen sich für alle Anlagen, in denen kristalline Module verbaut sind und in denen keine Teilverschattung der Module im Tages- und Jahreszeitenverlauf erfolgt. In der Regel sind trafolose Wechselrichter günstiger als Wechselrichter mit Trafo, da weniger Komponenten benötigt werden. Im Vergleich zu Wechselrichtern mit Trafo ist der Wirkungsgrad in der Regel höher, da die Geräte mit nur einer Wandlerstufe auskommen. Bei Anlagen, in denen Dünnschicht-Module verwendet werden, sollte bei der Wahl eines traflosen Wechselrichters darauf geachtet werden, dass diese mit der jeweiligen Technologie kompatibel sind, da es anderenfalls zu einer Beschädigung der Module kommen kann, wenn diese eine negative Erdung benötigen. So lassen sich trafolose Wechselrichter zum Beispiel mit CIS-Modulen kombinieren, eignen sich jedoch nicht für den Einsatz mit amorphen Modulen oder CdTe-Modulen.

Ein Vorteil der Transformatorgeräte ist, dass Gleich- und Wechselstrom in voneinander unabhängigen Stromkreisen geführt werden. Dies dient dem Schutz der Photovoltaikanlage vor Überspannungen.

### 1.2.2. Zentral-, Multistring-, Modul- oder Batteriewechselrichter

#### Zentral-Wechselrichter

Diese Wechselrichter kommen in großen Photovoltaikanlagen mit einer Leistung von meist mehr als 100 kWp zum Einsatz wie sie auf großen Gewerbe- und Industriedachflächen zu finden sind. Durch die Zusammenführung aller Modulstränge an einem einzigen Wechselrichter lässt sich eine Vielzahl von kleineren Wechselrichtern ersetzen. So findet die Wartung an einem zentralen Ort statt und einzelne kleinere Wechselrichter, die ausfallen, müssen nicht regelmäßig ersetzt werden. Fällt jedoch der Zentralwechselrichter aus, erzeugt jedoch die ganze Anlage keinen Strom mehr. Durch die Vereinfachung bei Wartung und Überwachung ergeben sich für den Nutzer Kostenvorteile. Von Seiten der Hersteller werden entsprechende Wartungsverträge angeboten, die auch eine Fernüberwachung der Anlage beinhalten.

#### Multi-String-Wechselrichter

Diese Wechselrichter verfügen über mehrere MPP-Tracker, die jeweils für einen eigenen Modulstrang den MPP überwachen. Es können also mehrere Modulstränge, bei denen jeweils unterschiedliche MPPs vorherrschen, an einem Wechselrichter angeschlossen werden, ohne dass der Ertrag der gesamten Anlage von dem schwächsten Strang bestimmt wird. Für jeden Strang gilt, dass das schwächste Modul die Leistung des gesamten Strangs bestimmt und in der Praxis werden Module mit ähnlicher Leistung in einem Strang in Reihe geschaltet. Der Einsatz von Multi-String-Wechselrichtern empfiehlt sich somit vor allem dann, wenn bei einer Anlage in einzelnen Bereichen der Moduloberfläche unterschiedliche Einstrahlungsbedingungen vorherrschen. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn ein Teil der Modulfläche von Bäumen, dem Kamin oder Gauben verschattet wird.

#### Modul-Wechselrichter

Relativ neu auf dem Markt sind die sogenannten Modul-Wechselrichter, bei denen die Umwandlung von Gleichstrom in Wechselstrom direkt am Modul erfolgt. Jedes Modul der Anlage ist mit einem eigenen einphasigen Wechselrichter ausgestattet und der MPP wird für jedes einzelne Modul und nicht nur für einen Strang oder die gesamte Anlage berechnet. Dementsprechend wirken sich Teilverschattungen der Anlage nicht negativ auf die Leistung von nichtverschatteten Modulen aus und auch Module mit einer unterschiedlichen Ausrichtung lassen sich in einer Installation kombinieren. Modulwechselrichter eignen sich daher auch für den Einsatz in mobilen Anwendungen.

# Die Photovoltaikanlage

## Die Photovoltaikanlage

Modul-Wechselrichter sind derzeit noch teurer als konventionelle Multi-String-Wechselrichter und auch der Wirkungsgrad liegt mit rund 90 Prozent deutlich unter dem Niveau qualitativ hochwertiger, konventioneller Wechselrichter, die einen Wirkungsgrad von bis zu 99 Prozent erreichen. Im Vergleich zu zentral aufgestellten Wechselrichtern ist es zudem schwieriger, Fehlerquellen zu identifizieren und der Austausch einzelner Modul-Wechselrichter bedeutet beispielsweise bei einer Aufdachanlage einen zeitlichen Mehraufwand. Auf der anderen Seite erleichtern solche Mikro-Inverter-Module die Installation, da keine Gleichstromverkabelung der einzelnen Module erfolgen muss. Dem höheren Preis stehen damit Kosteneinsparungen bei der Installation gegenüber. Aufgrund der aufgeführten Eigenschaften werden solche Wechselrichter vor allem in kleineren Anlagen mit einer Leistung von etwa 100 W bis 1,4 kWp eingesetzt [Öko-Institut e.V.: 2012, S. 7]. Modulwechselrichter werden auch in den sogenannten Mini- oder Heim-Solaranlagen genutzt, bei denen der erzeugte Strom direkt über die Steckdose in das Hausnetz eingespeist wird.

### Batteriewechselrichter

Soll eine Photovoltaikanlage mit einem Batteriespeicher ausgestattet werden, lässt sich dieser sowohl im Wechselstromkreis (AC) als auch im Gleichstromkreis (DC) anschließen.

Im ersten Fall erfolgt die Steuerung des Ladevorgangs mit Hilfe eines speziellen Wechselrichters, der für diese Aufgabe ausgelegt sein muss. Ein Laderegler steuert das Laden des Akkumulators mit dem Gleichspannungsstrom aus den Photovoltaikmodulen, was einen hohen Wirkungsgrad garantiert. Überschüssiger Strom wird vom Wechselrichter in Wechselstrom umgewandelt und in das Stromnetz eingespeist. In der Regel ist dies eine kostengünstige Lösung für Neuanlagen, bei der Nachrüstung von Bestandsanlagen mit einem Speicher muss eventuell der Wechselrichter ausgetauscht werden, wenn er nicht über einen integrierten Laderegler verfügt. Die Anlage enthält bei dieser Lösung ein einzelnes Gerät, in dem Speicher, Laderegler und Wechselrichter integriert sind. Auch Strom aus dem öffentlichen Stromnetz kann prinzipiell zum Laden des Speichers genutzt werden. Verfügt der Wechselrichter einer Bestandsanlage nicht über die Möglichkeit, Batteriespeicher zu steuern, so lassen sich Akkumulator und eine externe Ladesteuerung auch zwischen den Modulen und dem Wechselrichter verschalten, sodass die Batterien weiterhin mit dem Gleichspannungsstrom aus der Solaranlage geladen werden können.

Soll ein Anschluss des Stromspeichers im Wechselstromkreis erfolgen, wird der von der Solarstromanlage erzeugte Gleichstrom zunächst über einen Wechselrichter in Wechselstrom transformiert. Der Solarstrom wird an die Verbraucher geleitet und ein eventueller Stromüberschuss von einem Batteriewechselrichter wieder in Gleichstrom umgewandelt. Anschließend lässt er sich in einer Batterie speichern. Ist die Batterie vollgeladen, wird weiterhin überschüssiger Strom in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Die entsprechende Leitung der Ströme erfolgt über eine Steuerungseinheit. Prinzipiell ist es auch möglich, die Batterie mit Strom aus dem öffentlichen Stromnetz zu laden.

## 1.3. Das Montagesystem

Mit Hilfe spezieller Photovoltaikmontagesysteme werden die Module fixiert und dauerhaft an ihrem Einsatzort montiert. Der Vielfalt an Dachkonstruktionen und möglichen Standorten steht eine große Bandbreite an Montagesystemen gegenüber, die an die statischen Voraussetzungen und Dachformen angepasst sind. So gibt es unterschiedliche Lösungen für Schrägdächer, Flachdächer, Blechdächer, Fassaden oder auch gebäudeintegrierte Anlagen. Kommen diese mit wenigen Verschraubungen oder Universalklemmen aus, sinkt der Zeitaufwand des Installateurs und damit auch die Montagekosten für den Endkunden. Während einige Montagesysteme nur mit einzelnen Modultypen kompatibel sind, sind auf dem Markt auch universelle Lösungen erhältlich, die eine große Bandbreite an Modulrahmenhöhen und -größen abdecken.

Werden bei normalen Schrägdächern die Module meist parallel zum Dach installiert, sorgt eine Aufständigung bei Flachdächern für die richtige Neigung und Ausrichtung der Module und damit für einen höheren Ertrag.

Neben dem Ertrag spielt die richtige Neigung der Module auch für die Selbstreinigung eine wichtige Rolle, da nur bei ausreichender Neigung von mindestens 20° einfallender Regen Verschmutzungen entfernen kann und somit eine manuelle Reinigung entfällt.

Neben dem Eigengewicht der Anlage wirken zusätzliche Kräfte wie Windeinfall und Schneelast auf die Konstruktion ein. Diese Kräfte gilt es bei der Auslegung des Montagesystems und in ihren Auswirkungen auf die Statik des Gebäudes zu berücksichtigen. Mehrere Hersteller von Montagesystemen und führende Großhändler bieten Softwarelösungen an, mit denen der Installateur den Unterbau berechnen und an den geplanten Anlagenstandort anpassen kann. Dennoch liegt es in der Verantwortung des Anlagenbetreibers, ausreichende Reserven der Gebäudestatik für die Installation einer Photovoltaikanlage sicherzustellen. Denn in der Regel legen Installationsbetriebe hinsichtlich der Gebäudestatik die Angaben des Anlagenbesitzers zugrunde und übernehmen keine Haftung für Schäden, die durch falsche statische Annahmen entstehen.

### 1.3.1. Die Aufdachanlage

Montagesysteme für Anlagen auf Dächern, die bereits über die richtige Neigung verfügen, werden meist aus Aluminium oder Edelstahl hergestellt. Die Montagesysteme für Schrägdächer werden in der Regel in Form eines Kreuzschienensystems oder mit einlagig parallel zueinander ausgerichteten Profilen montiert. Während Kreuzschienensysteme in erster Linie verwendet werden, um Module querkant auf dem Dach anzubringen, reichen einlagig parallele Systeme aus, um die Module hochkant einzuordnen.



# Die Photovoltaikanlage

## Die Photovoltaikanlage

Aufgrund des geringeren Materialbedarfs und der kürzeren Montagezeit sind einlagige Systeme deutlich kostengünstiger und stärker verbreitet. Allerdings ist dabei zu beachten, dass in Einzelfällen die Verwendung einlagiger Systeme aufgrund der Beschaffenheit des jeweiligen Daches nicht möglich oder sogar weniger effizient ist, wenn mit einem Kreuzschienensystem alternativ mehr Module verbaut werden können.

Um die Schienen auf dem Dach zu befestigen, werden einzelne Dachpfannen zunächst entfernt, um Dachhaken an den Sparren anzubringen, die anschließend die Schienen tragen. Klemmen fixieren schließlich die Module an diesen Schienen. Dabei ist es meist möglich, die Module hoch- oder querkant zu installieren, sodass sich das Anlagendesign an die vorgegebene Dachform und -größe anpasst. Bei Aufdachanlagen, die parallel zur Dachfläche installiert werden, ist die Windzone entscheidend für die Stabilität verantwortlich, da hier Sogkräfte auftreten können. Die richtige Anzahl an Befestigungspunkten bemisst sich am Verhältnis der Dachhaken zur installierten Modulfläche.

### 1.3.2. Photovoltaiksysteme auf Flachdächern

Soll die Photovoltaikanlage auf einem Flachdach Strom erzeugen, müssen die Module mit Hilfe eines geeigneten Montagesystems in eine entsprechende Neigung und Ausrichtung gebracht werden. Die Module müssen ausreichend fixiert oder mit Ballast gesichert werden, damit die Konstruktion Sogkräften oder Winddruck standhalten kann und Starkwind die Modulreihe nicht umstoßen beziehungsweise vom Dach reißen kann. Neben einer Aufständigung mit Hilfe von Aluminium- oder Edelstahlprofilen bietet sich hier auch die Verwendung von Kunststoffsystemen an. Die Materialkosten für Recyclingkunststoff sind für die Hersteller deutlich niedriger als für Metall, zudem fällt die Umweltbilanz besser aus.

Verfügbar sind zum einen Schienensysteme, welche die Anlage fest mit dem Flachdach oder dessen Unterkonstruktion verbinden. Dabei ist jedoch in der Regel eine Durchbohrung nötig, sodass die Dachhaut bei der Installation beschädigt wird. Dementsprechend wichtig sind eine sorgfältige Durchführung der Installation und eine entsprechende Abdichtung, da andernfalls Regenwasser durch die Dachhaut eindringen kann.

Zum anderen werden Ballastierungslösungen angeboten, bei denen das Montagesystem lose auf dem Dach aufliegt und die Stabilität aus seinem Eigengewicht und einer zusätzlichen Beschwerung bezieht. Dies erfolgt bei den Metallgestellen in der Regel mit Hilfe von Betonplatten. Eine weitere Lösung, die ohne Durchbohrung auskommt, sind Wannen aus Kunststoff oder Faserzement, die mit Kies oder anderen Materialien beschwert werden und anschließend die Module tragen. Gegenüber einer fixierten Aufständigung fällt bei dieser Montageart jedoch das Gewicht der Installation aufgrund des Ballasts deutlich höher aus.

Es hängt also maßgeblich von der Statik des Untergrunds ab, ob dieser geeignet ist. Neben der Dacheignung müssen zusätzliche statische Faktoren berücksichtigt werden. Eventuelle Mehrlasten durch Schnee, der sich in Form von Schneeverwehungen unter den aufgeständerten Modulen sammeln kann, führen dazu, dass die Lastannahmen deutlich höher ausfallen müssen, als das eigentliche Gewicht der Anlage annehmen lässt.

Auch bei Flachdachanlagen sind gebäudeintegrierte Lösungen möglich. Diese zeichnen sich durch ein besonders niedriges Eigengewicht aus und eignen sich somit vor allem für Flachdächer, deren Statik für andere Lösungen nicht ausreicht. Bei der Indachmontage werden flexible Photovoltaikmodule in Dachbahnen eingebracht, die anschließend auf dem Flachdach ausgerollt und mit diesem verklebt werden.

### 1.3.3. Gebäudeintegration von Photovoltaikanlagen

Die sogenannten gebäudeintegrierten Anlagen werden nicht auf bereits bestehende Bauelemente wie Dachziegel oder Fassade aufgebracht. Sie ersetzen diese und übernehmen damit neben der Stromerzeugung weitere Aufgaben wie den Wetterschutz. Bei der Dachintegration wird die Anlage direkt auf die Sparren montiert und übernimmt die Funktion der Dachziegel. Daher muss gewährleistet sein, dass beispielsweise Schnee oder Regen nicht in das Gebäude eindringen können. Dieser Anspruch macht sich auch im Preis bemerkbar. So sind gebäudeintegrierte Anlagen - sowohl was das System als auch dessen Montage betrifft - deutlich teurer und aufwändiger als klassische Aufdachanlagen. Dies gilt insbesondere dann, wenn ein bereits bestehendes Gebäude mit einer Photovoltaikanlage nachgerüstet werden soll. Bei Neubauten oder wenn eine Dachsanierung ansteht, müssen die höheren Kosten mit den Einsparungseffekten, die durch den Wegfall einer traditionellen Dachindeckung auftreten, gegengerechnet werden.

Der Stromertrag fällt bei gebäudeintegrierten Anlagen meist etwas niedriger aus als bei Aufdachanlagen, da die Hinterlüftung der Module in der Regel schlechter ist, was sich negativ auf den Wirkungsgrad der Module auswirkt.

## 1.4. Steckverbinder, Anschlussdosen & Leitungen

Spezielle Steckverbinder und Kabel verbinden die einzelnen Module, die über Anschlussdosen an den Strang angeschlossen werden, miteinander und leiten dem Wechselrichter den erzeugten Gleichstrom zu. Die Wahl der Steckverbinder und Leitungen hängt von der verwendeten Modultechnologie und Anlagengröße ab. Schließlich erfolgt auch auf der Wechselstromseite eine Verkabelung, die den Strom vom Wechselrichter zum Netzeinspeisepunkt leitet.



# Die Photovoltaikanlage

## Die Photovoltaikanlage



Ebenso wie die anderen Komponenten einer Photovoltaikanlage sollte auch die gesamte Verkabelung auf eine Lebensdauer von 20 bis 25 Jahren ausgelegt sein. Dabei stellen Umwelteinflüsse – maßgeblich Sonne, Niederschlag und Temperaturschwankungen – hohe Anforderungen an das Material, das hohen Temperaturen ausgesetzt ist und sein Isolierverhalten auch bei Feuchtigkeit aufrecht erhalten muss. So kann es bei gebäudeintegrierten Anlagen zum Auftreten von Schweißwasser kommen oder sich auf einem Flachdach stehendes Wasser bilden. Eine in den Steckverbinder integrierte Verriegelung ist vorgeschrieben und verhindert, dass eine unter Spannung stehende Verbindung getrennt wird.

Ebenso wie Wechselrichter und Module leisten auch Steckverbinder einen wichtigen Beitrag zur Gesamteffizienz der Anlagen, denn eine hohe Kontaktqualität und niedrige Übergangswiderstände wirken sich positiv auf den Wirkungsgrad des Moduls, indem sie die Erwärmung der Verbindung begrenzen. Dies ist auch wichtig, da die unzulässige Erwärmung der Steckverbinder einen Brand auslösen kann.

Je größer die Anlage ist, desto wichtiger ist es auch, dass die einfache Handhabung der Steckverbinder dem Installateur eine schnelle und sichere Montage ermöglicht. Gewährleistet wird dies beispielsweise durch vorgefertigte Stringkoppelleitungen, die bereits aus einer Hauptleitung, dem Abgang und passenden Steckverbindern bestehen. In Hinblick auf die Kosten für die Verkabelung gilt die Faustregel, dass diese umso teurer sind, je größer der Querschnitt des Kabels ist. Um jedoch die Verluste bei der Stromübertragung möglichst gering zu halten, sollten die verwendeten Kabel nicht zu dünn dimensioniert sein. Denn je kleiner der Querschnitt und je länger die Kabel, desto höher fallen die Leitungsverluste aus.

### 1.5. Sicherungen & Schutzschalter

Treten an einer Solaranlage Fehlerströme auf, so können diese Schäden an dem System verursachen. Diese Risiken entstehen in erster Linie durch Kurzschlüsse oder Überlastungen. Die partielle Abschattung der Modulfläche kann ebenso wie defekte Komponenten dazu führen, dass ein Modulstrang keine Energie bereitstellt, sondern den Strom der übrigen Photovoltaikanlage als Last führt. Dieser Rückstrom stellt durch die Belastung von Verkabelung und Modulen eine Brandgefahr dar. Mit Hilfe von Strangdioden oder Strangsicherungen lässt sich jedoch Vorsorge gegen diese Gefahr treffen. Alternativ lässt sich die String-Sicherung auch als elektronische Sicherung direkt in den Wechselrichter integrieren. Neben dem Strangschutz dienen Sicherungen in Photovoltaikanlagen auch zum Schutz vor Überspannungen. Auch auf der Wechselstromseite der Anlage übernimmt der Überspannungsschutz die Absicherung gegenüber Überspannungen, die ihren Ursprung im Energieversorgungsnetz haben.

Photovoltaikanlagen sind aufgrund ihrer meist exponierten Lage dem Risiko eines Blitzeinschlags ausgesetzt, der Wechselrichter und Module beschädigen kann. Um Reparaturkosten und Ertragsausfall durch Blitzschäden zu vermeiden, ist ein geeigneter Blitzschutz dringend erforderlich. Unterschieden werden muss hier zwischen dem äußeren und dem inneren Blitzschutz. Ist ein äußerer Blitzschutz bereits vorhanden, lässt sich die Anlage innerhalb des Schutzbereiches montieren oder dieser kann erweitert werden, wenn die vorhandene Fläche nicht ausreicht. Der innere Blitzschutz schützt das Gebäudeinnere vor Spannungen bei einem Blitzeinschlag. Dafür werden die leitenden Installationen mit der Haupterdungsschiene verbunden und ein Überspannungsableiter im Sicherungskasten eingebaut. Viele Versicherungen verlangen in ihren Vertragsbedingungen – vor allem für Anlagen mit einer Leistung von mehr als 10 kWp – einen geeigneten Blitzschutz.

Mit Schaltgeräten ist es zudem möglich, Anlagenteile freizuschalten, damit bei Lösch- oder Rettungseinsätzen die Arbeiten gefahrenfrei durchgeführt werden können.

## 1.6. Der Stromspeicher

Erzeugt eine an das Stromnetz angeschlossene Photovoltaikanlage, die nicht mit einem Speicher ausgestattet ist, zu einem Zeitpunkt mehr Strom als in diesem Moment verbraucht wird, speist die Anlage den überschüssigen Stroms in das öffentliche Stromnetz ein. Liegt die Erzeugung zu einem Zeitpunkt hingegen unter dem lokalen Bedarf, wird die Bedarfslücke durch den Bezug von Strom aus dem Stromnetz geschlossen und die kontinuierliche Stromversorgung so sichergestellt. Eine netzgekoppelte Photovoltaikanlage lässt sich also grundsätzlich auch ohne einen Batteriespeicher betreiben. Dies war auch die gängige Praxis in den Anfangsjahren des EEG, in denen hohe Vergütungssätze für jede eingespeiste Kilowattstunde aus der eigenen Solaranlage garantiert waren. Durch die Absenkung der Vergütungssätze wird es für Anlagenbetreiber immer interessanter, den erzeugten Strom selbst zu verbrauchen und damit die Strombezugskosten zu senken. Speicher bieten die Möglichkeit, durch die zeitliche Entkopplung von Erzeugung und Verbrauch den Eigenverbrauchsanteil zu steigern.

Die Hersteller und Händler haben auf diese Veränderungen im Marktumfeld reagiert, sodass Interessenten inzwischen aus rund 300 verschiedenen Systemen ihren Wunschspeicher auswählen können. Einige Modelle folgen dabei einem modularen Aufbau und lassen sich auch im Nachhinein um zusätzliche Speichermodule erweitern, wenn sich der Speicherbedarf beispielsweise durch die Vergrößerung der vorhandenen Photovoltaikanlage oder ein verändertes Verbrauchsverhalten ändert.

# Die Photovoltaikanlage

## Die Photovoltaikanlage

Alle Speicher sind mit einem Energiemanagementsystem ausgestattet, das die Betriebsführung des Speichers regelt. Diese Ladeelektronik verarbeitet eine Vielzahl an Informationen wie aktuelle Strombezugpreise, momentane Verbraucherlast, Fehlerfälle im Stromnetz oder den aktuellen Ladezustand und gibt darauf basierend entsprechende Steuerbefehle, welche die Be- und Entladung des Speichers auslösen. Zudem lassen sich entsprechende Profile hinterlegen, die dem individuellen Nutzungsverhalten und den jahreszeitlich bedingten Schwankungen Rechnung tragen.

Je nach Komplexität der Software und verfügbarer Schnittstellen wie einem Ethernetanschluss können Batteriemanagementsysteme jedoch noch weitere Aufgaben im Hausenergiesystem übernehmen und die wirtschaftliche Betriebsführung bei der Be- und Entladesteuerung verbessern. Die Einbindung steuerfähiger Geräte im Rahmen von Smart Home Lösungen sowie der Einsatz von Verbrauchs- und Erzeugungsprognosen erlauben die optimierte Betriebsführung von Batteriespeichern. Über eine Internetanbindung lassen sich Systemzustände visualisieren und dynamische Anlagendaten stehen für den Fernabruf zur Verfügung. Zudem lassen sich Wetterprognosen für die Steuerung der Be- und Entladeprozesse nutzen.

### 1.6.1. Mit Speichern den Eigenverbrauchsanteil steigern

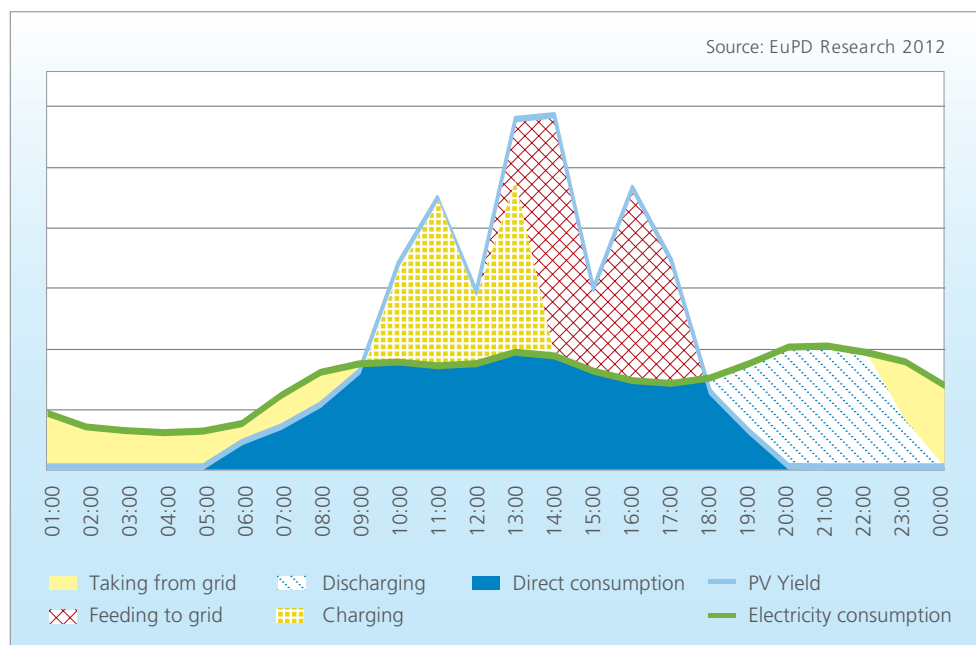
Erst in den letzten Jahren sind Batteriespeicher für Neuanlagen oder die Nachrüstung von Bestandsanlagen zu einem Thema geworden, das zunehmend an Bedeutung gewinnt. Denn die Kombination aus sinkenden Vergütungssätzen für Neuanlagen und steigenden Strombezugskosten hat in den letzten Jahren dazu geführt, dass der Eigenverbrauchsanteil des selbst erzeugten Stroms zu einer wichtigen Kenngröße für die Wirtschaftlichkeit einer Photovoltaikanlage geworden ist. Denn mit jeder selbst verbrauchten Kilowattstunde spart der Anlagenbetreiber Strombezugskosten bei seinem Energieversorger von rund 30 Cent. Dem gegenüber steht bei Neuanlagen ein Erlös von rund 12 Ct für jede Kilowattstunde, wenn der erzeugte Strom gegen EEG-Vergütung in das Stromnetz eingespeist wird. Der Unterschied macht deutlich, dass sich durch den Eigenverbrauch mehr Geld sparen lässt als mit der Einspeisung verdient wird.

Die typische Erzeugungskurve einer nach Süden ausgerichteten Photovoltaikanlage bildet einen glockenförmigen Verlauf. So beginnt die Stromerzeugung bei Sonnenaufgang, erreicht ihr Maximum, wenn die Sonne im Zenit steht und weist bis zum Sonnenuntergang einen abnehmenden Verlauf auf. Die tatsächlichen Lastprofile beim Verbrauch von Haushalten oder Gewerbegebäuden weichen zum Teil deutlich von dieser Erzeugungskurve ab. Batteriespeicher, die mit einer verbrauchsorientierten Steuerung ausgestattet sind, versetzen den Anlagenbetreiber in die Lage, eine größtmögliche Deckung zwischen dem individuellen Lastprofil und der solaren Erzeugungskurve sicherzustellen. Möglich wird dies, indem durch den Speicher lokale Erzeugung und Verbrauch zeitlich entkoppelt werden.

Auf diese Weise lässt sich der Eigenverbrauchsanteil abhängig von der gewählten Größe des Batteriespeichers steigern und so der Strombezug vom Energieversorger reduzieren. Der Eigenverbrauchsanteil ist abhängig vom Lastprofil, der Konfiguration der Photovoltaikanlage und der Auslegung eines vorhandenen Speichers. In der Regel kann für einen durchschnittlichen und mit einer Photovoltaikanlage ausgestatteten Haushalt davon ausgegangen werden, dass der Eigenverbrauchsanteil ohne Einsatz eines Batteriespeichers bei rund 30 Prozent liegt. Mit Hilfe eines Speichers lässt sich dieser Anteil mehr als verdoppeln.

Bei Vorhaltung entsprechender Reservekapazitäten ist auch ein Anteil von 100 Prozent möglich, in der Praxis werden sich Anlagenbetreiber jedoch für einen niedrigeren Anteil entscheiden, da andernfalls die Vorhaltung hoher Reservekapazitäten zu entsprechenden Investitionskosten notwendig wäre. Auch vollständige Autarkie von Energieversorgungsunternehmen lässt sich erreichen, wenn Photovoltaikanlage und Batteriespeicher entsprechend dem individuellen Lastprofil dimensioniert werden. Was sich für mit dem Stromnetz erschlossene Regionen als unwirtschaftlich erweist, kann jedoch für mobile Anwendungen wie Caravaning oder an netzfernen Orten wie Gartengrundstücken oder Berghütten eine ökologische und wirtschaftliche Insellösung (Off-Grid System) darstellen.

< Grafik 3: Typische Stromnutzung eines Haushaltes mit Photovoltaikanlage und Speicher,  
Quelle: EuPD Research 2012 >





# Die Photovoltaikanlage

## Die Photovoltaikanlage

### 1.6.2. Load Levelling

Herstellende Unternehmen mit hohem Strombedarf nutzen Speicherlösungen, um teure Leistungsspitzen durch eine Pufferung des Strombezugs zu reduzieren. Bei diesem sogenannten Load Levelling findet ein Ausgleich zwischen Hoch- und Schwachlastzeiten statt. Speicher können dabei mehrere Be- und Entladephasen pro Tag durchlaufen und den Strombedarf im Minuten- und Stundenbereich abdecken. Dies eignet sich für Kunden, die mit ihrem Versorgungsunternehmen einen Vertrag mit Zeittarifen haben oder ihren Strom direkt über die Strombörse beziehen.

### 1.6.3. Mehr als nur ein Stromspeicher – Notstromfähigkeit und unterbrechungsfreie Stromversorgung

Neben ihrer Kernaufgabe können Batteriespeicher als Teil eines komplexeren lokalen Energiesystems weiterführende Aufgaben übernehmen. Zu den wichtigsten zählt die unterbrechungsfreie Stromversorgung beziehungsweise die Notstromversorgung von Haushalten und Gewerbeeinrichtungen, wenn die Versorgung aus dem öffentlichen Stromnetz ausfällt. Was als Backuplösung unverzichtbar für kritische Systeme wie Krankenhäuser, Rechenzentren oder Verkehrsleitstellen ist, in denen bereits kurze Stromausfälle schwere Risiken bedeuten können, kann auch für Gewerbebetriebe bedeuten, dass die wirtschaftliche Handlungsfähigkeit bei einem Stromausfall gewährleistet bleibt. Auch in einem Wohngebäude stellt eine Notstromversorgung sicher, dass die Verbraucher weiterhin mit Elektrizität versorgt werden. In der Regel sind Batteriespeicher in der Lage, kurzzeitige Ausfälle auszugleichen. Anlagenbetreiber, bei denen die unterbrechungsfreie Stromversorgung bei der Investitionsentscheidung im Vordergrund steht und damit mehr als nur einen willkommenen Zusatznutzen darstellt, müssen sich darüber im Klaren sein, dass abhängig von der Dauer der Versorgungsunterbrechung der Strombedarf auch über einen längeren Zeitraum gedeckt werden muss. Dies führt dazu, dass entsprechende Reservekapazitäten vorgehalten werden müssen und dadurch entsprechend höhere Investitionskosten entstehen als bei einer Auslegung der Speicherkapazitäten, die sich an der wirtschaftlichen Eigenverbrauchsoptimierung orientiert.

Nicht jeder verfügbare Batteriespeicher ist jedoch automatisch notstromfähig und bietet die unterbrechungsfreie Stromversorgung an. Und auch Geräte mit Notstromfähigkeit unterscheiden sich in ihren Fähigkeiten sowie hinsichtlich Komfort, Installationsaufwand und Kosten. Ohne die richtige Notstromfähigkeit des Speichers lassen sich bei einem Netzausfall trotz ausreichender Sonneneinstrahlung weder Speicher noch Photovoltaikanlage betreiben, da beide mit den öffentlichen Stromnetz synchronisiert werden.

Die einfachste Variante der Notstromversorgung bieten Batteriespeichersysteme, die mit einer Steckdose ausgestattet sind. Damit lassen sich einzelne Geräte auch bei Stromausfall betreiben, der Strom aus dem Speicher steht aber nicht im gesamten Hausnetz zur Verfügung und muss aufwendig mit Hilfe von Kabeltrommeln oder Verlängerungskabeln verteilt werden.

Mit Integration der Notstromversorgung in die Unterverteilung der Hausinstallation wird der Strom aus der Batterie allen Verbrauchern im Hausnetz zur Verfügung gestellt. Dabei erfolgt die Notstromversorgung automatisch und unterbrechungsfrei, das System synchronisiert sich wieder automatisch auf das Stromnetz auf, wenn dieses wieder zur Verfügung steht. Es erfolgt jedoch keine neue Beladung der Batterie aus der vorhandenen Photovoltaikanlage.

Dies ist nur möglich, wenn der Stromspeicher für den Einsatz in Inselösungen ausgelegt ist und an die Batterie eine Photovoltaikanlage gleichstromseitig angeschlossen wird. Soll ein notstromfähiger Speicher angeschafft werden, muss zudem darauf geachtet werden, ob die Notstromversorgung einphasig oder dreiphasig erfolgt. Bei kleineren Speichern bis 4,6 kWp sind aus Kostengründen meist einphasige Abgänge üblich, dreiphasige Geräte sind aber Voraussetzung, wenn größere Verbraucher wie ein Elektroherd oder ein Elektroauto mit Strom versorgt werden sollen.

#### 1.6.4. Netzgeführter Einsatz und Teilnahme am Regelenenergiemarkt

Die Betriebsführung von Stromspeichern in privaten Wohngebäuden und Gewerbebetrieben orientiert sich im Regelfall an der Optimierung des Eigenverbrauchsanteils. Eine weitere Variante, die auch als ergänzendes Erlösmodell genutzt werden kann, bietet die netzgeführte Steuerung der Be- und Entladevorgänge. Beim netzgeführten Einsatz richten sich die Lade- und Entladephasen der Stromspeicher an der Situation im Stromnetz aus und es kann zwischen der Bereitstellung von Regelenenergie und dem Lastausgleich unterschieden werden.

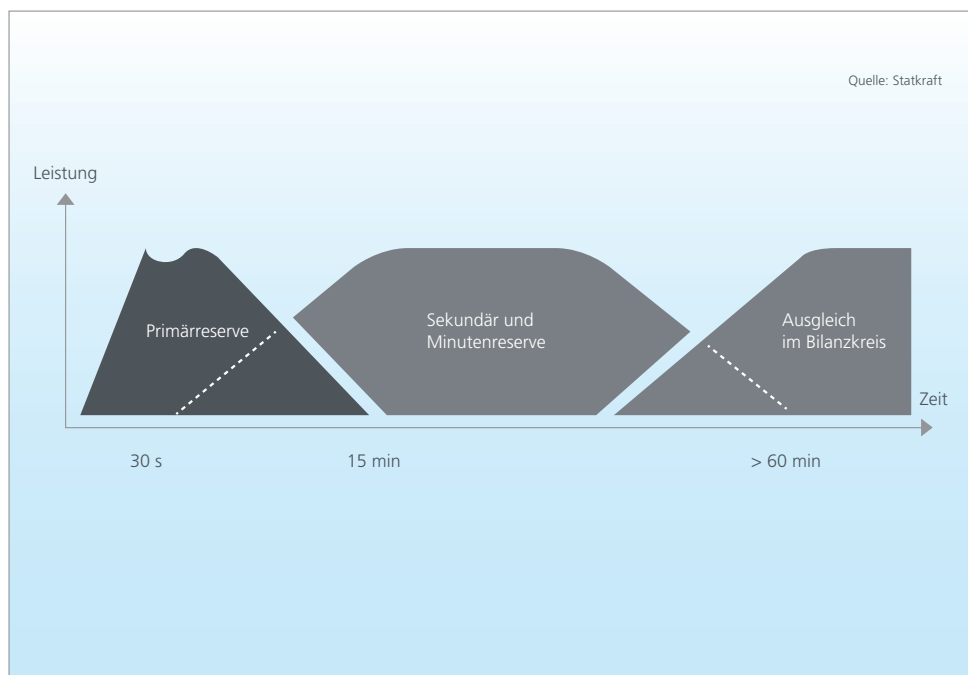
Beim Lastausgleich werden Abweichungen zwischen Erzeugung und Verbrauch ausgeglichen, die nicht in Abweichungen von der Prognose begründet sind. Können also Kraftwerke den erforderlichen Strombedarf zu einem bestimmten Zeitpunkt nicht erzeugen oder überschreitet die Stromerzeugung von Kraftwerken den aktuellen Strombedarf, ohne dass ein Herunterfahren oder Abregeln dieser Kraftwerke möglich wäre, so können Speicher die Funktion des Lastausgleichs übernehmen. Neben dem kurzfristigen Ausgleich von Lastschwankungen, beispielsweise zwischen Tag und Nacht, spielt auch der langfristige Lastausgleich eine Rolle, der beispielsweise saisonale Unterschiede zwischen Sommer und Winter abbildet. Die stärkere Einbindung von Speichern in die Strominfrastruktur kann durch das Abfedern von Lastabweichungen dazu beitragen, den Netzausbaubedarf zu reduzieren. Gleichzeitig sinkt die Fluktuation der Einspeisung und erleichtert damit auch die Fahrplanerstellung für fossile Kraftwerke.

# Die Photovoltaikanlage

## Die Photovoltaikanlage

Während die Vorhaltung von Batteriespeicherkapazitäten für den saisonalen Lastausgleich keine kosteneffiziente Lösung darstellt, bietet die Teilnahme am Regelenenergiemarkt Besitzern von Photovoltaikanlagen mit Batteriespeichersystemen die Möglichkeit, zusätzliche Erlöse zu generieren. Die Übertragungsnetzbetreiber sind für die Erhaltung der Frequenz in ihren Netzen verantwortlich. Ein Überangebot von elektrischer Leistung bewirkt einen Anstieg der Frequenz. Liegt das Stromangebot zu einem bestimmten Zeitpunkt unterhalb der Stromnachfrage, so sinkt die Frequenz unter die normale Netzfrequenz, die in Europa auf 50 Hz festgelegt ist. Um die Abweichung zu minimieren, stellen entsprechende Reserven Regelleistung zur Verfügung. Je nach Reaktionszeit und Dauer der Bereitstellung wird hier zwischen Primär- und Sekundärregelleistung sowie Minutenreserveleistung unterschieden.

< Grafik 4: Zeitlicher Ablauf des Einsatzes von Regelenenergie >



Neben der Frequenzerhaltung kommt auch dem Spannungserhalt eine wichtige Rolle bei der Sicherstellung der Versorgung zu. Die Blindleistung von Speichern kann zum Spannungserhalt genutzt werden, Voraussetzung ist jedoch, dass diese den mit dem Übertragungsnetzbetreiber vereinbarten Blindleistungsbereich mehrmals innerhalb von nur wenigen Minuten durchfahren können und die Bereitstellung lokal erfolgt.

Die Netzbetreiber halten entsprechende Regelleistungen vor bzw. kaufen diese bei den zugelassenen Anbietern von Regelleistung über eine Internetplattform ein. Unterschieden werden muss hier zwischen positiver und negativer Regelleistung. Positive Regelleistung bedeutet, dass zusätzlicher Strom in die Netze eingespeist wird, bei negativer Regelleistung steht einem hohen Stromangebot eine schwache Nachfrage gegenüber, sodass dem Netz Strom entnommen werden muss, um die Frequenz stabil zu halten. Gerade im Bereich der Sekundärregelleistung und der Minutenreserven bieten mittlerweile mehrere Dienstleister den Betreibern kleinerer Speicher, welche die Mindestvoraussetzungen nicht erfüllen, die zentrale Vermarktung und Teilnahme am Regelleistungsmarkt über einen Pool an. Im Gegenzug für die Überlassung der Kapazitäten werden die Speicherbesitzer an den Erlösen beteiligt.

Weiterführende Informationen zu den Ertragschancen dieser Modelle finden sich in [Kapitel 3.4.4](#).

### 1.6.5. Kerngrößen für den Speichervergleich

Um die Leistungsfähigkeit und die Kosten eines Batteriespeichersystems beurteilen und verschiedene Angebote miteinander vergleichen zu können, ist ein Verständnis der wichtigsten Eigenschaften und Kenngrößen wichtig. Nicht immer ist der Speicher mit den niedrigsten Kosten für die Erstinvestition auch über den gesamten Zeitraum des Anlagenbetriebs die beste Wahl, da sich beispielsweise der Wartungsaufwand, die Alterungsprozesse der Batteriezellen sowie der Leistungsumfang der angebotenen Produkte voneinander unterscheiden.

Die Speicherkapazität bestimmt, wie viel Strom (gemessen in kWh) maximal in einer Batterie gespeichert werden kann. Dabei muss die von den Herstellern aufgeführte Nennkapazität als ein theoretischer Wert verstanden werden, denn die tatsächliche Nutzkapazität wird von der maximalen Entladetiefe bestimmt. Bei den meisten Batterietechnologien gelten Grenzen für die Entladetiefe, da Tiefentladung die Batterie beschädigen kann. Die Steuerung der Be- und Entladevorgänge stellt sicher, dass diese Grenzwerte eingehalten werden, da sich sonst die Lebensdauer des Speichers verkürzt. Typischerweise gilt für Blei-Batterien eine Entladetiefe von rund 50 Prozent und für Lithium-Ionen-Akkumulatoren von 70 bis 100 Prozent als Obergrenze. Beträgt die Nennkapazität eines Stromspeichers beispielsweise 7 kWh und die Entladungstiefe 80 Prozent, so verringert sich die tatsächlich zur Verfügung stehende Nutzkapazität des Speichers auf 5,6 kWh.

Für die Nutzungsdauer einer Photovoltaikanlage wird üblicherweise ein Zeitraum von 20 Jahren angenommen. Dies ist auch die Periode, in welcher der Anlagenbetreiber die EEG-Einspeisevergütung erhält. Über diesen Zeitraum durchläuft ein eingebundener Speicher insgesamt rund 7.000 Zyklen, wenn täglich ein vollständiger Lade- und Entladevorgang erfolgt. Während einige Lithium-Ionen-Batterien auf diese Zyklenzahl ausgelegt sind, müssen bei Blei-Batteriesystemen – aber auch bei

# Die Photovoltaikanlage

## Die Photovoltaikanlage

einer Vielzahl von Lithium-Ionen-Speichern – die Batterieelemente innerhalb der Lebensdauer der Solaranlage ausgetauscht werden, da die Degradation bei elektrochemischen Speichern die Zyklenzahl begrenzt. Ausmaß und Geschwindigkeit der Degradation hängen von den Nutzungs- und Einsatzbedingungen maßgeblich ab. So wirken sich Tiefentladung, Überladung aber auch die Lade- und Entladeschwindigkeit auf die Lebensdauer des Speichers aus. Aber auch unabhängig vom Nutzungsverhalten ist die kalendarische Lebensdauer von Batteriespeichern begrenzt, da die Nennkapazität über den Zeitverlauf abnimmt. Typischerweise ist die kalendarische Lebensdauer bei Lithium-Batterien mit rund 15 Jahren höher als bei Blei-Batterien, bei denen die kalendarische Lebensdauer rund 10 Jahre beträgt. Aber auch nach Ablauf der kalendarischen Lebensdauer kann der Speicher weiterbetrieben werden. Die Definition legt lediglich fest, dass innerhalb der kalendarischen Lebensdauer die Nennkapazität nicht unter 80 Prozent der vom Hersteller angegebenen Nennkapazität sinken darf.

Eventuell anfallende Austauschkosten müssen bei den Investitionskosten für ein Speichersystem mitberücksichtigt werden, da der reine Vergleich der anfänglichen Investitionskosten sonst zu einer verzerrten Wahrnehmung der anfallenden Kosten führt. Maßgebliche Größe für den Kostenvergleich von Speicherlösungen innerhalb einer Technologie oder zwischen verschiedenen technologischen Ansätzen sind weniger die reinen Investitionskosten, sondern vielmehr die Kosten für jede gespeicherte Kilowattstunde.

Wie bei Modul und Wechselrichter wirkt sich der Wirkungsgrad auch bei Batteriespeichern auf den Anlagenenertrag aus. Neben der Selbstentladung treten beim Ein- und Entspeichern Energieverluste bei der Umwandlung durch den Batteriewechselrichter auf. Der Wirkungsgrad beschreibt dabei das Verhältnis zwischen zugeführter und entnommener Energie. Für Lithium-Ionen Akkus liegt der Wirkungsgrad zwischen 90 und 95 Prozent, für Blei-Säure-Akkus mit 70 bis 85 Prozent etwas niedriger.

Die Anforderungen an Wartung und Kontrolle unterscheiden sich je nach verwendeter Speichertechnologie deutlich. So kommt es bei den offenen Blei-Säure-Akkumulatoren während der Nutzung zur Gasung des Akkus. Es empfiehlt sich daher eine regelmäßige (jährliche) Kontrolle des Säurestands und eventuell ein Auffüllen mit destilliertem Wasser. Geschlossene Blei-Akkumulatoren und Lithium-Ionen-Speicher sind hingegen als wartungsarm beziehungsweise wartungsfrei einzustufen. Durch den Einsatz eines Monitoringsystems ist es möglich, kontinuierlich Betriebsdaten wie die Spannung des Batteriesystems, die Temperatur der Zellen und Batteriemodule sowie am Installationsort und die Einzelspannungen der Zellen oder Module zu erfassen und über Abweichungen vom normalen Betriebszustand automatisch informiert zu werden. Zu den weiteren möglichen Wartungsarbeiten zählen die Kontrolle der Schraubverbindungen, der Batteriegestelle und -kästen sowie die Gewährleistung der Belüftung im Batterieraum. Von Seiten der Hersteller betragen die vorgegebenen Wartungsintervalle in der Regel zwischen einem und zwei Jahren.

### 1.6.6. Technologien

Für Photovoltaikanlagen, wie sie in ihrer Größe für Privathäuser oder Gewerbeeinheiten typisch sind, haben sich Lithium-Ionen-Akkus und Blei-Säure-Akkus durchgesetzt. Fast alle derzeit verfügbaren Produkte setzen im Kern auf eine der beiden Technologien, wenngleich die exakte chemische Zusammensetzung des Elektrolyts und des für die Elektroden verwendeten Materials je nach Produkt und Anbieter variiert. Als die ersten Speicher für Photovoltaikanlagen aufkamen, waren auf dem Markt vor allem Blei-Batterien verfügbar. Mittlerweile ist jedoch ein Trend zu Lithium-Batterien zu beobachten, die einen steigenden Marktanteil aufweisen.

#### 1.6.6.1. Lithiumbatterien

Lithium-Ionen-Batterien sind derzeit der gängige Standard, wenn es um die Stromversorgung von portablen Endgeräten wie Smartphones oder Notebooks geht. Ausgestattet mit einer höheren Speicherkapazität eignen sie sich jedoch auch als stationäre Speicher in einer Photovoltaikanlage. Entsprechende Anpassungen seitens der Hersteller stellen die Leistungsfähigkeit und Sicherheit der Batterien beim Einsatz in Energieversorgungssystemen sicher. Diese Batterietechnologie zeichnet sich durch eine hohe Energiedichte und eine gute Performance aus. Gleichzeitig tritt, anders als beispielsweise bei Nickel-Cadmium-Batterien, kein Memory-Effekt auf. Somit sinkt die Zellspannung auch nach mehreren Teilentladungen nicht. Die Entladetiefe von Lithium-Ionen-Akkumulatoren kann Werte von bis zu 100 Prozent erreichen, die meisten angebotenen Speicher liegen hier jedoch zwischen 70 und 95 Prozent und damit deutlich über dem Niveau von Blei-Batterien.

Die Familie der Lithium-Ionen-Akkumulatoren lässt sich hinsichtlich der für die Elektroden, den Separator und das Elektrolyt verwendeten Materialien, die starken Einfluss auf die Eigenschaften des Speichers haben, weiter untergliedern. Die Materialkombination beeinflusst beispielsweise die Lebensdauer, die Kosten, die Schnellladefähigkeit und die Sicherheit im Betrieb. Derzeit am weitesten verbreitet ist die Verwendung von Graphit für die negative Elektrode und von Lithium-Metalloxiden wie Lithium-Kobaltdioxid für die positive Elektrode. Kobalt zählt zu den kritischen Rohstoffen, deren Verfügbarkeit stark begrenzt ist, sodass zukünftig alternative Materialien für die Elektroden an Bedeutung gewinnen werden. Gegenüber Blei-Batterien erreichen Lithium-Ionen-Batterien eine deutlich höhere Zyklenzahl. Aufgrund der hohen Energiedichte und der starken Reaktion von Lithium auf Feuchtigkeit, kann bei einigen Lithium-Ionen-Batterien ein unsachgemäßes (Über-)Laden und Entladen zu Wärmeentwicklung führen und damit einen Brand auslösen. Dementsprechend wichtig ist der Einsatz einer Steuerelektronik, die Systemfehler erkennt und den Lade- bzw. Entladevorgang unterbricht, wenn die festgelegten Grenzwerte überschritten werden.



# Die Photovoltaikanlage

## Die Photovoltaikanlage



Auch die Auswahl des Separatormaterials kann diesbezüglich Risiken verringern. So lassen sich durch die Verwendung von Keramik die Zellen vor thermischer Überlastung und Kurzschlüssen schützen. Ein lokal begrenzter Kurzschluss, ausgelöst durch Fremdpartikel oder eine Beschädigung des Akkumulators, kann einen Prozess in Gang setzen, der die gespeicherte Energie ungewollt freisetzt und so einen Brand verursachen kann. Die Verwendung fester Elektrolyte und ein veränderter chemischer Aufbau der Zelle kann die Gefahr des sogenannten thermal runaway wirksam verhindern.

### Lithium-Phosphat

In Lithium-Phosphat-Batterien, auch als Lithium-Eisen-Phosphat-Batterien bezeichnet, wird Lithium-Eisenphosphat als Kathodenmaterial verwendet. Zu den Vorteilen dieser Technologie zählen der relativ niedrige Preis, schnelle Ladezeiten und hohe Entladeströme. Allerdings fällt die Energiedichte vergleichsweise gering aus. Diese Speicher verfügen über eine hohe Eigensicherheit bezüglich der Gefahr des thermischen Durchgehens.

### Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt

Diese Batterietechnologie schneidet hinsichtlich Kapazität und Energiedichte besser ab als Lithium-Kobalt-Oxid-Batterien und Lithium-Eisen-Phosphat-Speicher. Die Speicherkosten sind jedoch aufgrund der hohen Preise für den verwendeten Rohstoff Kobalt relativ hoch. Kobalt zählt zudem zu den giftigen Schwermetallen.

### Lithium-Mangan-Oxid

Diese Lithium-Technologie ermöglicht die Herstellung von Akkumulatoren mit einer hohen Eigensicherheit, weist jedoch eine vergleichsweise niedrige Energiedichte auf. Diese Speichersysteme lassen sich dem mittleren Preissegment zuordnen. Sie weisen eine niedrigere Kapazität als Lithium-Kobalt-Akkumulatoren auf. Bei diesen Speichern besteht das Aktivmaterial an der Kathode aus Lithium-Mangan-Oxid.

### Lithium-Titanat

Bei Lithium-Titanat-Akkumulatoren wird die Kohlenstoffanode, sonst meist aus Graphit, durch Lithium-Titanat ersetzt. Dieses Material verhindert die Schichtbildung auf der Elektrode, die für die Alterung von Lithium-Ionen-Akkumulatoren verantwortlich gemacht wird. Ein weiterer positiver Effekt ist, dass durch das Titanat das thermische Durchgehen der Batterie beim Betrieb oder durch mechanische Einwirkung verhindert wird. Dementsprechend hoch ist die Eigensicherheit solcher Batterien zu bewerten. Lithium-Titanat-Akkumulatoren zeichnen sich zudem durch eine gute Schnellladefähigkeit und eine gute Umweltverträglichkeit aus. Nachteilig ist, dass die Kosten für diesen Batterietyp vergleichsweise hoch sind und die Speicher eine niedrige Energiedichte aufweisen.



### 1.6.6.2. Bleibatterien

Bei Bleibatterien findet die Energiespeicherung mit Hilfe von Elektroden aus Blei und von Schwefelsäure, die als Elektrolyt genutzt wird, statt. Aufgrund der chemischen Eigenschaften kann bei einer langsamen Entladung mehr Strom entnommen werden als bei einer schnellen, sodass die Leistungskapazität von der Entnahmegeschwindigkeit abhängt. Durch Sulfatierung sinkt die Kapazität von Bleiakkus mit jedem Zyklus ab. Je stärker die Entladung ausfällt, desto stärker ist der irreversible Kapazitätsverlust. Entladetiefe und Nutzungsart bestimmen somit die erwartete Lebensdauer des Speichers. Während des Ladevorgangs kann es zur Entstehung von Knallgas kommen. Dieses gesundheitlich prinzipiell unbedenkliche Gas kann jedoch bei Entzündung, beispielsweise durch Funkenschlag oder Reibung, verpuffen. Aus diesem Grund ist eine ausreichende natürliche oder technische Belüftung wichtig.

Bleiakkumulatoren sind als offene und geschlossene Systeme erhältlich. Bei den offenen Akkumulatoren, auch als Nassbatterien bezeichnet, können Sauerstoff, Wasserstoff und Säuredämpfe aus der Batterie entweichen. Solche Systeme dürfen nur aufrecht stehend gelagert und betrieben werden, um ein Auslaufen zu verhindern.

Der Großteil der für den Einsatz in Photovoltaikanlagen angebotenen Systeme zählt zu den geschlossenen Systemen, darunter Vlies-Batterien (auch als AGM-Batterien bezeichnet) und Gel-Batterien. Bei den Vlies-Batterien ist der Elektrolyt in einem Vlies gebunden, das aus Glasfasern besteht und in seiner Struktur einem Schwamm ähnelt. So kann die Säure beim Kippen der Batterie nicht auslaufen. Dies gilt auch für die Gel-Batterie, bei der die Schwefelsäure nicht in flüssiger Form eingebracht ist, sondern durch den Zusatz von Kieselsäure zu einem Gel verdickt wird. Die geschlossenen Systeme gelten als wartungsfrei, da die Zellen zugeschweißt sind und im Normalbetrieb kein Verlust von Flüssigkeit oder Sauerstoff durch Gasung oder Erwärmung auftritt. Bei diesen Systemen können sich Sauerstoff und Wasserstoff miteinander verbinden (Rekombination), sodass Flüssigkeitsverluste weitestgehend vermieden werden. Ein Überdruckventil stellt sicher, dass bei starker Gasung auftretende Gase, Wasserstoff und Sauerstoff entweichen können. Dieser Prozess ist aufgrund der Konstruktionsart der Ventile unumkehrbar, sodass solche Batterien nicht über einen längeren Zeitraum mit hoher Spannung geladen werden sollten.

Blei-Säure-Batterien zählen aufgrund der hohen Anzahl von Installationen weltweit zu den erprobten Speichertechnologien mit vergleichsweise niedrigen Investitionskosten und werden von einer Vielzahl von Herstellern angeboten. Zwar ist die Energiedichte relativ gering, dieser Faktor spielt jedoch für stationäre Anwendungen nur eine untergeordnete Rolle. Preissenkungen bei den Lithium-Speichern und deren höhere Lebensdauer haben jedoch dazu geführt, dass mittlerweile bei rund 90 Prozent der Anlagenplanungen, bei denen ein Batteriespeicher gewünscht ist, die Entscheidung für einen Lithium-Akkumulator fällt.

# Die Photovoltaikanlage

## Die Photovoltaikanlage

### 1.6.7. Dezentrale Speicherung mit stationären und nicht-stationären Speichern

Stationäre Speicher erfüllen ihre Aufgabe während ihrer Lebensdauer an einem Ort. Dementsprechend sind das Volumen und die spezifische Leistung in Watt pro Kilogramm der verwendeten Speichertechnologie von nachrangiger Bedeutung. Viele stationär verwendete Batteriespeicher zeichnen sich durch einen modularen Aufbau aus und sind dementsprechend auf den jeweiligen Speicherbedarf vor Ort skalierbar. In Verbindung mit einer Photovoltaikanlage kommen solche Speicher in Wohn- und Gewerbegebäuden zum Einsatz. Die Speicher müssen an einem frostsicheren und witterungsgeschütztem Standort je nach Größe hängend oder stehend installiert werden. Geeignet sind dafür beispielsweise Keller- und Hauswirtschaftsräume oder auch die Garage. Soll eine Bleibatterie als Speicher verwendet werden, muss zudem eine ausreichende Belüftung für den sicheren Betrieb vorhanden sein.

Mit zunehmender Bedeutung der Elektromobilität gewinnen aber auch mobile Speicheranwendungen, die in das Hausnetz eingebunden und von der Photovoltaikanlage versorgt werden können, an Bedeutung. Neben dem Bereich der Kleintraktion in Form von Elektrofahrrädern oder Rollstühlen sind es vor allem Kraftfahrzeuge wie Elektroroller oder Elektroautos, die mit Hilfe einer privaten Ladestation als mobile Speichereinheit eingebunden werden, so den Eigenverbrauchsanteil steigern und hinsichtlich der Betriebskosten eine preisgünstige Mobilität ermöglichen. Soll der Ladevorgang jedoch über Nacht erfolgen, empfiehlt sich die Kombination mit einem stationären Energiespeicher, der über den Tagesverlauf geladen wird.

Bei Anlagengrößen wie sie für Wohn- oder Gewerbegebäude typisch sind, erfolgt die Stromspeicherung üblicherweise dezentral am Ort der Erzeugung. Dezentrale Speicher ergänzen die verbrauchsnahe Stromerzeugung und können damit einen Beitrag zum Ausgleich der fluktuierenden Erzeugung aus regenerativen Energiequellen leisten. In einzelnen Verteilnetzen mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energien tragen diese in Spitzenzeiten bis zu 80 Prozent zum Stromangebot bei. Ein stärkerer Einsatz von dezentralen Speichern schränkt zudem den Ausbaubedarf der Übertragungsnetze ein, da beispielsweise die Verteilnetze weniger Solarstrom aufnehmen müssen und weniger dezentral erzeugter Strom zu ortsfernen Verbrauchern oder zentralen Speichern übertragen werden muss.

#### Virtuelle Speicher

Bei virtuellen Speichern werden mehrere Stromspeicher in einem Pool gebündelt und aus verschiedenen dezentralen Erzeugungseinheiten mit Strom gespeist. Die Lade- und Entladevorgänge werden hingegen zentral über eine Software gesteuert. Auf diese Weise lässt sich eine optimierte Auslastung des Speichers gewährleisten, die den Effizienzgrad von einzelnen dezentralen Speicherlösungen überschreitet. Genutzt werden solche Systeme als Kurzzeitspeicher, die Spitzen in Stromproduktion und -nachfrage über wenige Stunden ausgleichen. Kleinspeicher, wie sie für private

und kleinere gewerbliche Anlagen üblich sind, erfüllen aufgrund ihrer vergleichsweise geringen Kapazität meist nicht die Mindestvorgaben für die Teilnahme am Regelenergiemarkt. Dies ist erst möglich, wenn diese zu virtuellen Großspeichern gebündelt werden. Mehr zu den Ertragschancen auf dem Regelenergiemarkt findet sich in [Kapitel 3.4.4](#).

Bei einer weiteren Variante des virtuellen Speichers muss der Kunde keinen eigenen Speicher lokal installieren, sondern nutzt das Stromnetz des Energieversorgers als Speicher und sammelt dort bei Stromüberschuss ein Stromguthaben an. Für diese Dienstleistung fällt ein monatliches Nutzungs-entgelt an, der selbst erzeugte Strom kann dann zu einem späteren Zeitpunkt verbraucht und so der virtuelle Eigenerzeugungsgrad gesteigert werden. Dabei ist es auch möglich in den ertragsstarken Sommermonaten Rücklagen für den Verbrauch im Winterhalbjahr zu bilden.

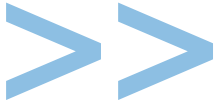
## 1.7. Anlagenüberwachung und -steuerung

Was bereits Standard bei den meisten Anbietern von Wechselrichtern ist, gilt auch für die Einbindung von Speichern in Solaranlagen. Integriert in den Wechselrichter oder als externes Zusatzgerät, übernehmen Monitoringsysteme oder Datenlogger die Überwachung der Anlage und lenken die Produktions- und Verbrauchsströme. Zudem stellen sie aktuelle und historische Daten zur Auswertung zur Verfügung und unterstützen bei der Anlagenwartung. Tritt ein Fehler auf, wird der Anlagenbetreiber in Echtzeit benachrichtigt und kann so Schritte einleiten, um seinen Ertragsausfall zeitlich zu minimieren. Überwachungssysteme sind in der Lage neben der Gesamtanlage auch einzelne Stränge oder Module zu überwachen. Neben Displays am Gerät verfügen viele Systeme über eine Funklösung oder eine Internetanbindung, womit der Fernzugriff auf die gesammelten Daten möglich wird. Diese stehen dann entweder visualisiert über das Portal des Herstellers oder mittels App für das Smartphone zur Verfügung. Je nach Ausstattung können die Geräte jedoch nicht nur die Erzeugung überwachen, sondern werten auch den Verlauf des Stromverbrauchs in einem Haushalt oder einem Betrieb aus. Mit einem internen oder einem über entsprechende Schnittstellen extern angeschlossenen Energiemanagementsystem von Drittanbietern lassen sich Erzeugung, Verbrauch und Speicherung zentral optimieren und steuern. Damit wird es möglich, verbrauchsintensive Geräte dann in Betrieb zu nehmen, wenn das System für einen Zeitpunkt einen Stromüberschuss ermittelt oder erwartet.

So lässt sich der Eigenverbrauchsanteil weiter steigern. Inwieweit sich die komplexe Auswertung und Steuerung für den Betreiber rechnet, hängt vor allem von der Anlagengröße ab. Je größer die Anlage, desto größer fallen die Ertragsverluste bei einem Ausfall der Anlage aus und desto stärker sind die skalenökonomischen Effekte bei der Umlegung von zusätzlichen Kosten für Überwachung und Steuerung.

## II. Anlagenplanung





## II. Anlagenplanung

Eine Photovoltaikanlage ist ein langfristig ausgerichtetes Investitionsobjekt, das über einen Zeitraum von mindestens 20 Jahren Teil des Gebäudes und wichtiger Baustein der eigenen Energieversorgung ist. Dementsprechend sorgfältig sollte die Planung der Anlage vor Beginn der Installation sein, damit die verfügbare Sonnenstrahlung möglichst effizient genutzt werden kann. In Deutschland liegt diese je nach Standort zwischen rund 900 kWh pro Quadratmeter im Norden und rund 1.200 kWh im Süden. Mit einer 5 kWp-Anlage können somit zwischen 4.500 und 6.000 kWh Strom pro Jahr erzeugt werden, für eine genaue Ertragsprognose müssen jedoch auch Neigung und Himmelsausrichtung der Anlage berücksichtigt werden. Zum Vergleich: Der typische jährliche Stromverbrauch eines 4-Personen-Haushaltes liegt bei rund 4.500 kWh.

Bei der Planung muss neben den Standortbedingungen auch das eigene Stromverhaltensverhalten über den Tagesverlauf und über das Jahr berücksichtigt werden. Für beide Bereiche gilt, dass dabei nicht nur der Status quo, sondern auch zukünftige Veränderungen der Rahmenbedingungen berücksichtigt werden sollten. Stehen die Veränderungen zeitnah an, kann dies bereits bei der Erstplanung berücksichtigt werden, ansonsten sollte zumindest sichergestellt sein, dass die verwendeten Komponenten zukünftige Änderungen zulassen, ohne dass ein weitreichender Eingriff in die Anlage erfolgen muss. Grundsätzlich gilt, dass die Detailplanung mithilfe eines erfahrenen Solarteurs oder Installateurs erfolgen sollte, da dieser die Schwierigkeiten ebenso wie das Potenzial am Standort erkennen kann und dies in die Planung einfließen lässt.

### 2.1. Voraussetzungen vor Ort

#### 2.1.1. Standort

##### Verfügbare Dachfläche

Durch Vermessung oder einen Blick in den Bauplan kann die verfügbare Dachfläche ermittelt werden. Alternativ lässt sich auch ein Dachziegel vermessen und dann die Länge und Breite des Dachs einfach berechnen. Dabei müssen Flächen, die bereits für Dachfenster, Schornstein, Lawinengitter, eine Solarthermieanlage oder Ähnliches genutzt werden, abgezogen werden. Als Faustregel lässt sich festhalten, dass rund 10 Quadratmeter benötigt werden, um eine Leistung von 1 kWp zu installieren. Der tatsächliche Flächenbedarf für 1 kWp hängt vom Wirkungsgrad der Module ab und fällt für Hochleistungsmodule rund 20 Prozent niedriger und für Dünnschichtmodule bis zu 50 Prozent höher aus.



# Anlagenplanung

## Anlagenplanung



### Ausrichtung

Bei Schrägdächern sind Himmelsausrichtung und Neigung der Module durch die Dachform vorgegeben. Anders sieht es bei Flachdächern aus, bei denen sich mit Hilfe von Montagegestellen beide Größen beeinflussen lassen. Soll der Anlagenertrag maximiert werden, sind eine Südausrichtung und ein Neigungswinkel von rund 30 bis 35 Grad optimal. Der ideale Neigungswinkel ist dabei von der Himmelsausrichtung sowie vom Breitengrad am Anlagenstandort abhängig und steigt mit zunehmender nördlicher Breite. Weichen die örtlichen Voraussetzungen von diesem Ideal ab, müssen die Anlagenbetreiber mit einem niedrigeren Ertrag rechnen. Dennoch bedeutet dies nicht, dass kein wirtschaftlicher Betrieb möglich ist. So fällt beispielsweise der Ertrag einer nach Südosten ausgerichteten Anlage nur rund 5 Prozent niedriger aus. Grundsätzlich gilt, dass der Neigungswinkel umso flacher ausfallen sollte, je stärker die Abweichung von der Südausrichtung ist, um den Stromertrag zu maximieren.

Allerdings ist nicht in jedem Fall eine Anlagenplanung, die auf eine Maximierung des Stromertrags ausgerichtet ist, auch die sinnvollste Variante. So ist zwar der Gesamtertrag einer nach Osten und Westen ausgerichteten Anlage insgesamt niedriger als bei einer reinen Südausrichtung, gleichzeitig ist jedoch die Stromproduktion in den Morgen- und Nachmittagsstunden höher. Mit Hinblick auf den möglichen Eigenverbrauchsanteil kann eine solche Konfiguration also durchaus sinnvoller sein, wenn zu diesen Zeitfenstern eine entsprechende Stromnachfrage vorhanden ist. Ein Beispiel dafür wäre ein Anlagenbetrieb auf einem Gewerbegebäude, in dem von 6:30 bis 20:00 Uhr gearbeitet wird.

### Verschattung

Im Rahmen der Anlagenplanung sollten Betreiber bereits im Vorfeld zu verschiedenen Tageszeiten einen Blick auf den geplanten Standort werfen und so mögliche Ursachen für eine dauerhafte Verschattung identifizieren. Genauer lässt sich dies mithilfe eines Sonnenbahnindikators vom Installateur prüfen, der die Einstrahlungskurven über den Jahresverlauf am Standort darstellt. Vor allem wenn die Sonne in den Morgen- und Abendstunden tief steht, kann es durch andere Gebäude, Bäume, den eigenen Schornstein, Gauben oder Ähnliches zu einer (Teil-)Verschattung der Module kommen. Dabei sollte jedoch nicht nur der aktuelle Stand betrachtet werden, sondern auch zukünftige Entwicklungen antizipiert werden. Veränderungen an einem derzeit noch unbebauten Baugrundstück in der Nachbarschaft oder das zukünftige Wachstum eines noch jungen Baues können die Verschattungssituation während der Nutzungsdauer einer Anlage deutlich verändern. Sind die Module in einem Strang in Reihe geschaltet, mindert dies jedoch nicht nur den Ertrag des von der Verschattung betroffenen Moduls, sondern begrenzt die Leistung des gesamten Strangs. Wenn Verschattungssituationen nicht vermieden werden können, stellen die Parallelschaltung der Module, der Einsatz von Modulwechselrichtern oder von Multi-String-Wechselrichtern, bei denen Modulbereiche mit ähnlicher Lichteinfall- bzw. Verschattungssituation zusammengeschaltet werden können, Möglichkeiten zur Optimierung der Situation dar.

### 2.1.2. Energiebedarf und Verbrauchsprofil

Die Betriebsführung einer Photovoltaikanlage ist abhängig von der Zielsetzung, die der Betreiber anstrebt. Unterschieden werden kann hier hinsichtlich des Eigenverbrauchsanteils, der Autarkie vom Versorger, der Volleinspeisung sowie der Überschusseinspeisung des nicht selbst verbrauchten Stroms. In der Vergangenheit galt, dass Strom aus Solaranlagen möglichst vollständig gegen eine hohe Einspeisevergütung ins Stromnetz eingespeist wurde. Damit galten die verfügbare Fläche und das zur Verfügung stehende Budget des Betreibers als begrenzende Faktoren. Mit zunehmender Bedeutung des Eigenverbrauchs für einen wirtschaftlichen Anlagenbetrieb fließen mittlerweile auch die absolute Höhe des eigenen Strombedarfs sowie das individuelle Lastprofil über den Tages-, Wochen- und Jahresverlauf in die Anlagenplanung und -dimensionierung mit ein. Während sich der Jahresverbrauch einfach aus der jährlichen Stromabrechnung übernehmen lässt, sagt diese noch nichts über das Lastprofil aus, also darüber, zu welchem Zeitpunkt der Verbrauch stattfindet. Das individuelle Lastprofil lässt sich durch mehrwöchige Messungen vor Ort ermitteln, die Rückschlüsse auf das Jahreslastprofil erlauben. Soll auf aufwendige Messungen über einen längeren Zeitraum verzichtet werden, können auch Standardlastprofile vergleichbarer Nutzergruppen verwendet werden. Durch verschiedene Variablen wie die Unterscheidung zwischen Werktagen- und Wochenenden für Bürogebäude oder typische Verbrauchszeiten bei Familien kann so eine gute Annäherung erzielt werden. Bei Unternehmen mit einer Stromabnahme von mehr als 100.000 kWh pro Jahr und einer Leistung von mindestens 30 kWp führen Stromversorger in der Regel Lastgangmessungen im Viertelstundentakt durch und stellen dieses Lastprofil auf Anfrage zur Verfügung.

## 2.2. Anforderungen an die Photovoltaikanlage

### Das Modul

Grundsätzlich eignen sich alle Modultechnologien für den Einsatz zur Stromerzeugung, unabhängig davon, ob es sich dabei um eine Aufdachanlage auf Privathäusern oder Industriedächern oder aber um eine Freiflächenanlage handelt. Die Besonderheiten der einzelnen Technologien führten jedoch in der Vergangenheit dazu, dass einzelne Technologien bei verschiedenen Anlageformen dominierten. Fortschritte bei den Wirkungsgraden, die Verfügbarkeit von Modulen und vor allem die Preisentwicklung führen immer wieder zu Verschiebungen bei den Marktanteilen. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt decken kristalline Module deutlich mehr als 90 Prozent des gesamten Marktes ab und zählen im hier betrachteten Segment der kleineren und mittleren Aufdachanlagen zum Standard. Eine deutliche Steigerung der Wirkungsgrade bei einigen Dünnschichttechnologien, beispielsweise von CIGS-Modulen, führt jedoch dazu, dass auch leistungsstarke Dünnschichtmodule bei begrenzten Dachflächen Verwendung finden.





# Anlagenplanung

## Anlagenplanung



Das Gleiche gilt auch für spezielle Marktsegmente wie die Gebäudeintegration oder wenn die statischen Voraussetzungen den Planer dazu zwingen, (Dünnschicht-) Module mit einem möglichst geringen Gewicht zu verwenden. Module sind in verschiedenen Abmessungen erhältlich und können sowohl hoch- als auch querkant verbaut werden. Fachbetriebe können ausgehend von ihrem Produktportfolio eine Dachbelegung planen, die für die jeweiligen Anforderungen optimiert ist.

Der Wirkungsgrad eines Solarmoduls bestimmt den Flächenbedarf, der beispielsweise benötigt wird, um eine Anlage mit einer Leistung von 1 kWp zu installieren. Je höher also der Wirkungsgrad eines Moduls ist, desto geringer ist der Flächenbedarf, um die gleiche Leistung zu installieren. Der Stromertrag auf einer gegebenen Fläche wird dementsprechend maximiert, wenn Module mit einem hohen Wirkungsgrad verbaut werden. Auch wenn ein höherer Stromertrag einer höheren Vergütung durch das EEG entspricht und entsprechend mehr Strom für den Eigenverbrauch zur Verfügung steht, muss die Entscheidung für Module mit einem hohen Wirkungsgrad nicht unbedingt die Rendite des Anlagenbesitzers maximieren. Hierzu müssen die tatsächlichen Systempreise (in €/kWp) und das individuelle Verbrauchsprofil bei der Dimensionierung der Anlage berücksichtigt werden.

### Der Wechselrichter

Wechselrichter sind in verschiedenen Leistungsklassen erhältlich. Dabei muss darauf geachtet werden, dass der Wechselrichter hinsichtlich seiner Leistung zur Leistung der installierten Module passt. Maßgebliche Größe ist dabei das Nennleistungsverhältnis, das sich aus dem Verhältnis der maximalen Eingangsleistung des Wechselrichters zur Nennleistung der Module ergibt. Eine weitere wichtige Kenngröße stellt die Spannung des Modulfelds dar. Wechselrichter unterscheiden sich in ihrem zulässigen Eingangsspannungsbereich und müssen daher an die Anzahl der Module angepasst werden. Je mehr Module in einem Strang in Reihe geschaltet werden, desto höher ist auch die im Strang geführte Spannung.

### Der Speicher

Ob die Einbindung eines Speichers prinzipiell sinnvoll ist, hängt entscheidend vom Überschneidungsgrad zwischen dem Stromverbrauchsprofil und dem Erzeugungsprofil einer geplanten oder bereits vorhandenen Anlage ab. Ist dieser niedrig, lässt sich mit einem Batteriespeicher der Eigenverbrauchsanteil spürbar steigern. Wird eine Neuanlage mit Speicher geplant, erfolgt der Anschluss üblicherweise auf der Gleichspannungsseite, damit benötigt das System nur einen einzigen Wechselrichter und weist einen hohen Gesamtwirkungsgrad auf.

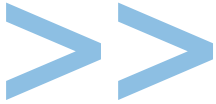
### Speichernachrüstung für Bestandsanlagen

Soll eine bereits vorhandene Photovoltaikanlage nachgerüstet werden, wird die Batterie auf der Wechselspannungsseite eingebunden. Dadurch kann der bereits vorhandene Wechselrichter weiter genutzt werden, es wird jedoch ein zusätzlicher Batteriewechselrichter benötigt, der den Wechselstrom aus dem Wechselrichter für die Einspeicherung wieder in Gleichstrom wandelt. Durch die zweifache Umwandlung ist die Effizienz des Systems niedriger als bei der Einbindung auf der Gleichspannungsseite. Wenn bereits eine Photovoltaikanlage vorhanden ist, hängt die Entscheidung für oder gegen einen Batteriespeicher maßgeblich von der jeweiligen Einspeisevergütung ab, die für die Anlage gilt. Gerade bei älteren Anlagen liegt die Einspeisevergütung nach EEG oftmals über den aktuellen Strombezugskosten beim Energieversorger und es gibt keinen ökonomischen Anreiz zum Eigenverbrauch (Mehr zur Wirtschaftlichkeit von Stromspeichern in [Kapitel 3.4](#)).



## ● Kosten, Nutzen & Ertrag im Vergleich



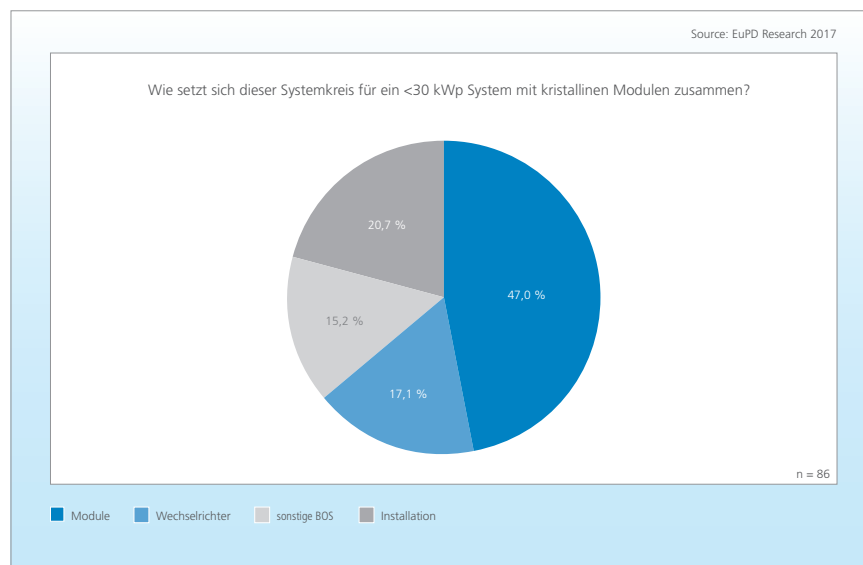


## III. Kosten, Nutzen und Ertrag im Vergleich

### 3.1. Kosten einer Photovoltaikanlage

Die gängige Größe, um die Kosten für eine Photovoltaikanlage zu beschreiben, ist der Preis je Kilowatt installierter Leistung. Dabei gilt, dass mit zunehmender Anlagengröße der Preis für den Endkunden sinkt. So kostet das installierte Kilowatt für kleinere Anlagen mit 3 kWp rund 500 Euro mehr als für größere Anlagen mit einer Leistung von mehr als 10 kWp.

< Grafik 5: „Zusammensetzung der Systempreise für eine Photovoltaikanlage mit kristallinen Modulen und ohne Batteriespeicher“; Quelle: EuPD Research 02/2017 >



Fast die Hälfte der entstehenden Kosten entfällt dabei auf die Module. Wechselrichter und der Arbeitsaufwand für die Installation stehen jeweils für rund ein Fünftel des Systempreises. Rund 15 Prozent betragen die Kosten für weitere Komponenten wie Verkabelung und Montagegestelle. Bei den Modulen als wichtigstem Kostenfaktor hat sich die Preisentwicklung nach den bis 2013 anhaltenden Preisstürzen in den letzten Jahren stabilisiert und ist in eine abgeflachte Seitwärtsbewegung übergegangen. Seit dem dritten Quartal 2016 ist jedoch eine bis heute anhaltende Tendenz zu wieder stärker sinkenden Preisen bei den kristallinen Modulen zu beobachten, was sich für den Endkunden in Form von sinkenden Systempreisen positiv auswirkt.



# Kosten, Nutzen & Ertrag im Vergleich

## Kosten, Nutzen & Ertrag im Vergleich



So liegt zum ersten Quartal 2017 der Nettopreis für schlüsselfertige Anlagen mit einer Leistung von weniger als 3 kWp bei durchschnittlich 1.700 €/kWp. Für Anlagen zwischen 3 und 10 kWp liegt der Mittelwert bei 1.400 € je kWp und für größere Anlagen zwischen 10 und 100 kWp beträgt der durchschnittliche Systempreis laut Erhebungen des Marktforschers EuPD Research rund 1.200 € je kWp. Bei allen Preisen handelt es sich um Richtwerte, die den Durchschnittspreis darstellen. In der Praxis weichen die Angebote jedoch um bis zu 30 Prozent nach oben oder unten ab. Daher empfiehlt es sich vor der Beauftragung mehrere Angebote einzuholen, die hinsichtlich des Angebotsumfangs und der vorgeschlagenen Produkte auch vergleichbar sind.

Auch der Herstellungsort der Komponenten und die Wahl der Marke haben Einfluss auf die Kosten der Installation. So liegen die Preise für Module aus chinesischer Fertigung, die bis zur Einführung von Mindestimportpreisen durch die EU-Kommission noch bis zu 30 Prozent niedriger waren, derzeit rund 10 Prozent unter den Preisen, die durchschnittlich für die Module deutscher oder japanischer Anbieter aufgerufen werden. Die Premiumanbieter verlangen zwar höhere Preise, bieten im Gegenzug jedoch oftmals auch einen erweiterten Leistungskatalog hinsichtlich der Garantiezusagen und der After-Sales-Leistungen an. Der Endkunde erhält also ein Produkt, das sich in Bezug auf Leistungsfähigkeit, Lebensdauer und Zuverlässigkeit von anderen Anbietern abgrenzt. Dem höheren Preis, den Anlagenbetreiber für die Produkte von Premiumanbietern zahlen müssen, steht die Aussicht gegenüber, über den gesamten Nutzungszeitraum wartungsarm und ohne Ausfälle einen hohen Stromertrag zu erzielen. Sollte dennoch ein Schadensfall eintreten, bieten Premiumanbieter meist Serviceleistungen, deren Leistungsumfang deutlich über die Angebote von No-Name-Anbietern hinausgeht.

Zusätzlich zu den Kosten für die Erstinstallation müssen Anlagenbetreiber mit weiteren Kosten für die Wartung im laufenden Betrieb rechnen. Als Richtgröße kann hier ein Wert von einem Prozent der Investitionssumme als jährlicher Kostenaufwand angenommen werden. Es ist üblich, dass die Hersteller in Ergänzung zur gesetzlichen Gewährleistungspflicht langjährige und weitreichende freiwillige Garantiezusagen anbieten, die das Kostenrisiko, das aus technischen Fehlern entstehen könnte, begrenzen.

### 3.2. Kosten für Speichersysteme

Auch bei den Batteriespeichern führt die derzeitige Preisentwicklung zu einer verbesserten Wirtschaftlichkeit der Systeme und steigert die Attraktivität für den Endkunden. Laut dem aktuellen Speichermonitoring der RWTH Aachen sinken die Preise für Bleibatterien derzeit jährlich um 5 Prozent, für Lithium-Ionen-Speicher sogar um 18 Prozent. Dies bedeutet laut einer Erhebung, die EuPD Research im Auftrag des Bundesverbandes Solarwirtschaft durchgeführt hat, für den Kunden, dass hinsichtlich der Nennkapazität der durchschnittliche Verkaufspreis für eine Bleibatterie bei

640 €/kWh liegt und für Lithiumbatterien bei 1.605 €/kWh. In beiden Fällen bezieht sich der Nettopreis auf ein schlüsselfertiges System, das auch die Batteriesteuerung und die Installation vor Ort beinhaltet. Tendenziell ist mit zunehmender Speichergröße ein Rückgang der Preise zu beobachten, da fixe Kosten für das Batteriemanagementsystem, das für die Überwachung und Regelung zuständig ist, auf eine höhere Anzahl an kWh umgelegt werden.

Maßgeblich für die Bewertung der Speicherkosten und den direkten Vergleich verschiedener Technologien, Produkte und Anbieter ist jedoch die Klärung der Frage, wie viel es kostet, eine Kilowattstunde Strom zu speichern. Die für die Berechnung notwendigen Informationen lassen sich aus den in den Datenblättern vorliegenden Kennzahlen selbst ermitteln. Werden die Anschaffungskosten sowie die Ausgaben für Betriebskosten durch den Wirkungsgrad, die Zahl der erwarteten Vollzyklen, die Entladetiefe und die Nennkapazität in kWh geteilt, stehen als Ergebnis die Kosten für eine gespeicherte Kilowattstunde. So lässt sich dann auch für den Einzelfall ermitteln, ob ein in den Anschaffungskosten günstigerer Bleiakkumulator, der jedoch eine kürzere Lebensdauer aufweist und in der Regel während der Nutzung einer Photovoltaikanlage über 20 Jahre voraussichtlich zumindest einmal getauscht werden muss, hinsichtlich der tatsächlichen Betriebskosten teurer oder günstiger ist als ein in der Anschaffung teurerer Lithium-Ionen-Akkumulator mit einer erwarteten Lebensdauer von 20 Jahren.

### 3.3. Finanzierung & Förderung

Bei der Finanzierung einer Photovoltaikanlage können Investoren sich zwischen einer Eigenkapital-, Fremdkapital- oder Mischfinanzierung entscheiden. Zunächst sollte geklärt werden, ob die Investitionskosten selbst getragen werden können oder ob alternative Anlageformen zur Verfügung stehen, in denen das Eigenkapital eine entsprechende Rendite erzielen kann. Bei der Fremdkapitalfinanzierung von Photovoltaikanlagen sind neben den Hausbanken, die auch als ausführende Partner der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) auftreten, auch Ethikbanken aktiv. Das Angebot entsprechender Solar- oder Modernisierungskredite geht oftmals mit vergünstigten Kreditkonditionen einher, da die gesetzlich festgeschriebene EEG-Vergütung als Sicherheit gilt. Zudem ist bei vielen Angeboten auch keine Grundschuldeintragung erforderlich. In der Praxis orientieren sich die Rückzahlungsraten an den Anlageerträgen und eine entsprechende Laufzeit des Kreditvertrages sollte sicherstellen, dass die Rückzahlung erfolgt ist, bevor ein Folgevertrag zu möglicherweise schlechteren Konditionen ausgehandelt werden muss. Wenngleich die Aufnahme eines Kredites die erzielten Überschüsse aufgrund der Verzinsung und der Tilgungsraten mindert, führt der Leverage Effekt dazu, dass die Verzinsung des eingesetzten Eigenkapitals steigt, solange die Anlagenrendite über den Kreditzins liegt. Prinzipiell interessant ist es im derzeitigen Niedrigzinsumfeld auch, die Anlage – mit oder ohne Speicher – vollständig über Fremdkapital zu finanzieren.



# Kosten, Nutzen & Ertrag im Vergleich

## Kosten, Nutzen & Ertrag im Vergleich



### 3.3.1. Rahmenbedingungen des EEG

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) regelt seit dem Jahr 2000 die Förderung von regenerativen Energiequellen in Deutschland und legt damit auch die Rahmenbedingungen für Photovoltaikanlagen fest. Das Gesetz hat in den vergangenen Jahren mehrere Novellierungen durchlaufen und wurde so an die Markt- und Technologieentwicklung und an die politischen Zielvorstellungen angepasst. Es gilt für alle Anlagen, die im Rahmen des EEG errichtet werden, dass die zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme geltende Fassung maßgeblich ist. Die sogenannten Altanlagen hingegen genießen einen Bestandsschutz, sodass Anlagenbetreiber über 20 Jahre eine Planungs- und Rechtssicherheit bezüglich der zu erwartenden Erlöse haben.

Die aktuelle Fassung ist zum 1. Januar 2017 in Kraft getreten und bringt als wichtigste Neuerung für die Photovoltaik die Umstellung der Förderung auf Ausschreibungsverfahren, die zu einer kosteneffizienteren Erzeugung von Solarstrom führen sollen. Das Gesetz sieht die jährliche Ausschreibung von Kapazitäten mit einem Gesamtvolumen von 600 MW vor. Die Ergebnisse der ersten Ausschreibungen zeigen, dass mittlerweile Anlagen realisiert werden, bei denen der Zuschlagshöhe bei rund 7 Ct/kWh liegt. Für die Betreiber kleinerer und mittlerer Anlagen ändert sich durch die Neuerungen jedoch nichts, denn eine großzügig gefasste Bagatellgrenze nimmt alle Anlagen bis zu einer Größe von 750 kWp von dieser Regelung aus. So können Neuanlagen in diesem Segment weiterhin von den fixen Vergütungssätzen profitieren.

#### Direktvermarktung und Einspeisevergütung

In seiner aktuellen Fassung unterscheidet das EEG zwischen der Direktvermarktung des erzeugten Stroms und der garantierten Einspeisevergütung. Die Direktvermarktung an der Strombörse ist für alle Betreiber verpflichtend, deren Anlage über eine Leistung von 100 kWp oder mehr verfügt. Eine Marktpremie, welche die Differenz zwischen den so erzielbaren Erlösen und der Volleinspeisung gegen EEG-Vergütungssätze ausgleicht, soll sicherstellen, dass auch mit der Direktvermarktung ein wirtschaftlicher Betrieb der Anlage möglich ist. Zusätzlich erhalten Anlagenbetreiber für jede kWh einen Zuschuss von 0,4 Ct, der die Kosten für die Direktvermarktung abgelenken soll und der bereits in die Vergütungssätze eingepreist ist. Alle Anlagen mit einer niedrigeren Leistung erhalten weiterhin über 20 Jahre die zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme im EEG festgelegte Einspeisevergütung.

Die zukünftige Entwicklung der Förderhöhe hängt von der Höhe des Zubaus ab. Mit dem EEG strebt die Regierung einen jährlichen Zubau von 2.500 MW an. Wird diese Zielvorgabe überschritten, steigt der monatliche Degressionssatz in mehreren Stufen von 1 Prozent (Überschreitung um bis zu 1.000 MW) auf bis zu 2,8 Prozent (Überschreitung um mehr als 5.000 MW). Fällt der jährliche Zubau wie derzeit niedriger aus, liegt die monatliche Degression bei einer Unterschreitung um mehr als 200 MW bei 0,25 Prozent und bei mehr als 400 MW bei 0 Prozent. Fällt der Zubau noch stärker unter die Zielvorgabe, ist eine einmalige Erhöhung der Vergütungssätze vorgesehen. Diese liegt je nach Ausmaß der Unterschreitung bei 1,5 bis 3 Prozent.



< Grafik 6: „Einspeisevergütungssätze für Strom aus Photovoltaikanlagen“ ; Quelle: Bundesnetzagentur 04/2017 >

**Erlösobergrenze Cent/kWh – Marktprämienmodell (seit 01.01.2016 ab 100kWp verpflichtend):**

| Inbetriebnahme   | Anlagen auf Wohngebäuden und Lärmschutzwänden |            |             | Sonstige Anlagen |
|------------------|-----------------------------------------------|------------|-------------|------------------|
|                  | bis 10 kWp                                    | bis 40 kWp | bis 750 kWp | bis 750 kWp      |
| ab 01.01.2017 ** | 12,70                                         | 12,36      | 11,09       | 8,91             |
| Degression **    | 0,00%                                         |            |             |                  |
| ab 01.02.2017    | 12,700000                                     | 12,3600000 | 11,090000   | 8,910000         |
| Rundung          | 12,70                                         | 12,36      | 11,09       | 8,91             |
| Degression **    | 0,00%                                         |            |             |                  |
| ab 01.03.2017    | 12,700000                                     | 12,3600000 | 11,090000   | 8,910000         |
| Rundung          | 12,70                                         | 12,36      | 11,09       | 8,91             |
| Degression **    | 0,00%                                         |            |             |                  |
| ab 01.04.2017    | 12,700000                                     | 12,3600000 | 11,090000   | 8,910000         |
| Rundung          | 12,70                                         | 12,36      | 11,09       | 8,91             |

\*) Anzulegende Werte nach § 48 EEG 2017

\*\*) Degressionsberechnung nach § 49 EEG 2017

**Vergütungssätze Cent/kWh – Feste Einspeisevergütung:**

| Inbetriebnahme   | Anlagen auf Wohngebäuden und Lärmschutzwänden |            |             | Sonstige Anlagen |
|------------------|-----------------------------------------------|------------|-------------|------------------|
|                  | bis 10 kWp                                    | bis 40 kWp | bis 100 kWp | bis 100 kWp      |
| ab 01.01.2017 *  | 12,30                                         | 11,96      | 10,69       | 8,51             |
| ab 01.02.2017 ** | 12,30                                         | 11,96      | 10,69       | 8,51             |
| ab 01.03.2017 ** | 12,30                                         | 11,96      | 10,69       | 8,51             |
| ab 01.04.2017 ** | 12,30                                         | 11,96      | 10,69       | 8,51             |

\*) Anzulegende Werte nach § 48 EEG 2017 abzüglich von 0,4 Cent/kWh nach § 53 Abs. 2 EEG 2017

\*\*) Degressionsberechnung nach § 49 EEG 2017 (abzulegender Wert -0,4 ct § 53 EEG 2017)



# • Kosten, Nutzen & Ertrag im Vergleich

## Kosten, Nutzen & Ertrag im Vergleich



Je nach Größe der Anlage sieht das EEG abgestufte Vergütungssätze vor. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass bei größeren Anlagen die Kosten je installiertem Kilowatt niedriger ausfallen als bei kleineren. Dabei gilt, dass für Anlagen größer als 10 kWp die Einspeisevergütung in Form einer Mischvergütung gezahlt wird. Dies bedeutet am Beispiel einer 35 kWp Anlage, die im April 2017 ans Netz geht, dass der Vergütungssatz für die ersten 10 kWp bei 12,7 Cent/kWh liegt, die weiteren 25 kWp werden mit 12,36 Ct/kWh vergütet. Daraus ergibt sich eine Gesamtvergütung von 12,46 Ct für jede eingespeiste Kilowattstunde.

### EEG-Umlage auf den Eigenverbrauch

Kleinere Anlagen bis zu einer Größe von 10 kWp sind auch mit der Novellierung des EEG von der EEG-Umlage auf ihren Eigenverbrauch befreit. Erst ab einer Anlagengröße von 10 kWp müssen die Betreiber 40 Prozent der EEG-Umlage, die 2017 bei 6,88 Ct/kWh liegt, für den selbst verbrauchten Strom entrichten.

### Voraussetzungen für Mieterstrommodelle

Bei einem Mieterstrommodell wird auf einem Mehrparteiengebäude eine Photovoltaikanlage betrieben und der erzeugte Strom den Mietern zur Verfügung gestellt. Betreiber kann entweder der Immobilienbesitzer sein, alternativ lässt sich die Anlage über einen Contracting-Partner betreiben. Für den Anlagenbetreiber ergibt sich dabei eine Zusatzrendite gegenüber der Volleinspeisung, gleichzeitig können die Mieter gegenüber dem Strombezug beim Grundversorger rund fünf bis zehn Prozent einsparen. Bisher wurden die Betreiber der Anlage mit der vollen EEG-Umlage von derzeit 6,88 Ct/kWh für den von den Mietern verbrauchten Strom belastet. Eine Verordnungsermächtigung im EEG 2017 schafft die Voraussetzungen, dass in Zukunft Mieterstrommodelle mit den Eigenversorgern gleichgestellt werden. Sobald die Verordnung umgesetzt ist, sinkt die EEG-Umlage für den selbst verbrauchten Strom auf 40 Prozent.

## 3.3.2. Speicherförderung

Die Anschaffung eines Batteriespeichers für Neu- oder Bestandsanlagen wird über die KfW-Bank mit dem Programm 275 staatlich gefördert. Noch bis Ende 2018 lassen sich die Speicher über einen zinsgünstigen Kredit finanzieren, der bis zu 100 Prozent der Investitionskosten abdeckt. Zusätzlich gewährt die KfW einen Tilgungszuschuss, der halbjährlich an die sinkenden Kosten für Batteriespeicher angepasst wird.

&lt; Grafik 7: KfW-Tilgungszuschüsse in Abhängigkeit vom Antragszeitraum; Quelle: KfW 04/2017 &gt;

| Antragszeitraum                           | Höhe Tilgungszuschuss |
|-------------------------------------------|-----------------------|
| 01.01.2017 - 30.06.2017                   | 19 Prozent            |
| 01.07.2017 - 31.12.2017                   | 16 Prozent            |
| 01.01.2018 - 30.06.2018                   | 13 Prozent            |
| 01.07.2018 - 31.12.2018<br>(Programmende) | 10 Prozent            |

Für die Erweiterung von Bestandsanlagen gilt, dass diese nur dann auf die KfW-Förderung zugreifen können, wenn die Anlage nach dem 1. Januar 2013 in Betrieb genommen wurde. Um die Förderung zu erhalten, gelten weitere Bedingungen. So wird diese nur gewährt, wenn die Anlage eine Leistung von 30 kWp nicht überschreitet, der Hersteller des Batteriespeichers eine mindestens zehnjährige Zeitwertgarantie gibt und die Einspeiseleistung durch den Speicher auf höchstens 50 Prozent begrenzt wird. Sichergestellt wird diese Begrenzung über eine Schnittstelle des Wechselrichters zur Fernparametrierung und zur Fernsteuerung. Zudem muss der Speicher von einer Fachkraft eingerichtet werden und dies mit einem Inbetriebnahme-Protokoll nachgewiesen werden.

Die Förderung muss beantragt und bewilligt werden, bevor die Installation des Speichers erfolgt. Insgesamt stehen in diesem Jahr 11,5 Mio. € für das Programm zur Verfügung. In Summe stehen über das Speicherförderprogramm bis Ende 2018 30 Millionen Euro zur Verfügung. Im vergangenen Jahr war das Budget bereits im Oktober aufgebraucht. Dieses Risiko droht auch 2017, dementsprechend sollte der Speicherkauf entsprechend zeitnah geplant werden.

Die genaue Höhe der Förderung hängt von den Investitionskosten für den Speicher und der Größe der Photovoltaikanlage ab. Wird der Speicher nachgerüstet, dient die Einzelrechnung als Nachweis für die Speicherkosten. Soll der Speicher bereits Teil einer Neuinstallation sein, wird der Kostenanteil des Speichers aus der Differenz zwischen Gesamtkosten und den Teilkosten für die Photovoltaikanlage berechnet. Dabei werden allerdings nicht die tatsächlich anfallenden Kosten berücksichtigt, sondern die KfW legt einen kalkulatorischen Wert je installiertem kWp fest. Dieser liegt in 2017 unverändert bei 1.600 €/je kWp. Da das tatsächliche Preisniveau vor allem bei den größeren Anlagen deutlich niedriger liegt, wird der Preisanteil des Speichers in diesen Fällen künstlich klein gerechnet, der Tilgungszuschuss fällt entsprechend geringer aus. Die mit dieser Methode ermittelten Speicherkosten werden anschließend durch die Leistung (kWp) der Photovoltaikanlage geteilt. Der erhaltene Wert in €/kWp dient nun zur Ermittlung des Tilgungszuschusses. Multipliziert man diesen Wert mit der Leistung der Anlage (in kWp) und mit dem prozentualen Anteil des Tilgungszuschusses, so erhält man die Höhe des Tilgungszuschusses. Die Obergrenze der maximal förderfähigen Kosten liegt jedoch bei 2.000 €/kWp.



# Kosten, Nutzen & Ertrag im Vergleich

## Kosten, Nutzen & Ertrag im Vergleich



### 3.4. Amortisation, Rendite und Mehrwert durch Zusatznutzen

#### 3.4.1. Neuanlagen

In diesem Abschnitt steht die Wirtschaftlichkeit von Photovoltaikanlagen im Fokus der Betrachtung und es soll aufgezeigt werden, welche Erwartungen Anlagenbetreiber hinsichtlich Amortisationsdauer und Rendite haben können. Anders als zu Zeiten der Volleinspeisung lassen sich jedoch nur begrenzt allgemeingültige Aussagen treffen. Strombezugskosten, Eigenverbrauchspotenzial und Lastprofil unterscheiden sich von Betreiber zu Betreiber und vermehrt müssen Annahmen zu Variablen getroffen werden, die sich über den Betriebszeitraum einer Solaranlage verändern können und deren Veränderungen in Höhe und Richtung ungewiss sind. Dazu zählen beispielsweise die Annahmen zur zukünftigen Entwicklung der Strombezugskosten aber auch zum Lastprofil der Bewohner oder Nutzer eines Gebäudes.

Um die Chancen zu illustrieren, finden sich in Kapitel 4 zwei Beispiele aus den Bereichen Gewerbe und Privathaus. Grundsätzlich bestimmt das Verhältnis zwischen Systempreisen, Einspeisevergütung, vermiedenen Strombezugskosten und Finanzierungsbedingungen die Rendite einer Photovoltaikanlage. Für alle vier Faktoren gilt, dass eine positive Entwicklung für potenzielle Anlagenbetreiber zu verzeichnen ist. Sinkende Systempreise stellen sicher, dass die Stromgestehungskosten unter den Einspeisetarifen liegen. Diese wiederum verharren auf ihrem Niveau, da der niedrige Zubau der Vergangenheit derzeit keine Degression vorsieht. Steigende Strombezugskosten stärken andererseits die Rolle des Eigenverbrauchs als Renditetreiber und die geltenden Kreditkonditionen ermöglichen eine günstige Finanzierung der Anlagen und sorgen für eine entsprechende Hebelwirkung. Eine übliche Anlagenrendite für die hier betrachteten kleineren und mittleren Aufdachanlagen liegt zwischen rund sechs und sieben Prozent. Trotz der erzielten Kostensenkungen bei den Batteriespeichern müssen Anlagenbetreiber damit rechnen, dass ihre Renditeerwartungen um ein bis zwei Prozentpunkte sinken, wenn sie sich für die Einbindung eines Speichers entscheiden.

Die finanzielle Amortisationszeit einer Aufdachanlage beträgt derzeit rund 9 bis 12 Jahre. In diesem Zeitraum erwirtschaftet die Anlage die investierten Kosten. In den Folgejahren erwirtschaftet die Anlage rechnerisch dann den Gewinn. Üblicherweise wird für die Berechnung der Rendite und bei der Ertragsprognose eine Anlagennutzungsdauer von 20 Jahren angenommen, da dies auch dem Zeitrahmen entspricht, in dem die EEG-Vergütung gezahlt wird. Erreicht die Anlage jedoch eine höhere Lebensdauer – und praktische Erfahrungen zeigen, dass 25 bis 30 Jahre nicht unrealistisch sind, verschiebt sich die Rendite weiter zugunsten des Betreibers. Weiterhin wird für die Berechnungen eine zukünftige Strompreisentwicklung angenommen, die aus der historischen Entwicklung abgeleitet wird. Auch hier kann die tatsächliche Entwicklung über 20 Jahre von den Annahmen abweichen und die Rendite entsprechend positiv oder negativ beeinflussen.

### Höherer Eigenverbrauchsanteil für eine höhere Rendite

Um die Rendite zu steigern, gilt für neuere Anlagen, bei denen die Einspeisevergütung unter den eigenen Strombezugskosten liegt, dass das Ziel ein möglichst hoher Eigenverbrauchsanteil sein sollte. Der zeitlichen Verschiebung des eigenen Stromverbrauchs dürften in der Regel enge Grenzen gesetzt sein, allerdings lassen sich viele Verbraucher wie beispielsweise Waschmaschinen und Trockner durch entsprechende Programmierung teilautomatisiert an das Erzeugungsverhalten der Solaranlage anpassen. Heimautomatisierungskonzepte, die eine enge Vernetzung von Erzeugungs- und Verbrauchseinheiten ermöglichen und die Nutzungsgewohnheiten der Bewohner berücksichtigen, können gleichfalls eine Lösung darstellen, um den Eigenverbrauchsanteil ohne Komfortverluste im Alltag zu erhöhen. Einige Anbieter von Speicherlösungen stellen auch Schnittstellen zur Verfügung, um den Speicher in ein bestehendes System zur Hausautomation zu integrieren. Feldstudien in diesem Bereich haben gezeigt, dass sich durch eine aktive Nachfragesteuerung der Eigenverbrauch um rund 10 Prozent steigern lässt.

## 3.4.2. Neuanlagen mit Stromspeicher

Soll bei der Anlagenplanung ein Speicher berücksichtigt werden oder eine bestehende Anlage mit einer Batterie nachgerüstet werden, fließen weitere Unsicherheiten in die Renditeberechnung ein. Zum einen ist hier die Lebenszykluszahl der Batterie zu nennen, die Rückschlüsse darauf zulässt, wie lange ein Speicher in einer Anlage bei vorgegebenem Nutzungsprofil verwendet werden kann, bevor ein Austausch erfolgen muss. Entsprechende Herstellergarantien oder Austauschprogramme können hier Risiken abschwächen und die Investitionssicherheit verbessern. Nur wenn die Summe aus den Kosten je gespeicherter kWh für das Batteriesystem und den Stromgestehungskosten der Photovoltaikanlage niedriger ausfällt als der Strombezugspreis, ist der Betrieb eines Speichers wirtschaftlich sinnvoll [Fraunhofer ISE, 2013, S. 16]. Würden die Strombezugspreise konstant bleiben, so bedeutet dies, dass bei einem Bezugspreis von 29 Ct/kWh für Haushaltsstrom und Stromgestehungskosten von 11 Ct/kWh die Kosten für die Stromspeicherung nicht mehr als 18 Ct/kWh für einen Speicher betragen dürften, der in einem privaten Wohngebäude genutzt wird. Der zukünftigen Entwicklung der Strombezugspreise kommt also ein hoher Stellenwert bei der Ermittlung der Rendite für Stromspeicher zu. Ob in der Berechnung ein jährlicher Anstieg von zwei oder aber sechs Prozent angenommen wird, wirkt sich signifikant auf die Wirtschaftlichkeit der gesamten Anlage aus. Zur Orientierung: Von 2010 bis 2016 lag der Anstieg der Strombezugspreise für Verbraucher im Schnitt bei 4,3 Prozent jährlich. Für Sondervertragskunden im Niederspannungsbereich fiel der jährliche Anstieg im gleichen Zeitraum mit rund 2,1 Prozent niedriger aus [Destatis: 2017, S. 44ff].



## Kosten, Nutzen & Ertrag im Vergleich

### Kosten, Nutzen & Ertrag im Vergleich



#### 3.4.3. Speichernachrüstung von Bestandsanlagen

Es hängt vor allem vom Alter der Bestandsanlage ab, ob sich eine Nachrüstung mit einem Batteriespeicher lohnt. Alle Anlagen, die noch vor 2009 installiert wurden, erhalten eine hohe Einspeisevergütung, sodass die Anschaffung eines Speichers keine wirtschaftlichen Vorteile verspricht und stattdessen weiterhin an der Volleinspeisung festgehalten werden sollte. Erst wenn die EEG-Förderung ausläuft, kann eine Speichernachrüstung wirtschaftlich interessant werden, wenn die Anlage weiter betrieben werden soll.

##### Sonderfall Eigenverbrauchsbonus

Das EEG sah in der damaligen Fassung für Anlagen, die zwischen dem 1. Januar 2009 und dem 31. März 2012 installiert wurden, eine spezielle Eigenverbrauchsvergütung für selbst verbrauchten Strom vor. Diese setzt sich aus einer relativ geringen Vergütung für einen Eigenverbrauchsanteil von bis zu 30 Prozent und einer höheren Vergütung für jede Kilowattstunde, welche die 30-Prozent-Marke überschreitet, zusammen. Zwar kann für solche Anlagen das KfW-Speicherprogramm nicht in Anspruch genommen werden (dies ist nur für Anlagen, die nach dem 1. Januar 2013 installiert wurden, möglich), im Einzelfall kann jedoch ein wirtschaftlicher Speicherbetrieb trotzdem aufgrund des Eigenverbrauchsbonus möglich sein.

##### Anlagen mit Inbetriebnahme seit 2013

Für Anlagen, die ab 2013 in Betrieb genommen wurden, gelten vergleichbare Bedingungen wie bei den Neuanlagen. Zudem kann für die Anschaffung eines Speichers die KfW-Förderung in Anspruch genommen werden. Für jüngere Anlagen, bei denen das EEG eine Vergütung vorsieht, die unter den Strombezugskosten liegt, kann die Investition in einen Speicher sinnvoll sein. Hier müssen für den Einzelfall die Investitionskosten für einen Speicher mit der Differenz aus Strombezugskosten und EEG-Vergütung gegengerechnet werden.

### 3.4.4. Geld verdienen am Regelenenergiemarkt

Mit der Teilnahme am Markt für Regelenenergie können sich Speicherbetreiber eine zusätzliche Einnahmequelle erschließen, indem sie die Leistung und Kapazität ihres Speichers nutzen, um negative oder positive Regelenenergie bereitzustellen. Eine Hürde stellen dabei jedoch die gesetzlichen Leistungsuntergrenzen dar, die Betreiber kleinerer Speichereinheiten daran hindern, selbst in die Direktvermarktung einzusteigen. So müssen Speicher, die im Bereich der Minuten- und Sekundärreserve vermarktet werden sollen, über eine Mindestleistung von 5 MW verfügen, für die Primärreserve gilt eine Untergrenze von 1 MW. Diese Größenordnung erreichen nur kommerzielle Großspeicher, doch auch durch Bündelung mehrerer kleiner Speicher in einem Pool kann ein virtueller Großspeicher entstehen, der die Voraussetzungen erfüllt. Erste Anbieter von Speichern und Hauskraftwerken bieten ihren Kunden bereits die Teilnahme an solchen Schwarmspeichern an, der Schwerpunkt dieser Angebote liegt in der Bereitstellung von negativer Regelleistung. Dabei meldet der Speicher automatisch die aktuelle Kapazität an eine zentrale Steuerungseinheit. Tritt im Stromnetz ein Überangebot auf, wird der Speicher kostenlos aus dem Netz beladen. Der Strom steht dem Batteriebetreiber zum Verbrauch zur Verfügung. Von Vorteil ist, dass die negative Regelleistung vor allem in den Wintermonaten bereitgestellt wird, wenn auch die Erträge aus der Solaranlage niedriger ausfallen. Durch die Teilnahme am Regelenenergiemarkt wird die Betriebsführung an dessen Anforderungen angepasst, woraus sich ein veränderter Fahrplan ergibt. Entsprechend müssen die auf dem Markt für Regelenenergie erzielbaren Erlöse in Bezug zu einer Betriebsführung gesetzt werden, die den Eigenverbrauchsanteil optimiert.

Anbieter von positiver Regelleistung erhalten neben dem Leistungspreis, der eine Bereitschaftsvergütung darstellt, auch einen Arbeitspreis, der in der Regel deutlich über dem Preis für Strom an der Energiebörse und den EEG-Vergütungssätzen liegt. Erste Speicheranbieter haben bereits angekündigt, mittelfristig den Markt für positive Regelleistung bedienen zu wollen. Sowohl bei der Sekundärregelleistung als auch bei der Minutenreserve können Speicherbetreiber frei wählen, ob sie positive oder negative Regelenenergie bereitstellen wollen. Soll Primärregelleistung angeboten werden, so muss diese immer sowohl als positive als auch als negative Leistung angeboten werden. Da das Doppelvermarktungsverbot des EEG vorschreibt, dass der gesamte Strom gegen Zahlung der Vergütungssätze eingespeist werden muss, steht dieser Markt Anlagenbetreibern, welche die EEG-Förderung nutzen wollen, nicht zur Verfügung. Da zudem die Erlöse bei der Sekundärregelleistung höher ausfallen als bei der Minutenreserveleistung, werden Batteriespeicher in erster Linie im Teilmarkt für Sekundärregelleistung vermarktet und stellen dort negative Regelenenergie zur Verfügung. Beispielrechnungen zeigen, dass mit einem Speicher, der über eine Kapazität von 8 kWh verfügt, durch die Teilnahme am Regelenenergiemarkt jährliche Einnahmen zwischen rund 140 und 400 € erzielt werden können [vgl. Hausmann, S.: 2014, S. 48].





## • Kosten, Nutzen & Ertrag im Vergleich

### Kosten, Nutzen & Ertrag im Vergleich

---



#### 3.4.5. Nicht-monetärer Nutzen einer Photovoltaikanlage

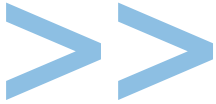
Neben der Rendite auf das eingesetzte Kapital weisen Photovoltaikanlagen weiteren nicht-monetären Nutzen auf, der entweder dem Anlagenbetreiber selbst oder aber der Gesellschaft zugutekommt. Auf individueller Seite sind hier die Unabhängigkeit vom Stromversorger, die gesicherte Stromversorgung beim Ausfall des öffentlichen Netzes und die Verbesserung des ökologischen Fußabdrucks zu nennen. Gesamtgesellschaftlich sorgen lokale Erzeugung und Verbrauch von erneuerbarem Strom dafür, dass Netzausbaukosten vermieden werden und der CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Strom-Mix verringert wird. Außerdem findet bei den kleineren Solaranlagen eine Partizipation der Bürger an der Energiewende statt. Durch die Investitionen entsteht eine lokale Wertschöpfung und durch die privaten Kleinakteure findet eine breitere Kapitalstreuung auf dem Energiemarkt statt. Das Oligopol weniger Energieversorger wird durch das Polipol der Bürger zunehmend verdrängt und sorgt für mehr Vielfalt im Wettbewerb und eine breite Partizipation an der Energiewende.



# IV

- Erfolgreiche Beispiele aus der Praxis





## IV. Erfolgreiche Beispiele aus der Praxis

Um eine Vorstellung von den Kosten, den wichtigsten Parametern und den Ertragschancen einer Photovoltaikanlage zu bekommen, sollen im Folgenden zwei Projekte skizziert werden. Das erste Projekt stellt eine Anlage in einem typischen Einfamilienhaus dar, im Anschluss wird eine Anlage auf einem Gewerbebetrieb, in diesem Fall einer Bäckerei, vorgestellt. In beiden Fällen wird die Anlage zunächst ohne einen Speicher geplant, anschließend wird ein zur Anlagenplanung passender Speicher berücksichtigt, mit dem die Betreiber ihren Eigenverbrauchsanteil steigern wollen.

### 4.1. Praxisbeispiel Einfamilienhaus

In Bonn befindet sich ein frei stehendes Einfamilienhaus des Baujahres 2001. Eigentümer und Bewohner ist eine vierköpfige Familie mit zwei schulpflichtigen Kindern. Der Vater arbeitet ganztags, die Mutter geht am Vormittag einer Halbtagsbeschäftigung nach. Einige Verbraucher wie Kühlschrank, Gefriertruhe oder der Internetrouter haben einen dauerhaften Stromverbrauch – früh am Morgen, in den Nachmittag- und Abendstunden sowie an den Wochenenden steigt der Stromverbrauch, da die Bewohner dann zuhause sind und weitere Geräte betreiben. Über das Jahr verbraucht die Familie so 4.500 kWh Strom, eine übliche Menge für einen Haushalt dieser Größe. Der Strombezug kostet die Familie jedes Jahr etwas mehr als 1.300 € bei ihrem örtlichen Energieversorger und aufgrund der Preissteigerungen der letzten Jahre rechnet die Familie damit, dass diese Kosten in Zukunft eher noch steigen werden. Zum einen durch Preiserhöhungen des Versorgers zum anderen durch den steigenden Stromverbrauch, wenn die Kinder größer werden.

# V.

## Erfolgreiche Beispiele aus der Praxis

### Erfolgreiche Beispiele aus der Praxis

< Grafik 8: „Einfamilienhaus mit Photovoltaikanlage ohne Stromspeicher“; Quelle: BDEW 2017 / Stromspiegel 2016 / EuPD Research 2017 >

#### Einfamilienhaus mit Photovoltaikanlage ohne Speicher

|                                                              |                                |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Jährlicher Stromverbrauch                                    | 4.500 kWh                      |
| Strompreis                                                   | 29.16 ct                       |
| Jährliche Strompreisteigerung                                | 3%                             |
| Lastprofil                                                   | Bewohner vormittags außer Haus |
| Standort der PV Anlage                                       | Bonn                           |
| Ausrichtung der PV Anlage                                    | Süd                            |
| Azimut der Anlage (Abweichung von Südausrichtung)            | 0°                             |
| Neigung der PV-Anlage                                        | 15°                            |
| Berechneter Ertrag je Kilowatt                               | 802 kWh/kWp                    |
| Anlagengröße                                                 | 5.61 kWp                       |
| Inbetriebnahme der Anlage                                    | 07.04.2017                     |
| Einspeisevergütung                                           | 0,12 €                         |
| Laufzeit der Anlage                                          | 20 Jahre                       |
| Jährliche Wartungskosten (in Prozent der Investitionskosten) | 1%                             |
| Systemdegradation                                            | 0,25%                          |
| Eigenkapital                                                 | 0,00%                          |
| Darlehen                                                     | € 7.015                        |
| Kreditlaufzeit                                               | 10 Jahre                       |
| Tilgungsfreie Zeit                                           | 2 Jahre                        |
| Zinssatz (Kredit)                                            | 2,50%                          |
| Zinssatz (Wiederanlage)                                      | 2,50%                          |
| Eigendeckungsquote                                           | 42,03%                         |
| Wirtschaftlichkeit (QIKV)                                    | 6,55%                          |

Von einer Photovoltaikanlage versprechen sich die Eltern, ihre Strombezugskosten zu reduzieren und mit der Einspeisung des Stromüberschusses Erlöse zu erzielen. Sie bitten einen Installateurbetrieb um eine Einschätzung, ob eine Photovoltaikanlage in ihrer Ausgangssituation eine sinnvolle Überlegung ist. Der Installateur ermittelt eine Dachneigung von 15 Grad, rund die Hälfte der idealen Neigung am geplanten Standort. Durch die reine Südausrichtung der Dachfläche mit einer Größe von rund 70 Quadratmetern gelangt der Installateur in seiner Ertragsprognose dennoch auf einen Ertrag von 802 kWh für jedes installierte Kilowatt. Auf der Dachfläche sind mehrere Fenster verbaut, sodass sich die zur Verfügung stehende Dachfläche etwas verringert. Der Installateur empfiehlt der Familie schließlich eine Anlage mit einer Leistung von 5,61 kWp. Sein Angebot für diese Anlage liegt bei 7.015 € und beinhaltet bereits die Kosten für die Installation. Für die junge Familie ist dies viel Geld. Der Installateur weist die Familie darauf hin, dass aufgrund des günstigen Zinsniveaus die Kreditfinanzierung einer Photovoltaikanlage derzeit sehr attraktiv ist, zudem von mehreren Anbietern auch eine Vollfinanzierung angeboten wird. Die Familie entschließt sich dafür, einen KfW-Kredit mit einer Laufzeit von 10 Jahren aufzunehmen, davon sind die ersten beiden Jahre tilgungsfrei. Der Zinssatz liegt bei 2,5 Prozent. Der Installateur sichert die Inbetriebnahme der Anlage zum 7. April zu. Damit gilt über 20 Jahre eine Vergütung von 0,12 Ct für jede überschüssige Kilowattstunde, die ins Stromnetz eingespeist wird. Am wichtigsten ist der Familie aber vor allem, ihre Strombezugskosten zu verringern und möglichst viel Strom selbst zu verbrauchen. Bei ihrem Lastprofil und der vom Installateur durchgeführten Anlagenplanung liegt die Eigendeckungsquote bereits bei 42 Prozent, der interne Zinsfuß liegt bei 6,55 Prozent.

< Grafik 9: „Einfamilienhaus mit Photovoltaikanlage mit Stromspeicher“; Quelle: BDEW 2017 / Stromspiegel 2016 / EuPD Research 2017 >

#### Einfamilienhaus mit Photovoltaikanlage und Stromspeicher

|                                                   |                                |
|---------------------------------------------------|--------------------------------|
| Jährlicher Stromverbrauch                         | 4.500 kWh                      |
| Strompreis                                        | 29.16 ct                       |
| Jährliche Strompreisteigerung                     | 3%                             |
| Lastprofil                                        | Bewohner vormittags außer Haus |
| Standort der PV Anlage                            | Bonn                           |
| Ausrichtung der PV Anlage                         | Süd                            |
| Azimut der Anlage (Abweichung von Südausrichtung) | 0°                             |
| Neigung der PV-Anlage                             | 15°                            |
| Berechneter Ertrag je Kilowatt                    | 802 kWh/kWp                    |



# V.

## Erfolgreiche Beispiele aus der Praxis

### Erfolgreiche Beispiele aus der Praxis

#### Einfamilienhaus mit Photovoltaikanlage und Stromspeicher

|                                                                 |                |
|-----------------------------------------------------------------|----------------|
| Anlagengröße (Richtwert)                                        | 5.61 kWp       |
| Speichergöße                                                    | 3.9 kWh        |
| Inbetriebnahme der Anlage                                       | 07.04.2017     |
| Einspeisevergütung                                              | 0,12 €         |
| Laufzeit der Anlage                                             | 20 Jahre       |
| Jährliche Wartungskosten<br>(in Prozent der Investitionskosten) | 1%             |
| Systemdegradation                                               | 0,25%          |
| Kosten für Batteriespeicher                                     | 1.419 € je kWh |
| Eigenkapital                                                    | 0%             |
| Darlehen                                                        | 12.550 €       |
| Kreditlaufzeit                                                  | 10 Jahre       |
| Tilgungsfreie Zeit                                              | 2 Jahre        |
| Zinssatz (Kredit)                                               | 2,50%          |
| Zinssatz (Wiederanlage)                                         | 2,50%          |
| Eigendeckungsquote                                              | 63,61%         |
| Wirtschaftlichkeit (QIKV)                                       | 4,41%          |

Um den Eigenverbrauchsanteil weiter steigern zu können, schlägt der Installateur der Familie vor, einen Lithium-Batteriespeicher zu installieren. Der empfohlene Speicher verfügt über eine Kapazität von 3,9 kWh und soll weitere 5.535 € kosten. Auch hier entscheidet sich die Familie für den KfW-Kredit und profitiert gleichzeitig von den Tilgungszuschüssen des Förderprogramms für Batteriespeicher. Durch den Speicher lässt sich die geplante Eigendeckungsquote auf 63,6 Prozent steigern, gleichzeitig sinkt die Wirtschaftlichkeit auf 4,41 Prozent.

#### 4.2. Praxisbeispiel Gewerbe

Bäckereien zählen zu den energieintensiven Gewerben, da bei der Herstellung der Backwaren ein hoher Strombedarf für die thermischen Prozesse beim Kühlen und Backen entsteht. Ein Großteil des Energiebedarfs fällt dabei in den Nacht- und frühen Morgenstunden an.

< Grafik 10: „Bäckerei mit Photovoltaikanlage ohne Stromspeicher“; Quelle: BDEW 2017 / Stromspiegel 2016 / EuPD Research 2017 >

| Bäckerei mit Photovoltaikanlage ohne Speicher                |             |
|--------------------------------------------------------------|-------------|
| Jährlicher Stromverbrauch                                    | 28.500 kWh  |
| Strompreis                                                   | 20.95 ct    |
| Jährliche Strompreisteigerung                                | 3%          |
| Standort der PV Anlage                                       | Bonn        |
| Ausrichtung der PV Anlage                                    | Süd         |
| Azimut der Anlage (Abweichung von Südausrichtung)            | 0°          |
| Neigung der PV-Anlage                                        | 15°         |
| Berechneter Ertrag je Kilowatt                               | 802 kWh/kWp |
| Anlagengröße                                                 | 35.54 kWp   |
| Inbetriebnahme der Anlage                                    | 10.04.2017  |
| Einspeisevergütung                                           | 0,12 €      |
| Laufzeit der Anlage                                          | 20 Jahre    |
| Jährliche Wartungskosten (in Prozent der Investitionskosten) | 1%          |
| Systemdegradation                                            | 0,25%       |
| Eigenkapital                                                 | 0%          |
| Darlehen                                                     | 44.431,46 € |
| Kreditlaufzeit                                               | 10 Jahre    |
| Tilgungsfreie Zeit                                           | 2 Jahre     |
| Zinssatz (Kredit)                                            | 2,50%       |
| Zinssatz (Wiederanlage)                                      | 2,50%       |
| Eigendeckungsquote                                           | 45,74%      |
| Wirtschaftlichkeit (QIKV)                                    | 6,76%       |



# IV. Erfolgreiche Beispiele aus der Praxis

## Erfolgreiche Beispiele aus der Praxis



Eine Bonner Bäckerei mit einem Jahresstromverbrauch von 28.500 kWh zahlt dafür einen Strompreis von 20,95 Ct für jede Kilowattstunde. Über das Jahr belaufen sich die Stromkosten so auf fast 6.000 €. Das Unternehmen entscheidet sich dazu, einen Energieberater mit einer Energieeffizienzanalyse zu beauftragen. Dieser empfiehlt neben anderen Maßnahmen auch die Installation einer Photovoltaikanlage. Das Gebäude, in dem Backstube und Verkaufsräume untergebracht sind, gehört dem Betreiber und verfügt wie das Einfamilienhaus im ersten Beispiel über eine Dachneigung von 15 Grad und eine reine Südausrichtung. Der mit der Anlagenplanung beauftragte Fachbetrieb schlägt eine Anlage mit kristallinen Modulen und einer Gesamtleistung von 35,54 kWp vor. Damit lässt sich am Anlagenstandort ein jährlicher Ertrag von rund 28.500 kWh erzielen, genau so viel wie die Bäckerei im gleichen Zeitraum verbraucht. Eine günstige KfW-Finanzierung mit einem Zinssatz von 2,5 Prozent und einer Laufzeit von 10 Jahren soll die Kosten von 44.431 € decken. Dabei sind die ersten beiden Jahre tilgungsfrei. Da die Anlage eine Leistung von mehr als 30 kW aufweisen wird, steht der Bäckerei das Speicherförderprogramm der KfW nicht zur Verfügung.

Aufgrund der historischen Entwicklung der Strompreise nimmt der Installateurbetrieb für seine Ertragsprognose eine jährliche Preissteigerung von 3 Prozent an, den Aufwand für die Anlagenwartung schätzt er auf 1 Prozent der Investitionssumme jährlich. Auch wenn das Lastprofil der Bäckerei in einigen Teilbereichen von der Erzeugungskurve der Anlage abweicht, ermittelt der Installateur eine mögliche Eigendeckungsquote von 45,7 Prozent und berechnet eine Wirtschaftlichkeit von 6,76 Prozent.

< Grafik 11: „Bäckerei mit Photovoltaikanlage und Stromspeicher“ ; Quelle: BDEW 2017 / Stromspiegel 2016 / EuPD Research 2017 >

| Bäckerei mit Photovoltaikanlage mit Stromspeicher |             |
|---------------------------------------------------|-------------|
| Jährlicher Stromverbrauch                         | 28.500 kWh  |
| Strompreis                                        | 20.95 ct    |
| Jährliche Strompreissteigerung                    | 3%          |
| Standort der PV Anlage                            | Bonn        |
| Ausrichtung der PV Anlage                         | Süd         |
| Azimet der Anlage (Abweichung von Südausrichtung) | 0°          |
| Neigung der PV-Anlage                             | 15°         |
| Berechneter Ertrag je Kilowatt                    | 802 kWh/kWp |

### Bäckerei mit Photovoltaikanlage mit Stromspeicher

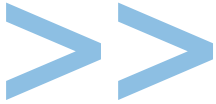
|                                                              |                |
|--------------------------------------------------------------|----------------|
| Anlagengröße                                                 | 35.54 kWp      |
| Speichergöße                                                 | 7.8 kWh        |
| Inbetriebnahme der Anlage                                    | 10.04.2017     |
| Einspeisevergütung                                           | 0,12 €         |
| Laufzeit der Anlage                                          | 20 Jahre       |
| Jährliche Wartungskosten (in Prozent der Investitionskosten) | 1%             |
| Systemdegradation                                            | 0,25%          |
| Kosten für Batteriespeicher                                  | 1.419 € je kWh |
| Eigenkapital                                                 | 0              |
| Darlehen                                                     | 55.499,66 €    |
| Kreditlaufzeit                                               | 10 Jahre       |
| Tilgungsfreie Zeit                                           | 2 Jahre        |
| Zinssatz (Kredit)                                            | 2,50%          |
| Zinssatz (Wiederanlage)                                      | 2,50%          |
| Eigendeckungsquote                                           | 53,45%         |
| Wirtschaftlichkeit (QIKV)                                    | 5,85%          |

Der Betreiber der Bäckerei möchte den Eigenverbrauchsanteil weiter steigern und entscheidet sich daher für das Alternativangebot seines Installateurs, bei dem ein Batteriespeicher Bestandteil der Kalkulation ist. Mit einer Kapazität von 7,8 kWh lässt er zwar die Kosten um rund 11.000 € steigen und die Wirtschaftlichkeit auf 5,85 Prozent sinken, dafür liegt die Eigendeckungsquote nun aber bei rund 54 Prozent. Der Bäckereibetreiber plant zudem, die Laufzeiten seiner Geräte stärker an die Erzeugungskurve der Photovoltaikanlage anzupassen und erhofft sich davon weitere Steigerungen beim Eigenverbrauchsanteil. Zudem ist der Speicher so gewählt, dass seine Kapazität zu einem späteren Zeitpunkt noch modular erweitert werden kann.

# V

## • Steuerliche Behandlung von Photovoltaikanlagen





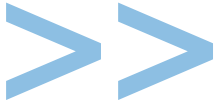
## V. Steuerliche Behandlung von Photovoltaikanlagen

Bei netzgekoppelten Photovoltaikanlagen wird der erzeugte Strom ganz oder teilweise in das Stromnetz eingespeist und zu der im EEG vorgesehenen Einspeisevergütung an den Netzbetreiber verkauft. Dies gilt aus Sicht der Finanzämter – auch wenn es sich um eine Anlage auf einem privaten Wohngebäude handelt – als gewerbliche Tätigkeit und muss dem Finanzamt gemeldet werden. Abhängig von der Stellung des Anlagenbetreibers sind damit Einkommens-, Umsatz- und Gewerbesteuer betroffen. Der zu versteuernde Gewinn ergibt sich aus der Differenz zwischen Betriebseinnahmen (Vergütung für gelieferten Strom und Eigenverbrauch) und Betriebsausgaben (Kaufpreis der Anlage, Wartungskosten, Kreditzinsen und Versicherungskosten). Aufgrund der Kleinunternehmerregelung nach §19 des Umsatzsteuergesetzes kann der Betreiber einer Anlage sich von der Umsatzsteuer befreien lassen, wenn der voraussichtliche Umsatz im Jahr der Inbetriebnahme 17.500 € und im Folgejahr den Betrag von 50.000 € nicht überschreitet. Meist verzichten die Betreiber jedoch freiwillig auf die Befreiung und entscheiden sich für die Regelbesteuerung. Auf diese Weise erhält der Anlagenbetreiber die Umsatzsteuer, die ihm vom Verkäufer der Anlage in Rechnung gestellt wird sowie weitere Steuerbeträge, die beispielsweise auf Wartung und Unterhalt anfallen, als Vorsteuer erstattet. Unter steuerlichen Gesichtspunkten gelten Photovoltaikanlagen als bewegliches Wirtschaftsgut, bei dem eine Nutzungsdauer von 20 Jahren veranschlagt wird. Dies ist bei der Abschreibung der Anlage zu berücksichtigen. Die steuerliche Behandlung von Photovoltaikanlagen, die zum Zeitpunkt der Installation oder nachträglich mit einem Batteriespeicher ergänzt werden, weist einige Besonderheiten auf, die vom Zeitpunkt der Inbetriebnahme und der zu diesem Zeitpunkt geltenden EEG-Fassung abhängen. Daher empfiehlt es sich, im Einzelfall das zuständige Finanzamt oder eine Steuerberatung anzusprechen.



# VI. Garantie & Gewährleistungsrechte





## VI. Garantie & Gewährleistungsrechte

Photovoltaikanlagen sind als langlebige Investitionsobjekte ausgelegt und sollen im Idealfall während der im EEG vorgesehenen Vergütungsdauer von 20 Jahren und darüber hinaus einen stabilen und hohen Stromertrag liefern. Fehler beim Anlagendesign oder der Einsatz qualitativ minderwertiger Komponenten können jedoch im schlimmsten Fall dazu führen, dass die Investition für den Anlagenbetreiber nicht eine positive und attraktive Rendite abwirft, sondern zu einem Verlustgeschäft wird.

Ist eine Anlage falsch ausgelegt, so kann es dadurch zu extremen Minderleistungen kommen. Deshalb sollten Endkunden auf die Berechnung spezifischer Ertragswerte (kWh pro installiertem kWp und Jahr) bestehen, auch wenn Installateure in der Regel keine Ertragsgarantie, sondern nur eine Ertragsprognose geben. Möglich sind solche Berechnungen mit speziellen Programmen wie PV-Sol oder PV-Syst. Unabhängig vom Installateur kann der Anlagenbetreiber auch selbst die Ertragsprognose des Installateurs überprüfen und so einschätzen, ob die Ertragswerte des Installateurs realistisch sind. Einige Wechselrichterhersteller bieten auf ihrer Internetseite eine kostenlose Software an, mit der sich der Ertrag einer bestimmten Modul-Wechselrichterkombination in der vom Installateur vorgeschlagenen Auslegung berechnen lässt.

Viele Hersteller bieten freiwillige Produktgarantien an, die über die gesetzlich vorgeschriebene Gewährleistung von zwei Jahren hinausgehen. Meist decken diese einen Zeitraum von fünf bis zehn Jahren ab, aber auch längere Zeiträume von bis zu 25 Jahren werden angeboten. Diese Garantien decken Verarbeitungs- und Materialfehler ab. Käufer sollten die Garantieerklärung darauf prüfen, ob diese für alle Komponenten des Moduls wie Zellen, Rahmen, Glas, Kabel oder Anschlussdose gilt. Tritt ein Defekt auf, führt der Anbieter eine kostenlose Reparatur durch oder ersetzt die defekten Teile.

Zusätzlich bieten viele Hersteller eine Leistungsgarantie an, die sich auf die Degradation – also die Abnutzung der Module und damit das Sinken des Wirkungsgrads – während der Lebensdauer der Anlage bezieht. Üblicherweise erfolgt dies in Form einer Stufengarantie, die nach zehn Betriebsjahren noch 90 Prozent und nach 20 Jahren immerhin noch 80 Prozent der Nennleistung verspricht. Alternativ werden auch lineare Leistungsgarantien angeboten, die über einen Zeitraum von bis zu 30 Jahren eine prozentuale Obergrenze für die jährliche Leistungsreduzierung festsetzen.

Während die Garantiezusagen der Wechselrichterhersteller marktüblich einen Zeitraum von mindestens zwei Jahren (dieser Zeitraum entspricht der gesetzlich vorgeschriebenen Gewährleistung), meist jedoch bis zu fünf oder sechs Jahren nach Inbetriebnahme abdecken, bieten etliche Hersteller gegen einen Aufpreis auch die Verlängerung der Garantiezeit in verschiedenen Stufen auf bis zu 25 Jahren an.

# V. Garantie & Gewährleistungsrechte

## Garantie & Gewährleistungsrechte



Dies bedeutet zwar für den Anlagenbetreiber zunächst einen Aufpreis für das Gesamtsystem und damit auch eine geringere Rendite, hat jedoch zur Folge, dass das Risiko eines Wechselrichterdefekts kalkulierbar wird.

Auch bei den Batterieanbietern ist zu beobachten, dass die angebotene Produktgarantie häufig über die zweijährige Gewährleistung hinausgeht. Üblich sind für Lithium-Ionen-Batterien Zeiträume von fünf bis zehn Jahren, einzelne Anbieter erweitern ihre Garantiezusagen auf bis zu 16 Jahre oder bieten gegen Aufpreis eine Garantieverlängerung auf bis zu 20 Jahre an. Ergänzend bieten einige Anbieter auch Leistungsgarantien an, die Obergrenzen für die Degression der Speicherkapazität über seine Nutzungsdauer beinhalten.

Manche Anbieter unterscheiden bei ihren freiwilligen Garantiezusagen zwischen der Garantie auf die Elektronik des Speichers und auf die Batteriezellen und bieten für Letztere nur eine Zeitwertersatzgarantie an. Ersetzt wird dem Kunden dabei bei einem Defekt der Batterie der Zeitwert. Dieser wird in Form einer jährlich linear angenommenen Abschreibung ermittelt. Als defekt gilt die Batterie, wenn ihre Kapazität 80 Prozent der Nennkapazität unterschreitet. Neben der Absicherung gegen Risiken sind die Garantiezusagen für den Anlagenbetreiber auch wichtig, um KfW-Fördermittel zu erhalten. Die Fördervoraussetzungen schreiben vor, dass eine Zeitwertersatzgarantie des Herstellers von mindestens zehn Jahren vorliegt. Dies soll sicherstellen, dass keine minderwertigen Batterien die Förderung erhalten.

Im Falle einer Leistungsminderung oder des Ausfalls einer Anlagenkomponente ist aus Sicht des Anlagenbetreibers zunächst zu differenzieren, ob und welche Ansprüche sich für ihn aus Gewährleistung – und falls angeboten – aus einem Garantieversprechen ergeben. Die Inanspruchnahme von Gewährleistung auf der einen und von Garantieansprüchen auf der anderen Seite ist unter anderem von der Vertragskonstellation wie auch vom Zeitpunkt des Schadeneintritts abhängig. Der Anlagenbetreiber muss daher im Hinblick auf tatsächliche, finanzielle und gegebenenfalls rechtliche Aufwände genau prüfen, welche der von ihm gewünschten Rechtsfolgen bei welchem der infrage kommenden Anspruchsgegner mit den besten Erfolgsaussichten durchgesetzt werden können.

Deswegen sollten Kunden bei der Auswahl der Hersteller und Lieferanten darauf achten, ob der Anbieter in der Lage ist, die gesetzlich vorgeschriebenen Gewährleistungsansprüche wie auch die vertraglich vereinbarten Garantieleistungen zu erfüllen und ob der Anspruch im Falle einer rechtlichen Auseinandersetzung durchgesetzt werden kann.

Maßgeblich für die Ansprüche des Anlagenbetreibers gegen den Installateur bzw. Solarteuer sind die Gewährleistungsrechte, also das Recht auf Nachbesserung, Minderung des vereinbarten Herstellungspreises sowie das Recht auf Rücktritt vom Errichtungsvertrag. Ab dem Abnahmezeitpunkt der Anlage hat der Betreiber zwei Jahre Zeit, diese Ansprüche geltend zu machen.



Wird der Hersteller insolvent, kann der Kunde seine Gewährleistungsansprüche gegenüber dem Verkäufer der Photovoltaikanlage, also dem Installateur oder Solarteur, geltend machen. Ist die Photovoltaikanlage fester Bestandteil eines Gebäudes, so verlängert sich die Verjährungsfrist auf fünf Jahre, das heißt der Installateur bzw. Solarteur kann bis zu fünf Jahre für die Erfüllung der Gewährleistungsansprüche haftbar gemacht werden [Wolff/Volz: 2010, S. 48f]. Nach Ablauf dieser Fristen muss sich der Anlagenbetreiber wie eingangs beschrieben mit eventuell vorhandenen, zeitlich darüber hinausgehenden Garantieansprüchen direkt an den Hersteller wenden.

Folgende Faktoren können die Erfolgsaussichten, Schadensersatzansprüche und Ansprüche aus Garantie und Gewährleistung durchzusetzen, beeinflussen:

#### Sitz des Herstellers

Nicht alle ausländischen Hersteller verfügen über eine Niederlassung in Deutschland mit Muttersprachlern als Ansprechpartner bei Problemen mit der Anlage. Auch ein Gerichtsstand im Ausland kann die gerichtliche Durchsetzung von Ansprüchen deutlich erschweren und die Prozesskosten unkalkulierbar machen. Nicht in jedem Fall unterliegen die Garantien deutschem Recht, sondern orientieren sich an den garantierechtlichen Regelungen, die im Herkunftsland des Herstellers gelten. Die Kosten eines Gerichtsverfahrens können am Ende unter Umständen höher liegen als der ursprüngliche Streitwert des Verfahrens. Anders ist dies zu bewerten, wenn der ausländische Hersteller über eine Tochterfirma in Deutschland vertreten ist und das Produkt über diese vertrieben wird. In diesem Fall gilt im Garantiefall das deutsche Recht.

#### (Un-)autorisierter Händler

Viele Hersteller beschränken ihre Garantieleistungen auf Kunden, die ihre Komponenten entweder direkt vom Hersteller oder über einen autorisierten Vertragshändler gekauft haben. Vermeintlich billige Module, die auf anderen Vertriebswegen bezogen wurden, können sich so zu einer teuren Fehlinvestition entwickeln, wenn im Schadensfall Ansprüche nicht geltend gemacht werden können.

#### Umfang der Garantiezusagen

Üblich ist es, dass Hersteller bei einem Produktfehler eine Nachbesserung vornehmen, schadhafte Komponenten austauschen oder aber zusätzliche Module installieren. Viele Hersteller behalten sich jedoch das Recht vor, defekte Module nicht durch identische Module zu ersetzen, sodass der Anlagenbetreiber möglicherweise Komponenten erhält, die nicht dem ursprünglichen Design der Anlage entsprechen. Für Anlagenbetreiber ist es darüber hinaus wichtig zu wissen, ob der Anbieter eventuell anfallende Montage- und Lieferkosten übernimmt oder für den durch den Schaden ausgelösten Ertragsausfall aufkommt.

# V. Garantie & Gewährleistungsrechte

## Garantie & Gewährleistungsrechte



### Finanzkraft des Herstellers

Bei größeren Fehlproduktionen können finanzielle Garantieforderungen entstehen, welche die Finanzkraft des Herstellers überschreiten. In solchen Fällen ist es für den Kunden von Vorteil, wenn der Hersteller selbst eine entsprechende Rückversicherung abgeschlossen hat. Im Falle der Insolvenz eines Komponentenherstellers droht in der Regel der Verlust jeglicher Garantieansprüche des Käufers beziehungsweise eine nur teilweise Erfüllung der Ansprüche aus dem Restvermögen des insolventen Herstellers. Für Hersteller besteht die Möglichkeit, sich über einen Rückversicherer für den Insolvenzfall abzusichern. In diesem Fall übernimmt die Versicherung die Garantieleistungen, wenn der eigentliche Garantiegeber – der Hersteller – diese nicht mehr selbst erbringen kann.

### Marktstellung des Herstellers

Der Kauf der Komponenten von etablierten Markenunternehmen kann eine gewisse Sicherheit geben, dass das Unternehmen bei Eintritt eines zukünftigen Garantiefalls noch existiert und finanziell in der Lage ist, die Forderungen zu bedienen. Ein hoher Bekanntheits- und Akzeptanzgrad des Herstellers lässt Rückschlüsse auf die Marktstellung des Herstellers zu. Dies sollte in den Prozess der Kaufentscheidung mit einfließen, da Garantiefälle auch erst mehrere Jahre nach Inbetriebnahme der Anlage auftreten können.

### Qualität der Installation

In der Regel ist die Garantieleistung an eine fachgerechte Installation der Komponenten gekoppelt. Eine fehlerhafte Montage durch Eigeninstallation oder einen unqualifizierten Installateurbetrieb kann beispielsweise Modul-, Rahmen- oder Glasschäden zur Folge haben und führt in der Regel zum Erlöschen der Garantieansprüche. In jedem Fall sollte sich der Endkunde vom Installateur eine komplette Dokumentation über die Anlage erstellen und aushändigen lassen. Darin sind alle relevanten Informationen zur Anlage enthalten. Dazu zählen beispielsweise die Art der Komponenten, die Flashlist der Module, der Stringverlauf, die Aufteilung der Module und die Anzahl und der Ort der Dachhaken sowie die Erdung. Treten Probleme auf, lässt sich mit der Dokumentation der ursprüngliche Sollzustand der Anlage belegen und eine Analyse der aufgetretenen Schäden und ihrer Ursachen wird vereinfacht.

### Beweispflicht

Einige Hersteller schränken ihre Garantieleistungen dahin gehend ein, dass dem Anlagenbetreiber auferlegt wird, das Vorliegen der behaupteten Mängel als solche zu beweisen und solche Ursachen für die Entstehung der Mängel auszuschließen, die der Garantiegeber entweder nicht zu vertreten hat oder die nicht von der Garantie umfasst sind.



# VII. Risiken, Versicherungen & Sicherheitsmaßnahmen





## VII. Risiken, Versicherungen & Sicherheitsmaßnahmen

Die Investition in eine Photovoltaikanlage gilt allgemein als risikoarm und Photovoltaikanlagen, die ohne bewegliche Teile auskommen, arbeiten nahezu wartungsfrei. Dem entsprechend niedrig fallen in der Regel die Kosten für Betrieb, Wartung und Reparaturmaßnahmen aus. Es kann davon ausgegangen werden, dass die laufenden Kosten im Durchschnitt weniger als 0,5 Prozent der gesamten bei der Installation der Anlage anfallenden Kosten jährlich verursachen. Dennoch können sich einige Risiken negativ auf den Ertrag der Anlage auswirken. Zu den möglichen Risiken zählen unter anderem:

- Schäden in Folge von Naturereignissen wie Hagel, Schneelast, Sturm oder Blitzeinschlag
- Diebstahl / Vandalismus
- Überspannung / Kurzschluss
- Ertragsausfall
- Haftung für Schäden, die an Dritten durch den Betrieb der Anlage entstehen
- Minderertrag durch Verschmutzung der Module
- Materialfehler
- Abnutzung / Verschleiß
- Mangelnde Qualität der Systemkomponenten
- Falsche Statikberechnung
- Falsche Auslegung der Anlage
- Mangelnde Sorgfalt bei der Installation

Neben Risiken durch qualitativ minderwertige Komponenten und ein falsches Anlagen-design, die sich durch den Bezug von Qualitätsware und die Beauftragung eines qualifizierten Fachbetriebs minimieren lassen, kann der Abschluss geeigneter Versicherungen weitere Risiken in ihren finanziellen Folgekosten begrenzen. Viele Versicherer bieten den Einschluss der Photovoltaikanlage in die Wohngebäudeversicherung an, wodurch einige grundlegende Risiken versichert sind. Weitere Risiken lassen sich durch den Abschluss einer speziellen Photovoltaik-Anlagen-Versicherung absichern. Inwieweit der Anlagenbetreiber die möglichen Risiken absichert, hängt in erster Linie von seiner persönlichen Risikoneigung, zum anderen aber auch von seinen Möglichkeiten ab, auftretende Schäden selbst finanziell zu tragen. Gerade bei der Fremdfinanzierung einer Anlage muss der aufgenommene Kredit auch dann getilgt werden, wenn die Anlage aufgrund eines Schadenfalls keinen oder weniger Strom erzeugt. Bei der Entscheidung für oder gegen eine Versicherung spielen jedoch mehrere Faktoren eine wichtige Rolle. Zum einen hat der jeweilige Standort einer Anlage Auswirkungen auf die Wahrscheinlichkeit einzelner Risiken wie Diebstahl oder Vandalismus.

# VI • Risiken, Versicherungen & Sicherheitsmaßnahmen



So ist beispielsweise das Diebstahlrisiko bei unbewachten Freiflächenanlagen ohne Umzäunung deutlich höher als bei Aufdachanlagen auf bewohnten Privathäusern. Auch die Montageart – also Aufdach-, Flachdach-, Fassaden-, Freiflächen- oder gebäudeintegrierte Anlage – beeinflusst einzelne Risiken wie die Wahrscheinlichkeit eines Blitzeinschlags, von Schneelast- oder von Feuerschäden. Der dritte maßgebliche Faktor resultiert aus der Größe der Anlage. Je größer eine Anlage, desto stärker wirkt sich auch ein temporärer Ertragsausfall finanziell negativ für den Anlagenbetreiber aus. Hinsichtlich der Prämien, der Vertragsausschlüsse und des geforderten Selbstbehalts unterscheiden sich die einzelnen Anbieter teils deutlich, sodass der Vergleich mehrerer Angebote ratsam ist. Zu den angebotenen Photovoltaikversicherungen zählen:

## Wohngebäudeversicherung

Private Anlagenbetreiber können die Photovoltaikanlage in die Wohngebäudeversicherung aufnehmen und sich so gegen Elementarschäden wie Hagel, Feuer oder Sturm absichern. Dieser Einschluss ist zum Teil ohne zusätzliche Kosten möglich. Es sind also alle Risiken abgesichert, welche die Wohngebäudeversicherung auch für das Wohngebäude abdeckt. Weitere spezielle Risiken, die besonders für Photovoltaikanlagen von Bedeutung sind, werden dadurch jedoch nicht abgesichert.

## Photovoltaik-Anlagenversicherung

Diese Versicherung hat den Charakter einer Allgefahrenversicherung und schließt alle Komponenten der Anlage in den Versicherungsschutz ein. Abgesichert sind alle Risiken, die – wie beispielsweise Krieg – nicht explizit ausgeschlossen sind. Anders als bei der Wohngebäudeversicherung liegt bei dieser Versicherung die Beweislast beim Versicherer. Das heißt, der Versicherungsnehmer muss nicht nachweisen, dass die Versicherung für den Schaden aufzukommen hat.

## Ertragsausfallversicherung

Die Ertragsausfallversicherung gewährleistet, dass dem Anlagenbetreiber auch bei einem Ausfall der Anlage keine Kosten durch die entgangene Einspeisevergütung entstehen, die sonst bei einem Schadensfall drohen. Die Versicherer begrenzen meist den Zeitraum, für den ein Ertragsausfall erstattet wird, auf mehrere Monate. Dies ist jedoch in der Regel ausreichend, um den Schaden zu beheben. Bei vielen Anbietern ist die Ertragsausfallversicherung in der Photovoltaik-Anlagenversicherung bereits enthalten.

## Minderertragsversicherung

Als Zusatz zur Ertragsausfallversicherung bieten viele Photovoltaikversicherer eine sogenannte Minderertragsversicherung gegen zu geringe Globalstrahlung an. Liegt der tatsächliche Ertrag der Anlage niedriger als der im Ertragsgutachten prognostizierte Ertrag, so ersetzt diese Versicherung die entgangene Einspeisevergütung. Für kleinere Anlagen reicht in der Regel die Ertragsprognose des Solarteurs/Installateurs aus. Für größere Anlagen fordern viele Versicherer ein von einem unabhängigen Sachverständigen erstelltes Ertragsgutachten.

### Betreiberhaftpflichtversicherung

Der Betrieb einer Photovoltaikanlage gilt als gewerbliche Tätigkeit. Dementsprechend deckt die private Haftpflichtversicherung mögliche Schäden an Dritten, die durch die Anlage entstehen, nicht automatisch ab. Mögliche Schäden, die eine Betreiberhaftpflichtversicherung abdeckt, können beispielsweise Personenschäden durch herabfallende Teile, Sachschäden an fremden Gebäuden infolge von Brand der Anlage oder finanzielle Schäden sein.

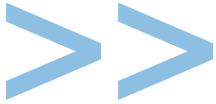




# VIII. Umweltbilanz & Recycling







## VIII. Umweltbilanz & Recycling

### Lebensdauer

Hersteller bieten Photovoltaikanlagen an, die meist auf eine Lebensdauer von 20 Jahren ausgelegt sind. Dies entspricht dem im EEG vorgesehenen Zeitrahmen für die geförderte Abnahme von Solarstrom. In der Regel können die Anlagen jedoch auch über diesen Zeitraum hinaus betrieben werden, wenngleich die Leistungsfähigkeit der Module über die Jahre abnimmt. Bei qualitativ hochwertigen Komponenten kann die Lebensdauer durchaus 25 bis 35 Jahre erreichen. Anlagenbetreiber, die ihre Photovoltaikanlage auch nach Ablauf der EEG-Vergütung weiter zur Stromerzeugung nutzen wollen, können den Strom entweder weiterhin ins Netz einspeisen und zu Marktpreisen verkaufen oder aber selbst verbrauchen. Da nach Ablauf der 20-jährigen Abnahmegarantie durch das EEG der am freien Markt erzielbare Preis für den erzeugten Strom deutlich unter den Bezugskosten für Haushaltsstrom liegen dürfte, ist ein möglichst hoher Eigenverbrauch unter finanziellen Gesichtspunkten vorzuziehen.

### Energetische Amortisation

Eine Solaranlage erzeugt während ihrer Betriebs- und Lebenszeit klimaneutralen Strom. Während der Produktion der Komponenten und der Montage einer Anlage wird jedoch zunächst Energie benötigt. Dieser Energiebedarf unterscheidet sich bei den einzelnen Technologien deutlich, sodass auch die Energierückzahldauer unterschiedlich hoch ausfällt: Je nach Technologie und Standort dauert es zwischen einem drei viertel und rund drei Jahren, bis die Anlage so viel Energie erzeugt hat, wie zur Herstellung der Module verwendet wurde. Grundsätzlich fällt die Amortisationszeit bei kristallinen Modulen länger aus als bei Dünnschichtmodulen. Die Ursache dafür liegt in erster Linie in dem bei kristallinen Modulen verwendeten Solarsilizium, das in sehr energieintensiven Verfahren aus Silizium hergestellt und anschließenden zu Ingots, Wafern, Zellen und schließlich zum fertigen Modul verarbeitet wird.

Betrachtet man die energetische Amortisationszeit der gesamten Solaranlage mit all ihren Komponenten, so beträgt diese je nach Technologie und Standort in Deutschland zwischen rund zwei und fünf Jahren. Dies bedeutet, dass eine Photovoltaikanlage bei einer angenommenen Lebensdauer von 25 bis 30 Jahren rund fünf- bis fünfzehnmal mehr Energie bereitstellt, als für die Herstellung benötigt wurde. Einige Hersteller setzen bereits bei der Herstellung auf saubere Energiequellen, um die Umweltbelastung bereits während des Produktionsprozesses zu minimieren.

# VIII • Umweltbilanz & Recycling

## Umweltbilanz & Recycling

### CO<sub>2</sub> Bilanz

Der Anteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen, der bei der Produktion einer Kilowattstunde Strom anfällt, wird als Emissionsfaktor bezeichnet und beschreibt, wie klimaverträglich die Stromerzeugung ist. Um die CO<sub>2</sub> Bilanz einer Photovoltaikanlage zu betrachten, muss einerseits der CO<sub>2</sub> Ausstoß berücksichtigt werden, der bei der Produktion und Errichtung der Anlage anfällt. Zum anderen muss für den Vergleich zu alternativen Kraftwerken wie beispielsweise Kohle-, Wasser- oder Windkraftwerken, der CO<sub>2</sub>-Ausstoß dieser Kraftwerke sowohl in Hinblick auf die Errichtung wie auch den Betrieb berücksichtigt werden. Für den deutschen Strommix im Jahr 2015 schätzt das Umweltbundesamt, dass für die Erzeugung einer Kilowattstunde Strom 535 g CO<sub>2</sub> durch die Verbrennung fossiler Energieträger ausgestoßen wurden [Umweltbundesamt: 2016, S. 6]. Dementsprechend spart eine Photovoltaikanlage mit einer Kapazität von 10 kWp im Verlauf von 20 Jahren rund 100 t CO<sub>2</sub> ein. Während der Betrieb der Photovoltaikanlage keine CO<sub>2</sub>-Emissionen freisetzt, müssen von den eingesparten 100 t CO<sub>2</sub> noch die Emissionen abgezogen werden, die während der Produktion der Komponenten freigesetzt wurden. Die genaue Höhe unterscheidet sich bei den einzelnen Herstellungsverfahren. Unter der Annahme von Emission in Höhe von 2 t/kWp während des Produktionsprozesses der Komponenten fallen im Beispiel Gesamtemissionen in Höhe von 20 t an. Über 20 Jahre liegt die bereinigte CO<sub>2</sub>-Einsparung somit bei rund 80 t.

### Recycling

Wenn nach 20 oder mehr Jahren die Demontage einer Solaranlage ansteht oder Hagelschlag und Bruch die Module beschädigen, stellt sich die Frage nach der Entsorgung und den Recyclingmöglichkeiten für die einzelnen Komponenten, in denen wertvolle Rohstoffe verbaut sind. Bei den weitverbreiteten kristallinen Modulen stellen Glas, Aluminium, Kunststoffe und Silizium den Großteil der verwendeten Materialien. Bei den Montagegestellen sind als verwendete Rohstoffe vor allem Aluminium, Edelstahl und Kunststoffe zu nennen. Durch verschiedene Verfahren der Zerkleinerung und Materialtrennung lassen sich Schadstoffe abtrennen und ein Großteil der verwendeten Rohstoffe kann in die Kreislaufwirtschaft zurückgeführt werden. Insgesamt lassen sich so rund 85 Prozent der Masse eines kristallinen Moduls wiederverwenden [IRENA/IEA-PVPS: 2016, S. 14].

In der EU tätige Unternehmen sind gesetzlich dazu verpflichtet, Elektro-Altgeräte zurückzunehmen, ohne dafür dem Kunden Kosten in Rechnung zu stellen. Unter diese Regelung fallen auch die Module einer Photovoltaikanlage. Einige Hersteller nehmen die Module selbst zurück, andere lagern ihre Verpflichtungen auf externe Dienstleister wie den Branchenzusammenschluss PV Cycle aus, der die Einhaltung der Entsorgungs- und Recyclingvorgaben gewährleistet. Außerdem können Kunden oder der mit dem Rückbau beauftragte Installateurbetrieb die Module auch direkt bei den Sammelstellen der Wertstoffhöfe kostenfrei abgeben.

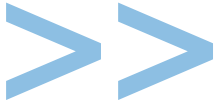
In Deutschland regelt das Batteriegesetz die Rücknahme von Batteriespeichern, deren Nutzungszeit abgelaufen ist und schreibt eine vollständige stoffliche Verwertung vor. Weitere Vorgaben regeln die Verwertungseffizienz. Diese liegt beispielsweise für Bleibatterien bei 65 Prozent des Batteriegewichts, während gleichzeitig der maximal mögliche Anteil an Blei recycelt werden muss. Dafür wird zunächst eine mechanische Trennung von Kunststoffen, Schwefelsäure und Blei durchgeführt. Anschließend erfolgt eine metallurgische Verwertung der Metalle. Auch für den Kunststoff und die Schwefelsäure besteht die Möglichkeit einer sekundären Nutzung. Bei den Lithium-Ionen-Akkumulatoren erfolgt derzeit eine Verwertung der geschlossenen Zellen im Rahmen von pyrometallurgischen Prozessen, also durch das Einschmelzen und Raffinieren der Batteriezellen. Dadurch lassen sich Kobalt und Nickel zurückgewinnen, nicht jedoch Lithium und Mangan. Im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte wie beispielsweise NEW-BAT werden derzeit neue Trennverfahren entwickelt, um auch diese Rohstoffe zurückzugewinnen und wieder für die Fertigung neuer Speicher zu nutzen.

Die Verantwortung für das Recycling der Batterien liegt bei den Herstellern. Sie müssen diese über den Handel einsammeln und nach Möglichkeit verwerten. Um ihrer Verpflichtung nachzukommen, haben die Batteriehersteller verschiedene gemeinsame Rücknahmesysteme gebildet, die für das Einsammeln, die Weiterverwertung und das Recycling der Batterien zuständig sind. Auch die öffentlichen Entsorgungsträger nehmen Akkumulatoren kostenfrei an den entsprechenden Sammelstellen an. In Altbatterien lagert auf der einen Seite ein großes Rohstoffpotenzial, die Verwendung von Schwermetallen und anderen chemischen Bestandteilen kann bei einigen Batterietypen allerdings bei unsachgemäßer Entsorgung ein erhebliches Umweltrisiko darstellen.

Eine weitere Überlegung betrifft die Kaskadennutzung von Batterien. Während beispielsweise die Anforderungen an Batteriespeicher für elektromobile Anwendungen sehr hoch sind und die Lebensdauer ausgeschöpft ist, wenn die Kapazität auf 70 bis 80 Prozent einer neuen Batterie sinkt, fallen die Ansprüche an stationäre Speichersysteme niedriger aus. Dementsprechend können solche Traktionsbatterien nach der Primärnutzung ein „zweites Leben“ als stationäre Speicher führen. Der Vorteil solcher Second-Use-Konzepte ist, dass die Kosten für die Speicher in stationären Anwendungen deutlich niedriger sind, als dies bei neuen Batterien der Fall wäre und damit ein günstiger Einstieg in die Selbstversorgung möglich wird. Gleichzeitig kann die Zweitvermarktung auch eine positive Wirkung auf die Kosten von Elektrofahrzeugen entfalten. Erste Geschäftsmodelle bieten den Kunden die Miete von gebrauchten Speichern gegen eine monatliche Pauschale an. Dabei garantiert der Anbieter eine Mindestspeicherkapazität und tauscht die Akkus kostenlos aus, wenn diese unterschritten wird.

# IX. Solarmarkt in Deutschland





## IX. Solarmarkt in Deutschland: Heute und Morgen

Der deutsche Photovoltaikmarkt durchläuft derzeit einen Transformationsprozess. Zur Jahrtausendwende hatte der Markt Fahrt aufgenommen und erlebte zwischen 2010 und 2012 eine Boomphase mit jährlichen Zubauraten von über 7.000 MW. Die Betriebsführung der Anlagen war auf Volleinspeisung ausgerichtet und hohe Vergütungssätze versprachen attraktive Renditen bis in den zweistelligen Bereich. Seit 2013 ist der Markt stark eingebrochen, so lag der Zubau im vergangenen Jahr bei nur noch 1.500 MW. Zu den Auslösern zählen der Zielkorridor des EEG, der den Zubau begrenzen soll, die Degression der Vergütungssätze, eine strengere Regulierung von großen Freiflächenanlagen, zu hohe Systempreise sowie erste Sättigungserscheinungen in einzelnen Teilmärkten. Mittlerweile zeichnet sich jedoch eine Wiederbelebung des Marktes ab. Die Gründe dafür: Verbesserte Systemwirkungsgrade, sinkende Systempreise für Anlagen und Batteriespeicher und gleichzeitig weiter steigende Strompreise haben dafür gesorgt, dass sich die Einspeisung auch zu den vergleichsweise niedrigen Vergütungssätzen wieder lohnt und der Eigenverbrauch sich als neuer Markttreiber immer stärker herauskristallisiert. Mit Stromgestehungskosten von derzeit um die 11 Ct/kWh bei den Aufdachanlagen liegt der Vorteil gegenüber dem Stromeinkauf beim Energieversorger mittlerweile klar auf der Hand. Auch Anlagenplanungen, die auf den Einsatz von Batteriespeichern zur Steigerung des Eigenverbrauchsanteils setzen, folgen zunehmend einem auch wirtschaftlich tragfähigen Konzept. Galten Batteriespeicher noch vor wenigen Jahren als zu teuer und wiesen Kosten für jede gespeicherte Kilowattstunde auf, die weit über den eigenen Strombezugskosten lagen, befindet sich der Markt für Photovoltaikstromspeicher derzeit im Wandel. Lithiumbatterien mit langer Lebensdauer und einer hohen Zyklenzahlen lösen Bleibatterien ab und auch die Preisentwicklung bei den Speicherlösungen zeigt nach unten. Beides führt dazu, dass sowohl bei den Bestandsanlagen als auch bei den Neuanlagen das Interesse an den Batteriespeichern wächst. So waren Ende 2016 laut Erhebungen des Bundesverbandes Solarwirtschaft bereit 52.000 Solarstromspeicher in Deutschland in Betrieb.

Gleichzeitig werden die Anlagen zunehmend individueller und die Planung muss bedarfsgerecht erfolgen, um Lastprofil und Erzeugungskurve in Deckung zu bringen. Nicht mehr die größte Anlage ist automatisch die beste, sondern diejenige, die der Bedarfssituation des Anlagenbetreibers am besten entspricht. Die Fachbetriebe stehen damit vor der Herausforderung, ihren Kunden als Energieberater komplexe Lösungen aufzuzeigen, in denen die Photovoltaikanlage ein wichtiger Baustein ihres individuellen Energieversorgungskonzepts ist.

# X. Verzeichnisse







## 1. Literaturverzeichnis

BattG (Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Batterien und Akkumulatoren, in der ab 24. Februar 2012 geltenden Fassung), in [www.gesetze-im-internet.de](http://www.gesetze-im-internet.de), 03/2013.

Bayerisches Landesamt für Steuern, „Hilfe zu Photovoltaikanlagen“, Nürnberg, 2015.

BSW Solar (Bundesverband Solarwirtschaft), „Begleitdokument zum PV-Speicherpass. Version 1.0.2“, in: [www.photovoltaike-anlagenpass.de](http://www.photovoltaike-anlagenpass.de), Berlin, 02/2014.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), „Photovoltaik effektiv nutzen. Fragen und Antworten“, in: [www.erneuerbare-energien.de](http://www.erneuerbare-energien.de), Berlin, 12/2010

Bundesnetzagentur, „Photovoltaikanlagen - Datenmeldungen und EEG-Vergütungssätze“, in: [www.bundesnetzagentur.de](http://www.bundesnetzagentur.de), Bonn, 04/2017.

C.A.R.M.E.N. (Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Energie-Netzwerk), „Marktübersicht für Batteriespeichersysteme“, in: [www.carmen-ev.de](http://www.carmen-ev.de), Straubing, 04/2017.

dena (Deutsche Energie-Agentur), „dena-Studie Systemdienstleistungen 2030. Sicherheit und Zuverlässigkeit einer Stromversorgung mit hohem Anteil erneuerbarer Energien. Endbericht“, Berlin, 2014.

DESTATIS (Statistisches Bundesamt), „Preise. Daten zur Energiepreisentwicklung. Lange Reihen von Januar 2000 bis Februar 2017“, in: [www.destatis.de](http://www.destatis.de), 04/2017, Wiesbaden.

Deutsche Bank (Auer, J. / Keil, J.), „Moderne Stromspeicher. Unverzichtbare Bausteine der Energiewende“, Frankfurt/Main, 2012.

Deutsche Gesellschaft für Solarenergie (DGS), „Planning and installing photovoltaic systems: a guide for installers, architects and engineers“, Berlin, 2008.

EEG 2012 (Erneuerbare-Energien-Gesetz. Gesetz zur Neuregelung des Rechtsrahmens für die Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in der ab 20. Dezember 2012 geltenden Fassung), in: [www.gesetze-im-internet.de](http://www.gesetze-im-internet.de), 03/2013.

EEG 2014 (Erneuerbare-Energien-Gesetz) vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1066), das durch Artikel 4 des Gesetzes vom 22. Juli 2014 (BGBl. I S. 1218) geändert worden ist, in: [www.bmwi.de](http://www.bmwi.de), 02/2015.

EEG 2017 (Erneuerbare-Energien-Gesetz) vom 13. Oktober 2016 (BGBl. I S. 2258). Bundesanzeiger Verlag GmbH, Köln, 2016.

efzn (Energie-Forschungszentrum Niedersachsen), „Eignung von Speichertechnologien zum Erhalt der Systemsicherheit. Abschlussbericht“, Goslar, 2013.

EnWG (Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung in der ab 21. Juli 2014 geltenden Fassung), in: [www.gesetze-im-internet.de](http://www.gesetze-im-internet.de), 03/2014.

EuPD Research, „Electricity Storage. Global Leading Technology Provider“, Bonn, 2012.

EuPD Research, „Photovoltaik-Preismonitor Deutschland. Ergebnisse 1. Quartal“, Bonn 2017.

Fraunhofer ISE / Fraunhofer AST / VKPartner (Hannig, F. / Smolinka, T. / Bretschneider, P. / Nicolai, S. / Krüger, S. / Meißner, F. / Voigt, M.), „BMW-Auftragsstudie 08/28. Stand und Entwicklungspotential der Speichertechniken für Elektroenergie – Ableitung von Anforderungen an und Auswirkungen auf die Investitionsgüterindustrie“, Freiburg, 2009.

Fraunhofer ISE (Fraunhofer Institut für solare Energiesysteme), „Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland“, Fassung vom 26.3.2017, in: [www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de), Freiburg, 2017.

# X. Verzeichnisse

## Verzeichnisse

---

Goldmann, D., „Recycling von Batterien“, Vortrag im Rahmen der dritten Niedersächsischen Energietage. Goslar, 11/2009.

GDV (Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.), „Risikoorientierter Blitz- und Überspannungsschutz. Unverbindliche Richtlinien zur Schadenverhütung“, Berlin, 2010.

Hausmann, Stefan, „Energy Storage in the Balancing Energy Market“, in: ees International, 01/2014, Pforzheim, 2014.

IRENA/IEA „End-of-Life- Management. Solar Photovoltaic Panels“, 2016.

ISEA (Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe der RWTH Aachen), „Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm Solarstromspeicher. Jahresbericht 2016“, Aachen, 2016.

JRC (Joined Research Centre), „Strategic Energy Technology Plan. Scientific Assessment in support of the Materials Roadmap enabling Low Carbon Energy Technologies - Electricity storage“, Luxembourg, 2011.

Leipziger Institut für Energie GmbH, „Wirtschaftlichkeit Batteriespeicher. Berechnung der Speicherkosten und Darstellung der Wirtschaftlichkeit ausgewählter Batterie-Speichersysteme“, Leipzig, 2014.

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, „Photovoltaik und Batteriespeicher. Technologie, Integration, Wirtschaftlichkeit“, Stuttgart, 2017.

Öko-Institut, „PROSA Photovoltaik Wechselrichter. Entwicklung der Vergabekriterien für ein klimaschutzbezogenes Umweltzeichen“, Freiburg, 2012

Sauer, Dirk Uwe, „Marktanreizprogramm für dezentrale Speicher insbesondere für PV-Strom. Kurzgutachten“, ISEA RWTH Aachen, Aachen, 2013

Umweltbundesamt, „Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2015“, Dessau, 2016.

Vaßen, W., „Qualitätsmerkmale photovoltaischer Module“, Vortrag 6e Symposium Photovoltaïque National SIG Genève, 24/25 novembre 2005, Genf, 2005.

Wolff, P./Volzen, T. M., „Rechte bei Photovoltaikanlagen“ in: Energy 2.0 4/2010, München,

## 2. Bildverzeichnis

|                                                                                                                                                                                      |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Auswertung, Kalkulation und Statistiken ©Stockfotos-MG – Fotolia.com, Links<br>Solardächer 6 ©danielschoenen – Fotolia.com, Mitte<br>Euro Turm ©grafikplusfoto – Fotolia.com, Rechts | Cover |
| office building ©Luminis – Fotolia.com                                                                                                                                               | S. 6  |
| clean energy ©panthesja – Fotolia.com                                                                                                                                                | S. 8  |
| Stretta di mano davanti pannelli fotovoltaici ©Lucaz80 – Fotolia.com                                                                                                                 | S. 34 |
| Euro Turm ©grafikplusfoto – Fotolia.com                                                                                                                                              | S. 40 |
| Solardächer 6 ©danielschoenen – Fotolia.com                                                                                                                                          | S. 54 |
| solaranlage ©frank peters – Fotolia.com                                                                                                                                              | S. 62 |
| Würfel mit Paragraph Symbolen auf einer Tastatur ©fotogestoeber – Fotolia.com                                                                                                        | S. 64 |
| arizona monsoon 2006: approaching storm ©Steven Love – Fotolia.com                                                                                                                   | S. 70 |
| Blick auf den Königssee ©Dirk Petersen – Fotolia.com                                                                                                                                 | S. 74 |
| Solarzelle Arbeiter ©Simon Kraus – Fotolia.com                                                                                                                                       | S. 78 |

# XI. Anbieter entdecken





88

**SENEC**

90

**KOSTAL**

92



94



96



98

# XI. Anbieter entdecken







100



102

---

Mercedes-Benz Energy

104

---

# PV-Stromspeicher

## S10 – das Hauskraftwerk



## Hauskraftwerke von E3/DC

### als Stromspeicher mit echter Notstromversorgung

- **echte Unabhängigkeit** von Ihrem Energieversorger bei Stromausfall
- **echte Ersatzstromversorgung** – oder **dauerhafte Inselversorgung** für Ihr gesamtes Eigenheim auf allen 3 Phasen
- **komplette Hausversorgung** mit eigenem, echtem Netz
- **DC-seitig nachladbar:** durch die PV-Anlage kann das Haus dauerhaft über das Hauskraftwerk mit Strom versorgt werden
- **einzigartige TriLINK® Technologie** integriert: weder zusätzliche Schaltkästen oder Schalteinheiten, noch zusätzlicher Strombedarf werden benötigt
- **unterbrechungsfrei**, automatische Umschaltung auf Netzbetrieb

**Insgesamt bietet E3/DC Ihnen mit der TriLINK® Technologie 100% Unabhängigkeit – immer dann einzusetzen, wenn Sie sie brauchen.**

E3/DC GmbH – Karlstraße 5 – D-49074 Osnabrück – +49 (541) 760268-0 – [info@e3dc.com](mailto:info@e3dc.com) – [www.e3dc.com](http://www.e3dc.com)

## E3/DC

Grenzenlos Energie speichern. Für jede Anwendung den passenden Speicher.

---

Das Osnabrücker Technologieunternehmen E3/DC GmbH entwickelt dezentrale, qualitativ hochwertige Hauskraftwerke zur Stromspeicherung und -verteilung und Wallboxen zum Laden von Elektrofahrzeugen.

### S10 Hauskraftwerk – All In One.

Das S10 Hauskraftwerk ist auf ein autarkes Energiemanagement in privaten Wohnhäusern und Kleinbetrieben ausgelegt. Das Gerät fungiert gleichzeitig als Zwischenspeicher für selbst erzeugten Strom und als Schaltzentrale zur Verteilung der Energieströme.

E3/DC schafft mit seiner All In One-Generation eine am Markt extrem hohe Flexibilität und Qualität für Ein- und Mehrfamilienhäuser sowie Gewerbebetriebe und Unternehmen. All In One vereint alle Betriebsarten (AC, DC oder Hybrid) und Funktionen (Notstrom, Inselnetz, Energie Farming) in nur zwei Gerätetypen. Auch Strom von externen Quellen, beispielsweise aus Kraft-Wäre-Kopplung, kann gespeichert und verteilt werden. Dank seiner Webfunktion ist das Gerät online fernwartbar und stets mit neuen Funktionen aktualisierbar.

### Quattroporte – die modulare Energieversorgung.

Mit der neuen Quattroporte-Serie bringt E3/DC ein modulares AC-Speichersystem auf den Markt, dass sich sowohl für private als auch für gewerbliche Anwendungen eignet. Das System ist sowohl für Neuanlagen als auch für die Nachrüstung in Bestandsanlagen geeignet. Eine einfache Notstromfunktion ist ebenfalls integriert, genauso wie ein Energiemanagement, das verschiedene Kommunikationsstandards für die Hausautomation, Gebäudetechnik sowie E-Mobilität unterstützt.

### Echte Notstromversorgung mit den Hauskraftwerken von E3/DC.

E3/DC hat die einzigartige TriLINK®-Technologie entwickelt, die es dem Kunden auch bei einem Stromausfall ermöglicht sein komplettes Haus mit eigenem echtem Netz dauerhaft zu versorgen. E3/DC liefert diese Notstromfunktion im Standard des Gerätes aus.

### Mit E3/DC auf der sicheren Seite.

E3/DC bietet seinen Kunden eine 10-jährige volle Systemgarantie auf alle Teile inkl. Solarwechselrichter und Batterien an. Damit setzt E3/DC ein deutliches Zeichen für die Zukunft ihrer Marke und schafft die Basis für außerordentlich hohe Kundenzufriedenheit.

### E3/DC hat die mit Abstand zufriedensten Kunden.

Laut einer bundesweiten Befragung (EuPD InstallerMonitor 2016/2017) gehört E3/DC zu den beliebtesten Marken unter den Energiespeicherherstellern und erhielt Bestnoten in den Kategorien „Zufriedenheit“ und „Weiterempfehlungsbereitschaft“. E3/DC zählt zu den TOP5 Marken im Bereich Stromspeicher/Photovoltaik in Deutschland.

Mehr Infos  
finden Sie  
hier!



# SENEC

## Das Gute vom Sommer auch im Winter nutzen!

Bis zu 100 % des selbst erzeugten PV-Stroms nutzen.  
24 Stunden am Tag und 365 Tage im Jahr. Das geht.  
Mit Stromspeicher und Cloud-Lösung von SENEK.

[www.senec-ies.com](http://www.senec-ies.com)

## SENEC

### AUF DEM WEG ZU 100% UNABHÄNGIGKEIT Mit Stromspeicher und Cloud-Lösung von SENECloud

Stromspeicher ermöglichen Besitzern von Eigenheimen, ihren Eigenverbrauch an Strom kostengünstig zu erhöhen. Mit zusätzlichen Angeboten wie der SENECloud des Herstellers SENECloud sind Stromspeicher nicht nur wirtschaftlich, sondern ermöglichen die sinnvolle und flexible Nutzung von Strom.

Stromspeicher für Eigenheime sind beliebt wie nie. Über 50.000 Speichersysteme wurden laut dem Bundesverband Solarwirtschaft in deutschen Haushalten installiert. Die Einspeisevergütung ist auf ein Minimum geschrumpft und die Kosten für den Bezug von Netzstrom steigen jährlich. Viele Haushalte sind angesichts dieser Entwicklung bemüht, ihren Eigenverbrauch zu optimieren. Stromspeicher spielen hierbei eine Schlüsselrolle.

#### Stromspeicher eine Idee weitergedacht – der SENECloud Home Li

Einer der bekanntesten und weltweit führenden Hersteller von Stromspeichern ist SENECloud. Die Speicherlösungen des Leipziger Unternehmens sind bereits tausendfach im Einsatz. Diese sind speziell auf die Bedürfnisse im Privathaushalt zugeschnitten und benötigen aufgrund ihrer kompakten Bauweise nur wenig Platz. Verfügbar ist der SENECloud Home mit einer Speicherkapazität von 2,5 kWh bis 10 kWh.

Um Speicherbetreibern auch langfristig die Speicherung von selbst produziertem Strom zu ermöglichen, bietet SENECloud seinen Kunden ein Kostenschutz-Zertifikat an. Damit wird der Akku am Ende seiner Lebensdauer zum geringen Festpreis durch einen neuen Akku ersetzt. So verdoppeln Sie in etwa die Lebensdauer des Speichersystems. Ihren Strombezug können Speicherbetreiber jederzeit über das kostenlose Monitoring-Portal bequem am PC sowie unterwegs per Smartphone oder Tablet nachvollziehen.

#### Den selbst produzierten Solarstrom das ganze Jahr nutzen – mit SENECloud

Den im Sommer produzierten Strom einer PV-Anlage auch im Winter oder bei schlechtem Wetter nutzen – diesen Wunsch hegen Viele, die sich für eine PV-Anlage interessieren. Mit der SENECloud ist genau das möglich. Eine Photovoltaik-Anlage produziert im Sommer mehr Strom, als Hausbesitzer selbst verbrauchen oder speichern können. Bisher mussten sie im Winter, bei schlechtem Wetter oder auch nachts dennoch teuren Strom aus dem öffentlichen Netz kaufen. Ab sofort speichern SENECloud-Kunden überschüssigen Strom automatisch in der SENECloud und rufen ihn dann wieder ab, wann immer sie ihn benötigen.

„Hausbesitzer erreichen mit einer PV-Anlage und Stromspeicher in der Regel einen Autarkiegrad von etwa 70 bis 80 Prozent. Mit SENECloud-Stromspeichern und dem zusätzlichen Nutzen durch die SENECloud sind unsere Kunden zu 100 Prozent unabhängig von konventionellen Stromversorgern“, erklärt Geschäftsführer Norbert Schlesiger die SENECloud.

Weitere Informationen unter: [www.senec-ies.com](http://www.senec-ies.com)

Mehr Infos  
finden Sie  
hier!



## Im Wandel der Zeit – immer intelligent verbunden

KOSTAL verbindet konsequent den Anspruch, das Leben zu vereinfachen und dennoch für alle Fälle intelligente Lösungen zu bieten – das bereits seit über 10 Jahren! Die Wechselrichter von KOSTAL vereinfachen die Planung und Installation von PV-Anlagen und bieten darüber hinaus immer die passende Wahl für alle Kundenbedürfnisse.



### Das PIKO All-in-one Konzept

Bereits die erste Generation der PIKO-Familie konnte überzeugen: Als erster 3-phasiger Stringwechselrichter bietet der PIKO mehr Wahlmöglichkeiten bei der Planung und Auslegung von PV-Anlagen. Zudem müssen keine weiteren Komponenten in der Anlagenplanung berücksichtigt werden, denn im PIKO ist schon alles drin. Das All-in-one Konzept – einfach einfach.

Klar, dass KOSTAL diese Idee auch auf die nachfolgende PIKO-Generation, mit Leistungsklassen bis 20 kW, übertragen hat. Eine einfache Wahl.

### Perfektes Zusammenspiel im System

Schon seit 2012 ist das Speichersystem von KOSTAL auf dem Markt. So hat KOSTAL die Möglichkeit eröffnet, unabhängig von der Tageszeit den eigenen Solarstrom zu nutzen. Mit einem perfekt abgestimmten System konnte sich jeder in besten Händen fühlen – einfach, sicher, zuverlässig.



### Für jede Anlage den passenden PIKO

Mit der Einführung der 1-phasigen PIKO MP-Serie im März 2016 wurde die Produktfamilie perfekt abgerundet. Ab nun gilt: für jede Anlage der passende PIKO – ganz einfach aus einer Hand.

### Vielfältigkeit einfach gemacht – der neue PLENTICORE plus

Die Historie hat gezeigt: KOSTAL versteht es perfekt, das Leben zu vereinfachen und kompakte Lösungen für komplexe Systeme zu bieten. Logische Konsequenz: der PLENTICORE plus.

Lassen Sie sich einfach überraschen!

Intelligent  
verbinden.



Mehr erfahren auf [www.kostal-plenticore.com](http://www.kostal-plenticore.com)



## KOSTAL SOLAR ELECTRIC GMBH

KOSTAL Speicherlösungen: einfach intelligent und vielfältig

---

Die Speicherlösungen von KOSTAL sind intelligent, kommunikativ und vielfältig. Sie verfügen über zahlreiche Features zum nutzen- und kostenoptimierten Einsatz des PV-Stroms. Sie regeln, ob der Strom durch intelligentes Energiemanagement zeitunabhängig im Haus verbraucht, gespeichert oder ins öffentliche Netz eingespeist wird.

Das bewährte Speichersystem PIKO BA System Li ist ein Komplettpaket aus Speicherwechselrichter (PIKO BA) mit dreiphasiger symmetrischer Netzeinspeisung und externem Batteriespeicher (PIKO Battery) plus Zubehör (wie z.B. die PIKO BA Backup Unit zum Notstrombetrieb). Als Baukastensystem bietet es Lösungen für nahezu jede Kundenanforderung. Dabei kann der Nutzer zwischen drei Wechselrichter-Leistungsklassen (6, 8, 10 kW), Zubehör und der Anzahl der Batteriemodule (3-8) wählen.

Das System verfügt über eine Lithium-Eisen-Phosphat-Batterie der Marke „fortelion“, die die hohen Sicherheitsansprüche für Lithium-Heimspeicher erfüllt und 2015 dafür mit dem ees Award ausgezeichnet wurde. Untermauert wird dies mit 15 Jahren Garantie auf die Batterie.

### Intelligente Energieorganisation und vielfältige Kommunikation

Auf die unterschiedlichen Anforderungen im Haus kann das intelligente Energiemanagement des PIKO BA ohne Komfortverlust reagieren. Die Versorgung mit Strom wird zu jeder Zeit unter der Prämisse des maximalen Eigenverbrauchs garantiert. Mit dem PIKO Solar Portal lässt sich die Anlage intuitiv und anwenderfreundlich online oder per PIKO Solar App mobil überwachen. Durch die Vernetzungstechnologie EEBus können Haushaltsgeräte gemäß des Smart Home Prinzips unabhängig vom Hersteller miteinander kommunizieren und automatisch gesteuert werden.

Die effiziente Energienutzung erlaubt dem Anwender in den nächsten 20 Jahren seinen Strompreis selbst mitzubestimmen. Zwei einzeln getrackte Eingänge sorgen für maximale Flexibilität und für eine optimale Energieausbeute, egal ob Süd- oder Ost-West-Ausrichtung.

### Service & Dienstleistungen

KOSTAL begleitet Sie mit umfassendem Informationstransfer zur einfachen Installation, Bedienung und Nutzung der Produkte, z.B. durch einen Servicebereich mit FAQs oder kostenlosen Produktschulungen.

### Der neue PLENTICORE plus

Zukünftig soll der Speicherwechselrichter PLENTICORE plus (Finalist für den ees Award 2017) für mehr Auswahlmöglichkeiten beim Anschluss der Batterie sorgen. In einem ersten Schritt wird dieser mit dem BYD-Hochvolt-Speicher kompatibel sein. Weitere Batterien sind in Planung.

Mehr Infos  
finden Sie  
hier!





## Deine Energie Energiespeicher von VARTA Storage

- ▶ Komplettsystem inklusive Wechselrichter
- ▶ 2,8 kWh bis 13,8 kWh
- ▶ Modular erweiterbar

[www.varta-storage.com/energiespeicher](http://www.varta-storage.com/energiespeicher)

Made in Nördlingen

# VARTA STORAGE GMBH

Die Energiewende fürs Eigenheim

---

## Energiespeicher-Lösungen nach Maß

Unabhängigkeit bei der Energieversorgung wird angesichts stark steigender Strompreise immer wichtiger. VARTA Storage zählt zu den führenden Herstellern von Energiespeichersystemen fürs Eigenheim sowie für kommerzielle Anwendungen in Gewerbe, Landwirtschaft und Handel. Als operatives Tochterunternehmen mit Sitz im bayerischen Nördlingen gehört VARTA Storage zur VARTA AG. Mit dem Schwesterunternehmen VARTA Microbattery GmbH reicht das Produktportfolio von der kleinsten Batteriezelle für Hörgeräte, über kundenspezifische Lithium-Ionen Batteriepacks bis hin zu kommerziellen Energiespeichern von 3 kWh bis zu 750 kWh. Dabei stehen Zuverlässigkeit, Qualität made in Germany sowie verlässlicher Service im Mittelpunkt.

## Erneuerbare Energie rund um die Uhr

Energiespeicher kombiniert mit einer Photovoltaik-Anlage machen Hausbesitzer, Gewerbetreibende und Landwirte unabhängiger. Schon heute lohnt sich der maximale Eigenverbrauch des selbst produzierten Stroms. Der Bedarf an flexiblen Speichermöglichkeiten wird sich in den kommenden Jahren erhöhen, wenn der Anteil des Stroms aus erneuerbaren Energien weiter zunimmt. Energiespeichersysteme wie der VARTA Element können wirksam helfen, die Energieversorgung flexibel zu gestalten. Mit ihnen lassen sich Stromerzeugung und -verbrauch entkoppeln und sie halten bei Schwankungen die Netzfrequenz stabil.

Bei der Entwicklung und Fertigung der Energiespeichersysteme in Nördlingen werden ausschließlich modernste Lithium-Ionen-Zellen verwendet. VARTA Storage arbeitet stets an neuen Produkten und der Optimierung bestehender Lösungen. Schwerpunkte dabei sind die Material- und Strukturforschung, die Umwandlung und Speicherung von Energie sowie die Bereiche Zellen-Performance, Zellen-Sicherheit und Lebenszyklen von Lithium-Ionen Batterien.

## Das zeichnet VARTA Storage aus:

- Plug and Play – schnelle Installation, All-in-One System: Alle Komponenten sind bereits im System verbaut – Installation bedeutet Anschluss, nicht Zusammenbau.
- Sicherheit, Zuverlässigkeit, Qualität, Langlebigkeit, Ausgereiftes Energie-Management-System: VARTA steht als Marke für sichere, zuverlässige und qualitativ hochwertige Energiespeichersysteme.
- Service & Support – zertifizierte Installateure: Bei VARTA Storage stehen Service und Support im Mittelpunkt. Ein Team von hochqualifizierten Technikern steht den Kunden jederzeit zur Seite.
- Bereichsübergreifende Kompetenz – vollständige Produktpalette: Die beiden Tochterunternehmen der VARTA AG verfügen über ein weitreichendes Produktportfolio. Dieses Portfolio reicht von der kleinsten Zelle für Hörgeräte, über kundenspezifische Lithium-Ionen Batteriepacks bis hin zu Energiespeichersystemen von 1,6 kW bis 4 kW und kommerzielle Großspeicher bis zu 500 kW.

Mehr Infos  
finden Sie  
hier!

“Papa sagt,  
Staubsaugen  
kostet jetzt  
nichts mehr.”  
Felix, 8 Jahre

Dahinter steckt ein cleveres  
Speichersystem. RCT Power.



## INTELLIGENTE SPEICHERLÖSUNGEN AUS EINER HAND

**RCT**  
power

Mit einer Speicherlösung von RCT Power nutzen Sie die Sonnenenergie und machen Ihr Eigenheim energieunabhängiger. Das intelligente Speichersystem optimiert den Eigenverbrauch und sorgt dafür, dass so viel Solarstrom wie möglich in Ihrem Haushalt bleibt. Je höher Ihre Autarkie ist, desto niedriger fällt Ihre Stromrechnung aus.

Deutsche Hochvolttechnologie und nachhaltige Verarbeitung schaffen ein vollkommen neues Gefühl von solarer Unabhängigkeit. Modulare Batterie und Wechselrichter vom gleichen Hersteller bilden ein unschlagbares Team. Perfekt aufeinander abgestimmt, macht ihnen in Bezug auf Effizienz und Wirkungsgrad keiner was vor. Optimaler Service für alle Systemkomponenten inklusive.



Mehr erfahren: [www.rct-power.com](http://www.rct-power.com)  
oder [info@rct-power.com](mailto:info@rct-power.com)

Hochvolttechnologie  
vom Bodensee



## RCT POWER

### SPEICHERSYSTEME NEU DURCHDACHT

---

Die neu durchdachten Speichersysteme von RCT Power ermöglichen es Ihnen, Sonnenenergie intelligent zu nutzen und Ihr Eigenheim energieunabhängiger zu machen. Die RCT Power GmbH aus Konstanz ist einer der wenigen Hersteller, der komplette Batteriesysteme und Wechselrichter selbst entwickelt und diese optimal aufeinander abstimmt. Sie erhalten ein System aus einer Hand und gleichzeitig optimalen Service für alle Systemkomponenten. Deutsche Hochvolttechnologie und nachhaltige Verarbeitung schaffen dabei ein vollkommen neues Gefühl von solarer Unabhängigkeit.

Die RCT Power Battery und der RCT Power Storage Wechselrichter ergeben eine maßgeschneiderte Photovoltaik Speicherlösung für Wohngebäude und gewerbliche Anlagen. Batterie und Wechselrichter wurden für einander konzipiert und bieten maximale Flexibilität und höchste Energieversorgung. Insbesondere in Bezug auf Effizienz und Wirkungsgrad macht ihnen keiner etwas vor.

Der Batteriewechselrichter verteilt den Solarstrom intelligent, schont die Batterie und optimiert die Erträge. Programmierbare Schaltausgänge sorgen dafür, dass Überschussstrom nicht dem Netz, sondern zielgerichtet Ihrer Wärmepumpe, Ihrem Elektroauto oder anderen Anwendungen zugeführt wird. Ein effizienter Kühlkörper garantiert geräuschlose und wartungsfreie Kühlung.

Mit der leistungsfähigen RCT Power App steuern Sie das gesamte Speichersystem und haben Ihre Energiewende fest im Griff. Diverse Konfigurationsmöglichkeiten und One-Click Updates machen die App zu einem flexiblen Werkzeug. Sie erleichtert die Installation, Wartung und Überwachung der Eigenverbrauchsanlage.

#### Modulare und nachrüstbare Speichersysteme

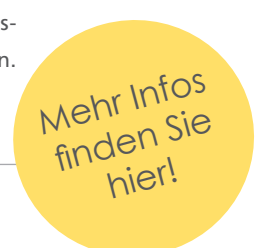
Das modulare System ist nachrüstbar und passt sich Ihren Anforderungen an. Der Batteriespeicher ist besonders platzsparend und einfach zu installieren. Die „Fits all“ Technologie erlaubt es zudem, alle Solarmodultypen mit dem Speichersystem zu kombinieren.

#### Datenschutz und Ihre Sicherheit sind uns wichtig

Datenschutz ist ein ernstzunehmendes Thema – auch bei Solarspeichersystemen. Uns ist die Sicherheit Ihrer Daten wichtig. Das gemeinsam mit dem ISE Freiburg entwickelte prognosebasierte Lademanagement benötigt keinen Internetanschluss. Der Zugriff bleibt in Ihrer Hand und Ihre Daten bleiben sicher.

#### Batterietechnologie made in Germany

Die Batterietechnologie aus Deutschland überzeugt durch Sicherheit und Langlebigkeit. Der Energiespeicher für Solarstrom besteht aus Lithium Eisenphosphat Zellen, einer deutschen Verbindungstechnologie und einem sehr hochwertigen deutschen Batteriemanagement System. Lithium-Eisenphosphat Batteriezellen zählen zu den sichersten Lithium-Ionen Batterien.

A yellow circular callout with a slight drop shadow, containing the text 'Mehr Infos finden Sie hier!' in a black, sans-serif font. The text is arranged in three lines, following the curve of the circle.

Mehr Infos  
finden Sie  
hier!



# WIE VERKAUFT SICH QUALITÄT? AUSGEZEICHNET.



**MyReserve. DIE STROMSPEICHERZUKUNFT IST DA.**



Jetzt informieren!  
[www.MyReserve.de](http://www.MyReserve.de)

**SOLARWATT®**  
power to the people

# SOLARWATT

## SOLARWATT Batteriespeicher liefern grenzenlose grüne Energie

---

Mit dem Stromspeicher MyReserve Matrix läutet SOLARWATT 2017 eine neue Ära der Energieautarkie ein. Das System lässt sich flexibel an jeden Energiebedarf anpassen – ohne Kompromisse. Der Batteriespeicher besteht nur noch aus zwei Grundkomponenten, die sich in puncto Kapazität und Leistung beliebig zu einer für den Kunden maßgeschneiderten Speicherlösung kombinieren lassen. Egal, ob Einfamilienhaus, Werkstatt, Dienstleistungsgewerbe oder Industriebetrieb – die Einsatzmöglichkeiten des MyReserve Matrix sind dank der konsequenten Modularität nahezu grenzenlos. Ein Kunde kann sich je nach Bedarf seinen individuellen Stromspeicher zusammenstellen und erhält so die für ihn perfekt dimensionierte und damit wirtschaftlichste Speicherlösung.

### Erweiterungen – einfach und schnell

Aufgrund der kompakten Bauweise und des modularen Aufbaus ist der SOLARWATT-Batterie-Speicher MyReserve Matrix von nur einem Handwerker in kurzer Zeit zu installieren. Auch im Fall einer Wartung oder Erweiterung ist das Hinzufügen oder der Austausch von Modulen im Handumdrehen erledigt.

### Der effizienteste Stromspeicher der Welt

Die MyReserve-Systeme sind kompatibel mit allen gängigen PV-Wechselrichtern und können ohne Umrüstkosten problemlos in bestehende PV-Anlagen integriert werden. Die Lithium-Ionen-Speicher sind DC-gekoppelt; die Nutzer profitieren damit von einem außergewöhnlich hohen Batteriewirkungsgrad von 99,2%. Mit dem einem 2017 erworbenen Patent, das einen Ladewirkungsgrad von bis zu 99,9% ermöglicht, sichert sich SOLARWATT auch für die Stromspeicher der Zukunft einen Effizienzvorsprung.

### Sicherheit hat oberste Priorität

Der SOLARWATT Stromspeicher war einer der ersten Geräte, der alle Anforderungen des Sicherheitsleitfadens für Li-Ionen-Hausspeicher erfüllt hat, was mehrere anerkannte Prüfinstitute dem Premium-Photovoltaikanbieter bestätigten. Bis heute gehören die MyReserve-Systeme zu den wenigen Batteriespeichern, die diesen höchsten Sicherheitsanforderungen ausnahmslos gerecht werden.

### Umweltfreundlichkeit von der Produktentwicklung an

Die Stromspeicher von SOLARWATT speichern während ihrer Nutzungsphase mehr als zehn Mal so viel saubere Energie, wie für ihre Herstellung nötig war – ein großes Plus für die Umwelt. Die Entwickler haben darüber hinaus bereits während der Produktentwicklung des MyReserve das spätere Recycling mitgedacht. Alle Komponenten lassen sich leicht und zerstörungsfrei demontieren. Die Wiederverwendungsquote der Bauteile von 86 Prozent ist einer der höchsten Werte der Branche.

Mehr Infos  
finden Sie  
hier!

/ Perfect Welding / **Solar Energy** / Perfect Charging



## **KOMPROMISSLOSE UNABHÄNGIGKEIT IST MÖGLICH. WEIL WIR SONNENENERGIE TAG UND NACHT NUTZBAR MACHEN.**



[www.24stundensonne.com](http://www.24stundensonne.com)

Das Fronius Energy Package rund um den Fronius Symo Hybrid (3, 4 und 5 kW), die Fronius Solar Battery (3,6 - 9,6 kWh) und den Fronius Smart Meter ist die kompromisslose Speicherlösung am Markt. Das Resultat sind maximale Flexibilität und höchste Eigenversorgung dank:

- / Multi Flow Technology: Verschiedene DC- und AC-Energieflüsse sind parallel möglich.
  - / Modularer Aufbau: Notstromfunktion und Batterie sind jederzeit nachrüstbar.
  - / Maximale Effizienz: DC-gekoppeltes System und leistungsstarke Lithium-Technologie.
  - / Dreiphasigkeit: Optimale Versorgung des Haushalts bei Netzausfällen dank dreiphasigem Notstrombetrieb.
- Erfahren Sie mehr: [www.fronius-sonnenstromspeicher.com](http://www.fronius-sonnenstromspeicher.com)





# FRONIUS ENERGY PACKAGE

Die Speicherlösung für 24 Stunden Sonne.

„24 Stunden Sonne“ ist die Fronius Vision zur Energiewende. Hohe Stromrechnungen zahlen war gestern! Jetzt kann man mit der Speicherlösung Fronius Energy Package die Energie der Sonne Tag und Nacht nutzen. Mit dem Fronius Energy Package ist es möglich, die überschüssige Energie einer Photovoltaikanlage in einer Batterie zwischen zu speichern. Dieser Strom steht somit in den Abend- und Nachtstunden für die Versorgung im Haushalt zur Verfügung.

## Wie funktioniert das Fronius Energy Package?

Der Wechselrichter **Fronius Symo Hybrid** wandelt den Gleichstrom aus der PV-Anlage in haushaltsüblichen Wechselstrom um. Damit können während des Tages die Verbraucher im Haushalt betrieben werden. Der Wechselrichter ist in den Leistungsklassen 3, 4 und 5 kW erhältlich. Überschüssiger Strom wird in der **Fronius Solar Battery** zwischengespeichert und steht somit am Abend und in den Nachtstunden für die Versorgung im Haushalt zur Verfügung. Die Speichergröße ist individuell wählbar (3,6 bis 9,6 kWh).

Der Zähler, der sogenannte **Fronius Smart Meter**, dient der Optimierung sowie Darstellung des eigenen Stromverbrauchs. Man sieht auf einen Blick, wie viel Sonnenenergie zur Verfügung steht und wie viel Strom verbraucht wird.

## Individuell anpassbare Lösung

Die Fronius Speicherlösung ist trotz ihrer Einfachheit so flexibel, dass sie individuell an die Bedürfnisse im Haushalt angepasst werden kann:

- Die Speichergröße der Fronius Solar Battery kann je nach Verbrauchsverhalten passend dimensioniert werden, aber auch im Nachhinein noch erweitert werden.
- Der Speicherort ist flexibel wählbar, insbesondere müssen der Wechselrichter und die Batterie nicht im gleichen Anlagenraum installiert sein.
- Die Fronius Speicherlösung kann auch in bereits bestehende Anlagen integriert werden.

## Maximale Effizienz

Fronius bietet die sicherste Speichertechnologie gepaart mit dem jahrzehntelangen Know-how im Umgang mit Batterien. Dank Lithium-Eisenphosphat Technologie überzeugt die Fronius Solar Battery mit maximaler Effizienz und Lebensdauer. Die Batterie ist gleichstromseitig gekoppelt. Das bedeutet einen höheren Wirkungsgrad als bei wechselstromseitig gekoppelten Lösungen.

## Revolutionäre Bedienung

Dank integriertem WLAN lässt sich die Speicherlösung direkt mit einem Smartphone, Tablet, PC oder Notebook verbinden. Mit dem Online Portal Fronius Solar.web werden Stromverbrauch und Speicherladung visualisiert und es wird gezeigt, wie viel Energie zur Verfügung steht.

## Sie interessieren sich für das Fronius Energy Package?

Für mehr Informationen besuchen Sie [www.fronius-sonnenstromspeicher.com](http://www.fronius-sonnenstromspeicher.com)

Mehr Infos  
finden Sie  
hier!

# SolarMax

Wechselrichter und Speichersysteme für Photovoltaikanlagen  
Made in Germany

- ✓ Wechselrichter
- ✓ Speichersysteme
- ✓ Energiemanagement
- ✓ Datenkommunikation
- ✓ Anlagenüberwachung
- ✓ RePowering
- ✓ Services

[solarmax.com](http://solarmax.com)

Halle B3  
Stand B3.550

inter  
**solar**  
connecting solar business | EUROPE

# SOLARMAX

Im Zuge der Energiewende gewinnt die Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern und damit der Ausbau der erneuerbaren Energien immer mehr an Bedeutung.

---

## Über 25 Jahre Erfahrung

Mit mehr als 25 Jahren Erfahrung entwickelt, produziert und vertreibt die SolarMax-Gruppe String- und Zentralwechselrichter für netzgekoppelte Solarstromanlagen, Datenkommunikationslösungen sowie Zubehör zur Überwachung, Planung und Steuerung.

## MaxStorage TP-S das All-in-One Speichersystem

Mit Hilfe des dreiphasigen SolarMax DC-Speichersystems lässt sich maximale Autarkie erreichen. Als erfahrener Hersteller von Wechselrichtern entwickelte SolarMax die gesamte Leistungselektronik des All-in-One Systems und gewährleistet damit höchste Qualität durch „Made in Germany“. Durch den modularen Batterieaufbau (Lithium-Ionen-Technologie) ist die Speicherkapazität (2,3 bis 9,2 kWh) individuell an das Verbrauchsverhalten anpassbar und nach Bedarf nachträglich erweiterbar. Der Batteriespeicher eignet sich zur Installation bei Neuanlagen als auch zur Integration von bestehenden Anlagen. Zudem bietet SolarMax eine Garantie von 10 Jahren auf alle Systemkomponenten.

## MaxWeb XPN - Mehr als nur ein Datenlogger

Für das Energiemanagement hat SolarMax den neuen Datenlogger MaxWeb XPN entwickelt. Als Knotenpunkt der ortsunabhängigen Überwachung zeichnet er aktuelle Messwerte, Ertragsdaten und Ereignisse auf. Somit regelt er den Energiefluss und passt den Energiebedarf an die Verfügbarkeit an. Sämtliche bezogenen und abgegebenen Leistungen werden visualisiert und sowohl der Eigenverbrauch als auch der eingesparte Strom grafisch darstellt. Die Software von MaxWeb XPN ist selbstlernend: Anhand des typischen Verbrauchs und der Wettervorhersage legt der Datenlogger den optimalen Zeitpunkt für die Speicherung des Sonnenstroms fest, was den Wirkungsgrad erhöht und die Rendite maximiert.

## Zentralwechselrichter für mittlere bis große Anlagen

Die SolarMax Zentralwechselrichter überzeugen durch kompakte Bauweise, Flexibilität und ein ausgezeichnetes Preis-Leistungsverhältnis. Ihr Einsatzspektrum reicht von mittleren Anlagen von 20kW bis zu Kraftwerken im Megawatt-Bereich.

## Stringwechselrichter für kleine bis mittlere Anlagen

Die einphasigen und dreiphasigen Stringwechselrichter mit Nennleistungen von 1,8 bis 32 kW sind für kleinere und mittlere Solarstromanlagen bestimmt.

## Höchster Leistungsanspruch

Mit Überzeugung, Innovation und Leidenschaft leistet SolarMax einen wertvollen Beitrag zur Weiterentwicklung der Photovoltaik und damit zur erneuerbaren Energieversorgung.

SolarMax Sales and Service GmbH | Zur Schönhalde 10 | D-89352 Ellzee  
+49 (0) 37 33 / 50 78 4 - 0 | [hotline@solarmax.com](mailto:hotline@solarmax.com) | [www.solarmax.com](http://www.solarmax.com)



## Ein Meilenstein. Made by Mercedes-Benz Energy.

Der neue Mercedes-Benz Energiespeicher Home kommt auf die Straße.  
Profitieren Sie von signifikanten Performancesteigerungen. Mehr Leistung.  
Mehr Ausdauer. Mehr Zuhause.

---

Besuchen Sie uns am Stand B1.330  
auf der ees Europe & Intersolar in München.

---

Mercedes-Benz



# MERCEDES-BENZ ENERGY

Die regenerative Erzeugung von Energie und deren Speicherung ist ein zentrales Zukunftsthema. Mercedes-Benz Energy steht für innovative Speicherlösungen und Qualität "Made in Germany".

---

## Automotive Plattform für stationäre Energiespeicher.

Wie kann Energie effizient gespeichert werden? Die Antwort auf eine der zentralen Zukunftsfragen liefert Mercedes-Benz Energy. Innovative Speicherlösungen sorgen weltweit für mehr Unabhängigkeit bei der Energieversorgung. Die stationären Batteriespeicher basieren auf der sicheren und langlebigen Lithium-Ionen-Technologie, die im Automobilbau von Daimler perfektioniert wurde. Kurz: Bewährte Technik von der Straße für zu Hause und Ihr Unternehmen.

## Made in Germany.

Die Mercedes-Benz Energiespeicher werden von der 100-prozentigen Daimler-Tochter ACCUMOTIVE hergestellt. Mercedes-Benz Energy entwickelt und vermarktet die stationären Speichersysteme und garantiert dabei höchste automotive Qualitäts- und Sicherheitsstandards.

## Auf der Straße bewährte Technologie für zu Hause.

Energie ist ein kostbares Gut – von sinnvoller und ressourcenschonender Nutzung profitieren wir alle. Bei der Elektromobilität perfektionieren wir nachhaltige Technologie schon seit vielen Jahren – und jetzt lässt sie sich auf den privaten Wohnraum übertragen. Kompakte stationäre Energiespeicher sorgen dafür, den Verbrauch eigenproduzierten Solarstroms in Zukunft noch besser und effektiver an den Alltag anzupassen. Das bringt den Kunden mehr Unabhängigkeit unter anderem von Strompreisentwicklungen. Überschüssige Kilowattstunden werden im Mercedes-Benz Energiespeicher Home nahezu verlustfrei zwischengespeichert und später je nach Bedarf eingesetzt. Machen Sie sich bereit: Ihre private Energiewende kann beginnen.

## Der Mercedes-Benz Energiespeicher im Überblick.

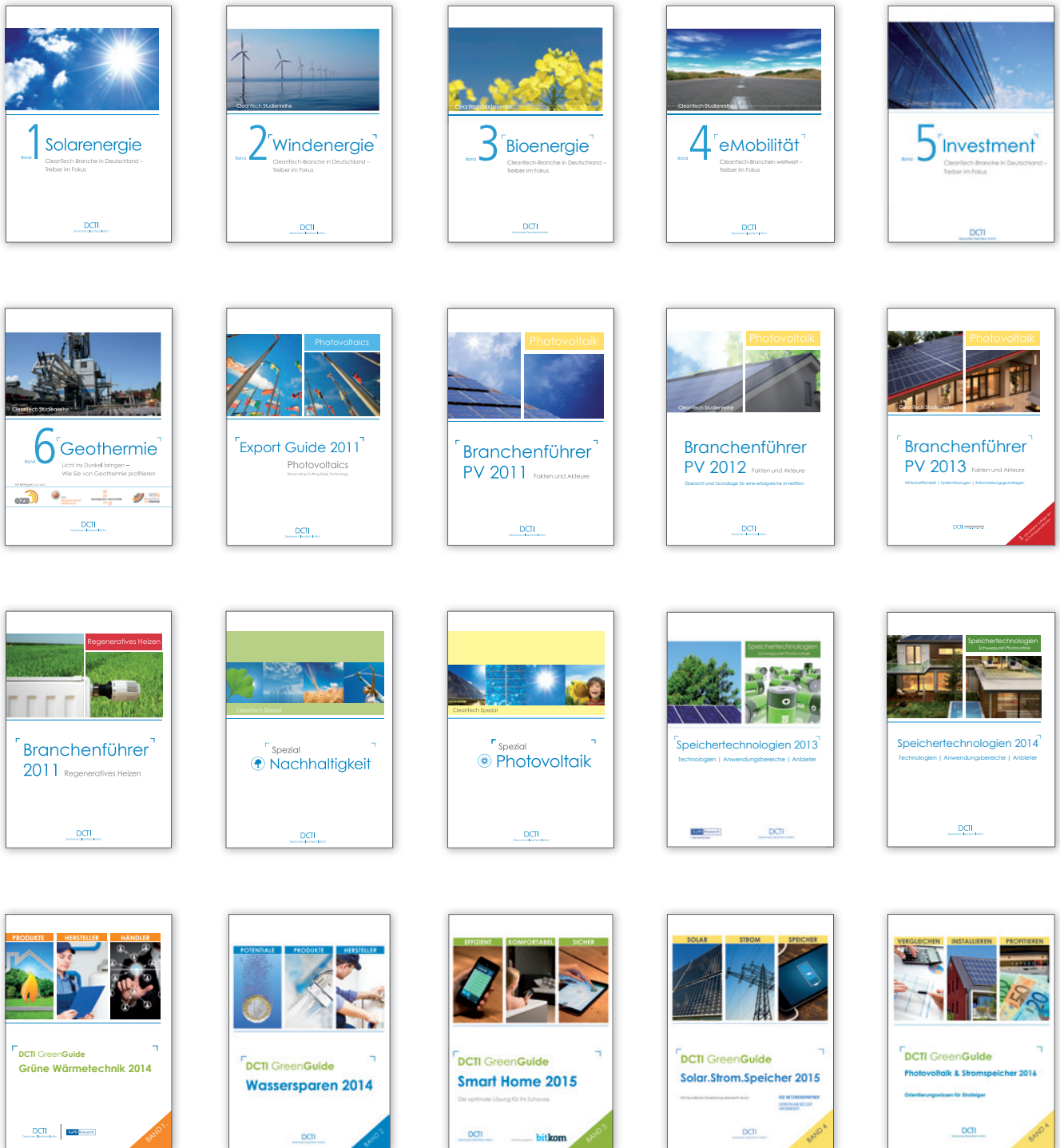
- modulares System von min. 2,5 bis max. 24 kWh
- nachrüstbar ganz nach Ihren Anforderungen
- sichere und langlebige Lithium-Ionen-Technologie
- geräuschlose Zuverlässigkeit
- Wand- oder Standmontage
- 10 Jahre Zeitwertersatzgarantie
- KfW-Förderung und damit Minderung der Anschaffungskosten
- Mercedes-Benz Qualität „Made in Germany“

Bis zu acht Energiemodule mit einer Kapazität von jeweils min. 2,5 kWh können Ihren eigenproduzierten Sonnenstrom speichern – für die Nacht und für sonnenarme Stunden. Sie bleiben zwar am Stromnetz angeschlossen, genießen aber mehr Unabhängigkeit und sind im Falle eines Stromausfalls bestens versorgt.

Weitere Informationen unter: [www.mercedes-benz-energy.com](http://www.mercedes-benz-energy.com)

Mehr Infos  
finden Sie  
hier!

# Bisher beim DCTI erschienen (Auswahl)



Download unter [www.dcti.de](http://www.dcti.de) und bei **amazonkindle**



# XIII. Impressum

## Impressum

### Herausgeber & Redaktion



#### Deutsches CleanTech Institut GmbH

Albrechtstr. 22  
10117 Berlin  
Fon +49(0) 030 880 600-71  
Fax +49(0) 228 92654-11  
welcome@dicti.de

#### Büro Bonn

Aldenauerallee 134  
53113 Bonn

Geschäftsführer Markus A.W. Hoehner  
Managing Partner Leo Ganz

[www.dicti.de](http://www.dicti.de)

#### Redaktion

Stefan Hausmann

#### Projektmanagement

Linda Fahmy  
Leo Ganz

In Zusammenarbeit mit

**EuPD Research**

### Kooperationspartner



### Konzept & Gestaltung



Art Direction  
Stefanie Becker

Fon +49 (0) 228 85426-0  
Fax +49 (0) 228 85426-11  
welcome@360Concept.de

[www.360Concept.de](http://www.360Concept.de)

