



# STROM AUS PHOTOVOLTAIK-ANLAGEN ZUR EIGENVERSORGUNG

Informationen für Eigenheimbesitzer  
und kleine Unternehmen



Abbildung 1 - Kriterien für die Anschaffung einer PV-Anlage

## Inhaltsverzeichnis

<b>#1 GUT ZU WISSEN</b>	<b>4</b>	<b>#3 LOS GEHT'S!</b>	<b>16</b>
1.1 Einige Überlegungen vorab	5	3.1 Bedarfsanalyse	17
1.2 Einspeisung oder Autarkie	5	3.2 Planung der Systemkomponenten	18
1.3 Ich werde Stromerzeuger	6	3.2.1 Flächen und Module	18
		3.2.2 Wechselrichter	19
<b>#2 PV-KNOW-HOW</b>	<b>7</b>	3.2.3 Speicher	19
2.1 Anlagentypen	8	3.3 Ertragsprognose / Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	19
2.2 Anlagenkonzepte	9	3.4 Finanzierung / Vergütung / Abgaben (Betrachtung privat / Unternehmen)	20
2.2.1 PV-Anlagen ohne Speicher	9	3.5 Montage / Inbetriebnahme / Netzanschluss	24
2.2.2 PV-Anlagen mit Speicher	9		
2.2.3 Photovoltaik zur Strom- und Wärmeerzeugung	10	<b>#4 ANLAGE LÄUFT!</b>	<b>25</b>
2.2.4 Power-to-Heat	10	4.1 Anlagenüberwachung	26
2.3 Systemkomponenten	11	4.2 Wartung & Instandhaltung	27
2.3.1 PV-Systeme – Solarmodul-Typen	11	4.3 Versicherungen	27
2.3.2 Wechselrichter	12	4.4 Was passiert mit meinem Modul am Ende der Lebensdauer und Nutzung?	28
2.3.3 Batteriespeicher	13	4.5 Best Practice – Interview mit Dr. Jörg Müller	29
2.4 Schutz vor möglichen Gefährdungen	14	4.6 Technische und wirtschaftliche Begriffserklärung	30
2.4.1 Brandschutz	14	4.7 Danksagung	31
2.4.2 Blitzschutz, Erdung, Überspannungsschutz	15		
2.5 Baurechtliche Genehmigungen	15		



## Vorwort

### Die Sonne unser Lebensspender

Foto: Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie des Landes Sachsen-Anhalt/Rainer Kurze



Für unseren Planeten ist die Sonne die wichtigste natürliche Energiequelle. Das Potenzial ist riesig. Die auf der Erde eintreffende Sonnenenergie entsprach bezogen auf das Jahr 2010 dem 10.000 fachen des Energiebedarfs der gesamten Menschheit. Letztendlich sind fast alle Energieträger umgewandelte Sonnenenergie. Selbst die heute abgebaute Kohle war vor Millionen Jahren ein Wald, der durch Photosynthese und den daraus resultierenden Stoffwechsel der

Pflanzen entstanden ist. Der Umweg über fossile Energieträger zur Stromerzeugung ist heute nicht mehr notwendig. Noch Ende der Achtziger Jahre bewunderten wir die ersten solar betriebenen Uhren und Taschenrechner. Damals war es schwer vorstellbar, dass diese kleinen Zellen auch große Verbraucher mit Energie versorgen könnten. Nur wenige Jahrzehnte später sind Photovoltaiksysteme technisch und wirtschaftlich in der Lage einen maßgeblichen Beitrag zur Energieversorgung zu leisten.

Gerade in den letzten Jahren gab es Innovationsschübe, die dazu beigetragen haben, dass PV-Systeme und Batteriespeicher für unterschiedliche Anwendungen und diverse Größenordnungen an Attraktivität gewonnen haben. Der Erwerb eines PV-Systems ist heute für private Anwender und für Unternehmen eine Kluge Investition. Das gute Gefühl, einen möglichst großen Anteil der benötigten Energie selbst und nachhaltig zu erzeugen, wird am Ende wirtschaftlich belohnt.

Der vorliegende Leitfaden soll Sie auf dem Weg zum eigenen PV-System begleiten und Ihnen helfen, aus der Vielfalt der Möglichkeiten die für Sie passenden Lösungen zu finden.

#### Prof. Dr. Claudia Dalbert

Ministerin für Umwelt, Landwirtschaft und Energie  
des Landes Sachsen-Anhalt

## Einführung

Die Nutzung einer Photovoltaik-Anlage (PV-Anlage) aus ökologischen und ökonomischen Überlegungen erfreut sich wachsender Beliebtheit sowohl im privaten als auch im gewerblichen Sektor. Für die Überlegungen zu einer Investition in diese Technologie werden in dieser Broschüre grundlegende Fragen geklärt. Dieses Dokument soll Ihnen helfen, die richtigen Entscheidungen zu treffen und Sie in die Lage versetzen, mit Ihrem Anlagenplaner und -errichter mit mehr Sachverstand zu kommunizieren.

Die Gliederung ist so aufgebaut, dass Sie sich je nach Wissens- und Kenntnisstand praktische Hinweise, Informationen und Empfehlungen zu eigen machen können.

Für eine grundlegende Entscheidungsfindung haben wir im Kapitel #1 GUT ZU WISSEN Argumente zusammengetragen, die das Für und Wider reflektieren und die auch auf bestimmte Regularien und Konsequenzen im Zusammenhang mit einer Investition in Photovoltaiksysteme und Speicher hinweisen.

Das Kapitel #2 PV-KNOW-HOW verdeutlicht den aktuellen Stand der Technik und die damit verbundenen alternativen Lösungsmöglichkeiten. Hier erhalten Sie Anregungen für Ihr individuelles System.

Im Abschnitt #3 LOS GEHT'S werden die Grundlagen sowie der Weg von der Idee zu einem fertigen Plan beschrieben. Dies vermittelt Ihnen ein gutes Rüstzeug für die Abstimmungen mit dem künftigen Errichter Ihrer Anlage.

Mit der neuen Technologie werden sich Ihre Lebensgewohnheiten nicht ändern, außer, dass Sie weniger CO<sub>2</sub>-Ausstoß verursachen, teilweise unabhängig vom externen Strombezug sind und wirtschaftliche Vorteile genießen. Trotzdem gibt es beim Betrieb des PV-Systems einiges zu beachten. Hinweise dazu gibt es im Kapitel #4 ANLAGE LÄUFT.

Die in diesem Leitfaden gesammelten Informationen geben Ihnen einen Gesamtüberblick zur Planung, Installation und zum Betrieb Ihres PV-Systems.

# #1 GUT ZU WISSEN

**Damit Sie mitreden können.**

- 1.1 Einige Überlegungen vorab
- 1.2 Einspeisung oder Autarkie
- 1.3 Ich werde Stromerzeuger



Abbildung 2 - Beispiel einer Aufdachanlage auf einem Einfamilienhaus

## 1.1 Einige Überlegungen vorab

Es gibt reale Einschränkungen, die gegen den Kauf und die Installation einer PV-Anlage sprechen. PV-Anlagen sind klimafreundlich und verbessern Ihre Wirtschaftlichkeit. Jedoch sollte man die Argumente, die grundsätzlich gegen eine Investition sprechen, kennen. Dazu eine kurze Übersicht:

- Wenn Sie nicht der Eigentümer der Immobilie sind, auf der die PV-Anlage installiert werden soll, brauchen Sie die Zustimmung des Eigentümers. Liegt die Zustimmung nicht vor, ist das ein K.-o.-Kriterium.
- Ziehen Sie in Erwägung, Ihre Immobilie in naher Zukunft zu verkaufen, sollten Sie Ihre Investition überdenken, da diese mit längeren Amortisationszeiten verbunden ist.
- Wenn beispielsweise Bäume oder große Gebäude Ihre zukünftige Installationsfläche beschatten, könnte eine PV-Anlage unter Umständen nicht genug Strom erzeugen, um sich zu amortisieren. Solar-Fachleute werden vorab Ihren Standort analysieren und Ihnen als Entscheidungshilfe eine Ertragsprognose erstellen.
- Ist die Tragfähigkeit des Daches aufgrund von Alter, Beschädigungen oder der Bauart nicht ausreichend, kann zunächst keine PV-Anlage aufgebaut werden. Unter Umständen lohnt sich die Dachsanierung, wenn Sie mit der Installation einer PV-Anlage kombiniert wird.
- Investitionen in PV-Anlagen sind in der Regel ein langfristiges Engagement. Fehlende Mittel für die Vorfinanzierung sind ein Ausschlusskriterium.

Gibt es keine grundsätzlichen Einwände, die gegen die Anschaffung einer eigenen PV-Anlage sprechen, möchten wir Ihnen in den nächsten Kapiteln Wege aufzeigen, wie Sie erfolgreich Ihren eigenen Sonnenstrom produzieren.

## 1.2 Einspeisung oder Autarkie

Wenn Sie den Entschluss zur Errichtung einer PV-Anlage gefasst haben, empfiehlt es sich, den Fokus auf die maximale Deckung des eigenen elektrischen Energiebedarfs zu richten. Sinkende Einspeisevergütungen und steigende Strompreise führen dazu, dass die Eigenstromversorgung die wirtschaftlich attraktivste Variante ist (siehe auch Kapitel 3.1 Bedarfsanalyse und Kapitel 3.3 Ertragsprognose / Wirtschaftlichkeitsbetrachtung).

Das Wissen über den eigenen Stromverbrauch ist die Grundlage für alle weiteren Schritte. Wie hoch der eigene Bedarf ist und wann die benötigte Energie verbraucht wird, beantwortet Ihnen die Bedarfsanalyse. Von dieser ausgehend ergeben sich weitere Fragestellungen:

- Möchte oder muss ich meinen über den eigenen Bedarf hinaus produzierten Strom ins öffentliche Netz einspeisen?
- Ist eine sogenannte Insellösung möglich? Kann der erzeugte Strom vollständig vor Ort für definierte Verbraucher, ohne teilweise Einspeisung in das öffentliche Netz, eingesetzt werden?
- Benötige ich Speichermedien?



Abbildung 3 - Beispiel einer Aufdachanlage auf einem Gewerbebetrieb

- Welchen Beitrag leistet eine Investition in erneuerbare Energien für die eigene wirtschaftliche Situation und zur eigenen Nachhaltigkeit?

Mit einer PV-Anlage leisten Sie einen positiven Beitrag zum Klimaschutz. Daher analysieren Unternehmen und Privatpersonen Ihren „ökologischen Fußabdruck“ („carbon footprint“). Darunter wird die Produktion von Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) sowie deren Abgabe in die Umwelt durch den laufenden Betrieb oder die Lebensweise verstanden.

Mit der teilweisen und regenerativen Erzeugung des selbst benötigten Stroms wird die eigene Klimabilanz deutlich verbessert. Hinzu kommt die partielle Unabhängigkeit von der öffentlichen Energieversorgung (Autarkie). Ein möglichst hohen Grad der Autarkie wird durch gute Planung, gezielte Überwachung und Steuerung der Systeme erreicht.

Bei der Planung sind bestimmte Kriterien zu berücksichtigen (Kapitel #3 LOS GEHT'S).

**„Wer auf seinem privaten Wohnhaus eine Photovoltaikanlage betreibt und Strom in das Netz einspeist, verkauft diesen an den Energieversorger - und ist damit automatisch Unternehmer“**

### 1.3 Ich werde Stromerzeuger

Als Betreiber einer Photovoltaikanlage speisen Sie nicht selbst genutzten Strom in das öffentliche Netz. Dies entspricht formal einer unternehmerischen Tätigkeit.

Unternehmer verbuchen die Einnahmen im Rahmen ihres gewerblichen Geschäftsbetriebes.

Als privater Besitzer einer PV-Anlage sind Sie daher verpflichtet, Ihre gewerblichen Einnahmen mit der Anlage G zu Ihrer Einkommenssteuer zu erklären.

Die Anlage G setzt eine Bilanz oder eine Einnahmen-Überschuss-Rechnung voraus. Dieser Mehraufwand lohnt sich, denn als Unternehmer können Sie auch die Betriebsausgaben Ihrer PV-Anlage geltend machen. Dazu zählt neben den Wartungs- und Reparaturkosten auch die Abschreibung der Anschaffungskosten verteilt auf 20 Jahre. Der Wert des

eigenverbrauchten Stroms ist in die Gewinnermittlung einzubeziehen.

#### Steuerliche Besonderheiten der PV-Anlage auf einen Blick

Im Zusammenhang mit einer PV-Anlage sind folgende steuerliche Besonderheiten zu beachten:

- Der Kaufpreis der PV-Anlage ist grundsätzlich auf 20 Jahre verteilt abzuschreiben.
- Beim Erwerb einer Immobilie mit einer auf dem Dach montierten PV-Anlage – demontierbar – fällt keine Grunderwerbsteuer für den Kaufpreis der Anlage an.
- Kaufen Sie eine Immobilie mit einer in das Dach integrierten PV-Anlage – nicht demontierbar – wird auch für den Kaufpreis der Anlage Grunderwerbsteuer fällig.
- Staatliche Zuschüsse zum Kauf der Anlage können entweder als Betriebseinnahme erfasst werden oder Sie kürzen den Kaufpreis der Anlage entsprechend und schreiben nur den geminderten Betrag steuerlich ab.

Nicht zuletzt gehört zu den grundlegenden „unternehmerischen“ Entscheidungen auch die Wahl der Finanzierungsart.

Das Kapitel 3.4 Finanzierung / Vergütung / Abgaben liefert dazu vertiefende Informationen.

# #2 PV-KNOW-HOW

**Ein Technologieüberblick.**

- 2.1 Anlagentypen
- 2.2 Anlagenkonzepte
- 2.3 Systemkomponenten
- 2.4 Schutz vor möglichen Gefährdungen
- 2.5 Baurechtliche Genehmigungen





Abbildung 4 - gebäudeintegrierte PV-Anlage auf dem Dach des Berliner Hauptbahnhofs

Kapitel #2 verschafft Ihnen einen Überblick über wesentliches Wissen rund um das Thema PV-Anlage. Schwerpunkte sind dabei die verschiedenen Typen von Anlagen und die verwendeten Module zur Stromerzeugung. Des Weiteren erfahren Sie, wie der erzeugte Strom in die netzüblichen Parameter gewandelt wird (230 V AC) und zwischenzeitlich nichtgenutzte Energie gespeichert werden kann.

## 2.1 Anlagentypen

PV-Anlagen können unterschieden werden in

- Freiflächenanlagen,
- Anlagen, die an oder auf Gebäuden angebracht sind
- und Anlagen, die in die Gebäudehülle oder das Dach integriert sind.

Freiflächenanlagen sind in den meisten Fällen auf Netzeinspeisung ausgelegt. Sie spielen bei der Energieerzeugung für Eigenheimbesitzer und kleine Unternehmen praktisch keine Rolle.

Aufdachanlagen sind überwiegend nachträglich errichtet. Anlagen auf Schrägdächern sind an die Ausrichtung und Neigung des Daches gebunden. Auf Flachdächern können, wie bei Freiflächenanlagen, die Module aufgeständert und optimal ausgerichtet sowie geneigt werden (s. Abb. 3 und 5).

Bei Schrägdächern eignen sich in Ost-West-Richtung ausgerichtete Anlagen insbesondere für die Eigenverbrauchsopti-

mierung von Eigenheimen. Unternehmen, die den größten Verbrauch im Tagesverlauf erwarten, sollten die Anlagen in südlicher Ausrichtung installieren. Die Module werden über eine Unterkonstruktion auf dem Dach befestigt, wobei auf eine ausreichende Hinterlüftung geachtet werden muss, um Leistungseinbußen durch Erwärmung zu minimieren. Ähnliches gilt für Vorhangfassaden, wobei hier die Ausrichtung zur Sonne aufgrund der senkrechten Montage entsprechend schlechter ist.

Ist die Funktionalität der PV-Anlage mit Zusatzfunktionen wie z. B. Dämmung, Witterungs-, Sicht- oder Sonnenschutz kombiniert, wird von gebäudeintegrierten PV-Anlagen gesprochen. Die PV-Anlage kann in diesem Fall nicht mehr entfernt werden, ohne dass die Funktionsfähigkeit des Gebäudes beeinträchtigt wird. Aufgrund der nicht optimalen Neigung und Ausrichtung sowie der Erhöhung der Modultemperatur bei einer Warmfassade, sinkt der Wirkungsgrad dieser Anlagen. Vorteile sind der Zusatznutzen und die Einsparung der konventionellen Baumaterialien.

Ein Beispiel ist die Verwendung von Glas-Glas-Modulen im Berliner Hauptbahnhof (s. Abb. 4). Hier sind neben der Stromerzeugung auch die Witterungs- und Sonnenschutzfunktion integriert.



## 2.2 Anlagenkonzepte

Bei PV-Anlagen werden Inselsysteme und netzgekoppelte Systeme unterschieden:

- Inselanlagen sind autark und ihr Strom geht direkt an die angeschlossenen Verbraucher. Da Stromerzeugung und Bedarf nicht immer übereinstimmen, sind Speichermöglichkeiten erforderlich.
- Netzgekoppelte Anlagen sind an das öffentliche Stromnetz angeschlossen und speisen nicht selbstgenutzten Strom ins Netz ein. Hierzu wird ein Wechselrichter benötigt, der den erzeugten Gleichstrom der PV-Anlage in Wechselstrom umwandelt.

Durch die zunehmende Attraktivität des Eigenverbrauchs sind Mischlösungen etabliert, die sowohl die Eigennutzung und Speicherung als auch die Einspeisung von überschüssig erzeugtem Strom ermöglichen.

### 2.2.1 PV-Anlagen ohne Speicher

Durch die zeitliche Verschiebung von Stromerzeugung und Stromverbrauch kann ein privater Haushalt nur einen Bruchteil des erzeugten Stroms selbst nutzen. Verfügt die Anlage nicht über eine Speicherlösung, wird der erzeugte Solarstrom, der nicht direkt im Haushalt verbraucht werden kann, in das öffentliche Stromnetz eingespeist. PV-Anlagen ohne Speicher für die Nutzung im privaten Haushalt erreichen lediglich einen Autarkiegrad von ca. 30 %.

Ein Unternehmen im Einschichtbetrieb benötigt den erzeugten Strom dagegen tagsüber. Daher kann eine PV-Anlage ohne Speicher durchaus interessant sein. Der Solarstrom wird dann erzeugt, wenn er tatsächlich gebraucht wird.

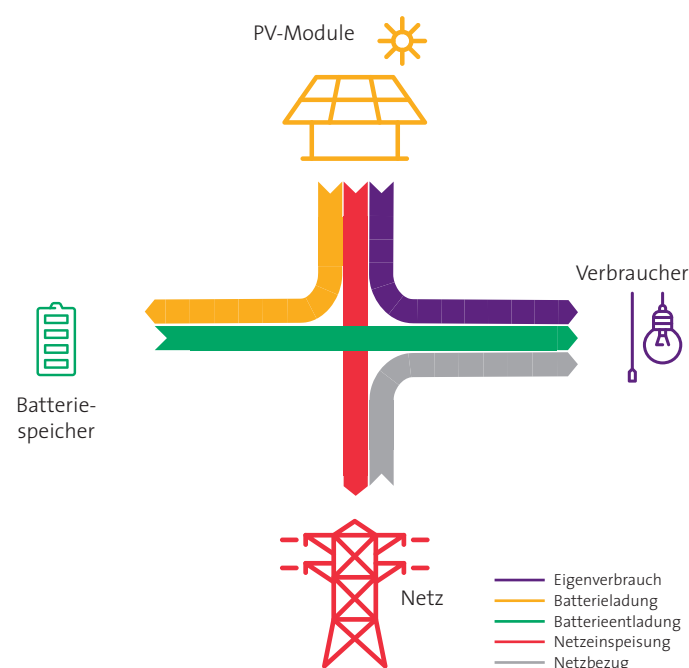


Abbildung 6 - Stromverteilung in einer PV-Anlage mit Speicher und Netzanschluss



Abbildung 5 - Beispiel einer aufgeständerten Aufdachanlage auf einem Flachdach

### 2.2.2 PV-Anlagen mit Speicher

Batteriespeichersysteme für PV-Strom spielen für die intelligente elektrische Selbstversorgung mit Strom eine zentrale Rolle. Sie sind mit zusätzlichen Investitionen verbunden. Diese müssen in die Gesamtwirtschaftlichkeitsbetrachtung mit einbezogen werden.

#### Welchen Beitrag können Batteriesysteme zur Stromversorgung eines Haushalts leisten?

Die Stromerzeugung durch die PV-Anlage und der Strombedarf eines Haushaltes (oder eines Betriebes) folgen unterschiedlichen Zeitprofilen. So steigt z. B. der Strombedarf eines Haushalts in den Abendstunden deutlich an, wenn die PV-Anlage keinen Strom mehr liefert. Mit einem Speicher kann man dann den tagsüber nicht benötigten Solarstrom nutzen, wenn er wirklich gebraucht wird.

Beispiel: Ein Haushalt mit 4.000 Kilowattstunden Jahresverbrauch (PV-Anlage > 4kW, Speicher 4 kWh) kann durch ein Batteriespeichersystem eine Energieautarkie von ca. 60 % erreichen. Der Haushalt bezieht also pro Jahr etwa 2.200  $\pm$  200 Kilowattstunden von dem PV-Batteriesystem, 1.800  $\pm$  200 Kilowattstunden vom Netz.

Damit ergeben sich Netto-Stromerzeugungskosten von 23 Cent pro Kilowattstunde (Annahme: 200 bis 300 Speicher-Zyklen pro Jahr, 15 bis 30 Jahre Laufzeit des Speichers, 30 Jahre Laufzeit der PV-Anlage) auf Basis der derzeitigen Speicherkosten, die in den nächsten Jahren voraussichtlich weiter sinken werden.

## 2.2.3 Photovoltaik zur Strom- und Wärmeerzeugung

### Photothermie-Module (PVT)

PV-Module erzeugen generell neben Strom auch Wärme als Nebenprodukt. Grundsätzlich senkt Wärme in einem PV-Modul den Wirkungsgrad. Um diese Wärme abzuführen und weiter zu verwerten kann diese zur Warmwassererzeugung mit Hilfe eines Hybrid- oder Kombimoduls genutzt werden. Es handelt sich um eine Kombination aus PV- und Solarthermiemodul, auch bekannt unter den Begriffen Thermovoltaik oder Photothermie.

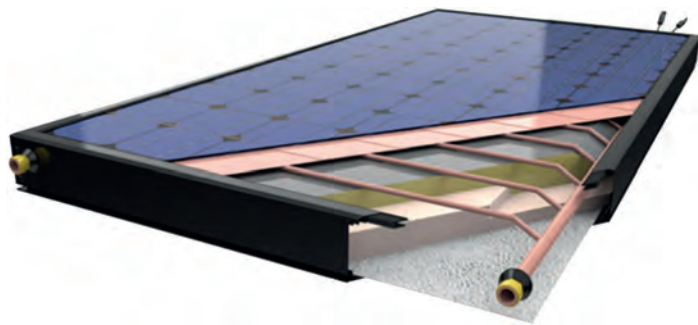


Abbildung 7 - PVT-Modul der Firma Solimpeks

PVT-Module besitzen aufgrund ihrer hybriden Funktionsweise einen komplexeren Aufbau als herkömmliche Solarmodule. Es wird zwischen abgedeckten und unabgedeckten PVT-Modulen unterschieden. Das unabgedeckte Hybridmodul ist auf einen hohen PV-Stromertrag ausgerichtet. Das mit einer Glasscheibe abgedeckte PVT-Modul soll möglichst viel Solarwärme erzeugen. In beiden Fällen zirkuliert im Inneren des thermischen Bauteils, das auf der Rückseite des Moduls angebracht ist, sogenannte Solarflüssigkeit. Sie ist in der Lage, die Wärme des Moduls aufzunehmen. Die Flüssigkeit zirkuliert in einem Absorber, der dafür sorgt, dass sich die Solarflüssigkeit möglichst schnell und hoch erhitzt. Die vom PV-Modul erwärmte Flüssigkeit fließt in einen Solarwärmespeicher und unterstützt so die Heizung und/oder die Brauchwassererwärmung.

### Wärmepumpen

Als Wärmepumpen werden Geräte bezeichnet, die mittels elektrisch angetriebener Pumpen aus einer Niedertemperaturwärmequelle Nutzwärme erzeugen. Die für die Pumpe benötigte elektrische Energie kann aus einem PV-Speichersystem zur Verfügung gestellt werden. Damit wäre die Wärme- oder Warmwasserversorgung nahezu netzunabhängig.

Prinzipiell bieten sich für Wohnhäuser und kleine Gewerbeeinheiten folgende Wärmequellen an:

- Umgebungsluft (Luft/Wasser) – unbegrenzte Verfügbarkeit, geringster Investitionsaufwand, keine Erdarbeiten,
- Grundwasser (Wasser/Wasser) – besonders hohe Effizienz, Wasserqualität ist zu beachten,
- Erdreich (Sole/Wasser) – über Erdkollektor, Erdsonde

oder Eisspeicher, hohe Effizienz

- Abwärme – abhängig von Verfügbarkeit, Menge und Temperaturniveau.

Folgende Punkte sind für die Auswahl einer Wärmepumpe zu berücksichtigen:

- Mögliche Wärmequellen ermitteln:
  - Erdsonde – Ist eine Tiefenbohrung genehmigungsfähig?
  - Erdkollektor – Kann das unversiegelte Grundstück großflächig aufgegraben werden?
  - Grundwasser – Liegt das Haus im Grundwasserschutzgebiet?
  - Luft – Letzte Lösung, wenn andere Quellen nicht verfügbar sind.
- Wärmebedarf und Heizleistung bestimmen
- Lässt sich der Wärmebedarf durch Dämmung senken
- Lassen sich die benötigten Vorlauftemperaturen durch Fußbodenheizung oder große Heizkörper senken
- gegebenenfalls Genehmigung für Bohrung über Bohrfirma einholen
- Optimalen Stromtarif bestimmen, gegebenenfalls Pufferspeicher einplanen
- Günstige Finanzierung z.B. über KfW im Rahmen weiterer Klimaschutzmaßnahmen prüfen
- Anlage vom Fachbetrieb installieren lassen

Ob sich für Sie eine PVT-Anlagen oder PV-Anlage mit Wärmepumpe finanziell lohnt, muss individuell analysiert werden.

## 2.2.4 Power-to-Heat

Die Technologie Power-to-Heat (PtH oder P2H) bietet das Potenzial, bei relativ geringen Investitionskosten überschüssigen Strom aus erneuerbaren Energien zu speichern oder zu nutzen. Power-to-Heat wird hier verstanden als ein Versorgungssystem, welches Wärme ausschließlich aus Strom erzeugt.

Zur Wärmeerzeugung aus Strom können Elektrodenheizkessel, Widerstandsheizungen (beide direkte Wärmeumformer) oder Wärmepumpen eingesetzt werden. Großtechnische Anlagen sind von ihrer Leistung üblicherweise im MW-Bereich angesiedelt. Elektrodenheizkessel werden ab 5 MW angeboten, Anlagen nach dem Prinzip der Widerstandsheizung sind auch in deutlich niedrigeren Leistungsklassen (einige 100 kW) verfügbar.

Die direkten Wärmeumformer sind im Vergleich zu den Wärmepumpen mit relativ geringen Investitionskosten verbunden. Sie verfügen über einen Wirkungsgrad von ca. 98 %. Wärmepumpen hingegen zeichnen sich durch das Nutzen der Umweltenergie (Temperaturdifferenzen) mit einer wesentlich höheren Energieeffizienz aus. Durch eine Analyse der individuell benötigten Jahresbetriebsstunden können die Systeme wirtschaftlich miteinander verglichen werden.

## 2.3 Systemkomponenten

### 2.3.1 PV-Systeme – Solarmodul-Typen

Die unterschiedlichen Typen von Solarmodulen werden durch die jeweilige Technologie der Photovoltaikzellen (PV-Zellen) bestimmt, aus denen das Modul aufgebaut ist. Ganz allgemein betrachtet, setzen sich die PV-Zellen aus mindestens einem Halbleitermaterial und Metallkontaktierungen zusammen. Die PV-Zellen wandeln Solarenergie durch den photoelektrischen Effekt in elektrische Energie um. Ausgehend von der aktuellen Marktsituation sind zurzeit zwei Technologien relevant: Zum einen die kristallinen Siliziumzellen, die auf Basis von ca. 200 µm dicken Wafern (dünne Siliziumscheiben) aufgebaut sind, und die Dünnschichtzellen, bei denen wenige Mikrometer dicke Zellschichten auf Glas oder einem Polymersubstrat abgeschieden werden. Als Kombination gibt es Hybridzellen, die die kristalline waferbasierte Technologie mit Dünnschicht kombinieren. Aktuell wird an organische Solarzellen geforscht, die eine besonders kostengünstige Fertigung erlauben sollen.

Solarzelltechnologie	Modulwirkungs- grade	Benötigte Fläche für 1 Kilowatt- peak
Silizium-Hochleistungszellen (rückkontaktiert, HIT)	19 – 23 %	4 – 5 m <sup>2</sup>
Monokristallines Silizium	16 – 19 %	5 – 6 m <sup>2</sup>
Multikristallines Silizium	15 – 17 %	6 – 7 m <sup>2</sup>
Kupfer-Indium-Gallium-Di-selenid CIGS	13 – 17 %	6 – 8 m <sup>2</sup>
Cadmiumtellurid (CdTe)	11 – 17 %	6 – 9 m <sup>2</sup>
Amorphes Silizium	5 – 10 %	10 – 20 m <sup>2</sup>

Tabelle 1: Modulwirkungsgrade und benötigte Fläche für 1kWp für verschiedene Solarzelltechnologien

#### Kristalline Zelltechnologien

Die kristalline Zelltechnologie besitzt aktuell einen Marktanteil von über 90 % (Stand 01/2016). Hierbei wird Silizium als Halbleitermaterial genutzt. Silizium ist nach Sauerstoff das zweithäufigste Element und somit nahezu unbegrenzt verfügbar. Das Material liegt allerdings nicht in Reinform vor, sodass Reinigungsprozesse für die Anwendung in der Photovoltaik erforderlich sind. Diese können je nach Anforderungen an die Reinheit sehr kostenintensiv sein. Kristalline Zelltechnologien werden unterschieden in monokristalline und polykristalline Siliziumzellen:

#### Monokristalline Siliziumzellen

Die Herstellung monokristalliner Siliziumsolarzellen erfolgt durch die vergleichsweise energie- und kostenintensive Kristallzüchtung aus der Siliziumschmelze im sogenannten Czochralski-Prozess. Die aus dem anschließenden Sägeprozess erhaltenen Wafer werden zu Solarzellen weiterverarbeitet. Aufgrund der geringen Defektdichte sind monokristalline

Zellen meist die Basis für hocheffiziente Solarzellkonzepte. Hierzu gehören Rückkontaktzellen, bei denen die Kontakte teilweise oder vollständig auf die Rückseite der Solarzelle verlegt sind. Darüber hinaus können sie besondere Passivierungen (Oberflächenbehandlungen) aufweisen, die zur Minderung von Verlusten und damit zur Steigerung des Wirkungsgrades beitragen. Zu diesen Hocheffizienzzellen gehören die Rückkontaktzellen von Sunpower mit Zellwirkungsgraden bis zu 25,2 %, die allerdings auch vergleichsweise hohe Kosten aufweisen. Die kommerziell verfügbaren Module auf Basis monokristalliner Zellen erreichen Wirkungsgrade zwischen 16 und 23 %.

#### Polykristalline Siliziumzellen

Im Gegensatz zu den monokristallinen Siliziumzellen wird bei der Herstellung polykristalliner Siliziumsolarzellen die Siliziumschmelze als Ausgangsmaterial in Blöcke gegossen. Durch das Abkühlen der Schmelze entsteht die Struktur aus vielen einzelnen Kristallen. Dies ist energie- und kostengünstiger als die monokristalline Kristallzüchtung. Damit sind die polykristallinen Siliziumzellen die im Markt bisher am meisten verbreitete Technologie. Bedingt durch Defekte an den Kristallgrenzen ist der Wirkungsgrad gegenüber monokristallinen Siliziumsolarzellen etwas geringer und liegt bei 15 bis 17 %. Allerdings gibt es auch hier Steigerungspotenzial. Ein Rekordmodul der Q CELLS GmbH erreichte im Juni 2016 einen Wirkungsgrad von 19,5 %. PV-Anlagen auf der Basis von polykristallinem Silizium bieten zur Zeit das beste Preis-Leistungsverhältnis.

#### Dünnschicht

Als am weitesten verbreitete Alternative zur kristallinen Zelltechnologie bietet die Dünnschichttechnologie besonders hinsichtlich der geringeren Energiekosten, des Materialbedarfs und der Möglichkeit eines hohen Automatisierungsgrades der Fertigung ein hohes Einsparungspotenzial. Zugute kommen der Dünnschichttechnologie eine bessere Verschattungsresistenz, das Schwachlichtverhalten und der geringere Temperaturkoeffizient. Dem gegenüber steht der geringere Wirkungsgrad im Vergleich mit kristallinen Modulen, was zu einem erhöhtem Flächenbedarf führt.

#### Amorphe Siliziumzellen

Amorphes Silizium wird durch chemische Gasphasenabscheidung von gasförmigem Silan in einem Plasma-Reaktor auf ein Substrat abgeschieden. In der Regel wird Glas als Substrat verwendet. Aufgrund der niedrigen Prozesstemperaturen sind auch Metall- oder Kunststofffolien denkbar. Der erreichbare Wirkungsgrad von PV-Modulen dieser Technologie liegt aber nur bei 5 bis 10 %. Wirkungsgradsteigerungen sind nur durch Stapelzellen möglich, die allerdings Produktionskosten erhöhen, sodass die amorphe Dünnschicht von anderen Technologien zunehmend verdrängt wurde.

#### CIGS-Zellen

Die CIGS-Technologie (C-Kupfer, I-Indium, G-Gallium, S-Selen) erreicht aktuell Modulwirkungsgrade zwischen 13 und 17 % und ist damit konkurrenzfähig zu multikristallinen





Abbildung 8 - zu Solarmodulen zusammengeschaltete Solarzellen

Modulen. Auch hier besteht die Möglichkeit, verschiedene Substrate zu nutzen. Glassubstrate bieten einen hohen Schutz vor Witterungseinflüssen und können in Gebäudeanwendungen aufgrund der gleichmäßigen homogenen schwarzen Farbe der Module vor allem optisch überzeugen. Auch flexible Anwendungen sind möglich, die durch eine geringe statische Belastung zusätzliche Vorteile für die Dachintegration bieten.

#### CdTe-Zellen

Die zur Herstellung von Cadmium-Tellurid-(CdTe)-Zellen benötigten Materialien sind vergleichsweise nicht so leistungsstark wie Silizium, jedoch wesentlich günstiger. Durch die Verwendung des Schwermetalls Cadmium erfolgt üblicherweise eine Modulrücknahme nach Deinstallation. Der Wirkungsgrad der Module beläuft sich zurzeit auf bis zu 17 %.

#### Organische PV

Organische Solarzellen aus Kohlenwasserstoffverbindungen haben den Vorteil, unabhängig von Temperatur und Einstrahlung ihre Leistung zu erbringen. Den ebenso flexiblen wie leichten Anwendungsmöglichkeiten organischer PV-Module stehen eine geringe Lebensdauer sowie vergleichsweise geringe Wirkungsgrade gegenüber. Der Wirkungsgradrekord liegt aktuell bei 11,2 %.

### 2.3.2 Wechselrichter

Der Wechselrichter ist ein wichtiger Bestandteil jeder netzgekoppelten Solaranlage. Er wandelt den Gleichstrom der Solarmodule in den netzüblichen Wechselstrom um. Der Wechselrichter sorgt dafür, dass die Solarmodule in ihrem einstrahlungs- und temperaturabhängigen Leistungsmaximum arbeiten. Weiterhin überwacht er das Stromnetz und ist für die Einhaltung diverser Sicherheitskriterien verantwortlich.

Die wichtigste Eigenschaft eines Wechselrichters ist der Umwandlungswirkungsgrad, der angibt wieviel der Energie in Form von Gleichstrom in Wechselstrom umgewandelt wird. Moderne Geräte erreichen Wirkungsgrade von rund 98 % bei korrekter Auslegung.

Eine weitere Aufgabe ist die Leistungsoptimierung. Da sich Bestrahlungsstärke und Modultemperatur im Tagesverlauf ändern, verändert sich auch die Leistungskennlinie der Solarmodule. Der Wechselrichter sucht stets den optimalen Arbeitspunkt (Maximum Power Point, MPP), um die maximale Leistung aus den Solarmodulen zu erzielen. Der Vorgang wird als MPP-Tracking bezeichnet.

Neben diesen zentralen Aufgaben können mit einem Wechselrichter Anlagenstörungen überwacht, Abschaltvorrichtungen integriert und Kommunikationsschnittstellen zur Kontrolle und Überwachung realisiert werden.

Die Wahl des Wechselrichters ist abhängig von der Anlagengröße und damit der installierten Leistung. Typische Leistungen sind 5 kW für private Hausdachanlagen, 10-20 kW für gewerbliche Anlagen (z.B. Hallen- oder Scheunendächer) und mehr als 20 kW für den Einsatz in Solar-Kraftwerken.

Die Möglichkeiten der Modulverschaltung sind bestimmend für die Auswahl des Wechselrichters. Es wird zwischen String-, Multistring, Zentral- und Modulwechselrichtern unterschieden. „String“ bezeichnet hierbei eine Reihenschaltung von Solarmodulen.

Ein Stringwechselrichter wird bei gleichen elektrischen Eigenschaften und homogener Beleuchtung der angeschlossenen Module verwendet, sodass der MPP übereinstimmt.

Multistring-Wechselrichter verfügen über zwei oder mehr String-Eingänge mit jeweils eigenem MPP-Tracker. Dies ist insbesondere dann sinnvoll, wenn die PV-Anlage aus unterschiedlich ausgerichteten Teilflächen besteht oder teilweise verschattet wird.

Für besonders komplexe Dachstrukturen, regelmäßige (Teil-) Verschattungen, Kleinstanlagen oder verschiedene Dachausrichtungen sind Modulwechselrichter entwickelt worden. Diese werden direkt am Modul angebracht. Durch das lokale MPP-Tracking können alle Module in ihrem individuellen Leistungsmaximum gehalten werden. Diese Lösung ist aufgrund der Anzahl der Komponenten kostenaufwändiger als Stringwechselrichter, bietet allerdings eine optimierte Performance und ermöglicht eine modulspezifische Ausfallerkennung.

Wechselrichter haben auch eine Netzmanagementfunktion. Da in einem Stromnetz immer so viel Energie erzeugt werden muss wie verbraucht wird, müssen die Netzbetreiber in der Lage sein, die erzeugte Leistung zu reduzieren, falls es ein Überangebot gibt. Weiterhin kann die Reduktion durch den Netzbetreiber über die Netzfrequenz geregelt werden.

Bei der Umwandlung von Gleichspannung in Wechselspannung ist in diesem Kontext von Wechselrichtern mit Transformator die Rede. Hier handelt es sich um eine Methode, bei der Gleichstrom elektronisch in eine sinusähnliche Welle gewandelt wird. Anschließend wandelt der Transformator den Spannungswert auf die im deutschen Wechselstromnetz üblichen 230 Volt. Der Transformator stellt hier außerdem eine galvanische Trennung zwischen Gleichstrom (PV-Generator) und Wechselstrom (Netzanschluss) dar. Moderne Wechselrichter nutzen Schaltelektronik, die den Gleichstrom mit 10 kHz – 150 kHz „zerhacken“ und als Wechselstrom mit 50 Hz zusammensetzen. Hierbei gibt es keine galvanische Trennung zum PV-Generator.

### 2.3.3 Batteriespeicher

Stromspeicher für den privaten Gebrauch mit einer entsprechenden Speicherkapazität sind überwiegend mit Blei-Säure-, Blei-Gel- oder Lithium-Ionen-Batterien ausgestattet. Blei-Säure-Batterien waren in der Vergangenheit am weitesten verbreitet, u.a. als Autobatterien. Aufgrund der deutlichen Vorteile von Lithium-Ionen-Batterien gegenüber Blei-Akkus setzen sich diese zunehmend durch und werden auch im Bereich der Photovoltaik als maßgebend angesehen.

Durch den Preistrutsch der Lithium-Batterien auf 1.000 EUR/kWh hat sich ein Boom für Lithium-basierte Speicher ergeben, die auch technisch vorteilhaft sind: Bei Lithium-Ionen-Batterien wird eine Einsatzdauer von bis zu 30 Jahren erwartet, während diese bei Blei-Batterien zwischen 5 und max. 10 Jahren liegt.

Die Auslegung des Systems hängt vom Nutzungsverhalten ab, welches sich z.B. auf Inselbetriebsfähigkeit oder auf geringe Verluste für zwischengespeicherte Energie (bei Netzparallelbetrieb) oder auf schnelle Reaktionszeiten für schnell zu schaltende Lasten fokussiert.

Gesamt-Wirkungsgrade der Anlagen erreichen über 90 %, unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades der Ladeelektronik, dem Umwandlungswirkungsgrad des Akkus und dessen Selbstentladung.

#### Wie wird die Batterie an das Stromnetz gekoppelt?

##### Wechselstrom-gekoppelte Batterien

Die Batterie ist über einen Wechselrichter am Wechselstrom-Hausnetz angeschlossen. An der PV-Anlage wird nichts verändert. Der Vorteil besteht in der hohen Flexibilität für den jeweiligen Anwendungsfall (jährlicher Stromverbrauch, individuelles Lastprofil, Erzeugung der PV-Anlage, gewünschter Autarkiegrad). Darüber hinaus kann das System in nahezu jeder PV-Anlage nachgerüstet werden und enthält auf Wunsch auch die Funktion einer ausfallsicheren Stromversorgung.

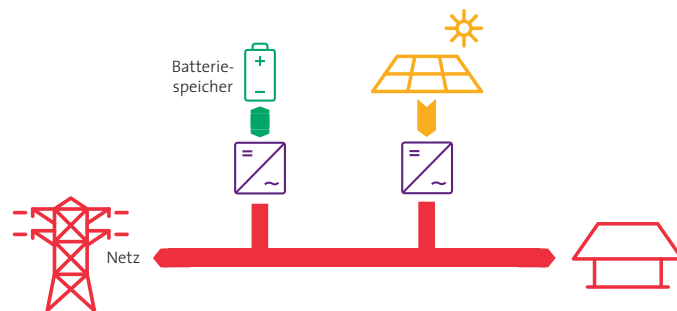


Abbildung 9 - Wechselstrom-gekoppelte Batterien

##### Gleichstrom-gekoppelte Batterien

Die Batterie arbeitet ohne eigenen Wechselrichter. Die Umwandlung in Wechselstrom erfolgt erst bei der Abgabe an das Hausstromnetz. Der Strom, der von der Solaranlage über die Batterie zu den Verbrauchern fließt, durchläuft also nur einmal eine Gleichstrom-Wechselstrom-Wandlung. Daher treten geringere Umwandlungsverluste auf.

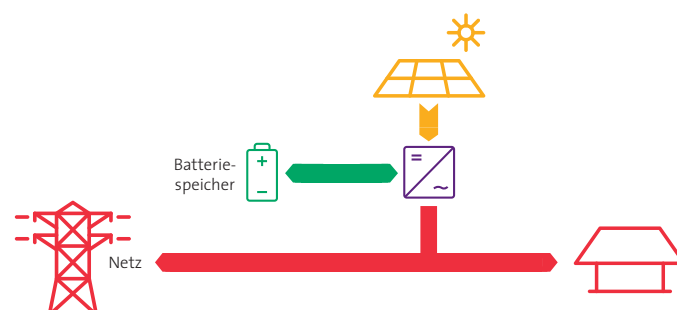


Abbildung 10 - Gleichstrom-gekoppelte Batterien

#### Trends

In Deutschland wurde im Jahr 2015 fast jede zweite PV-Anlage mit bis zu 10 kW Leistung zusammen mit einem Batteriespeicher installiert. Zwischen Mai 2013 und Januar 2016 wurden 34.000 dezentrale Speicher mit einer Gesamtkapazität von 200 MWh an die Niederspannungsnetze angeschlossen.

Außerdem wächst der Markt für gewerblich genutzte Stromspeicher: Hierbei sind auch Zusatzfunktionen wie Notstrom und eine unterbrechungsfreie Stromversorgung reizvoll. Gewerbespeicher in verschiedenen Größenklassen von 10-100 MWh werden in Sachsen-Anhalt beispielsweise durch die Firma TESVOLT entwickelt.

#### Stand der Technik und mögliche zukünftige Entwicklungen

Im Markt der Heimspeicher für Strom aus PV-Anlagen setzen inzwischen alle Volumenhersteller auf Lithium-Ionen-Batterien. Diese sind in vielen Kriterien wie z.B. Wirkungsgrad, Entladetiefe, Energiedichte und Preis pro entnommener kWh sowohl herkömmlichen Technologien, wie Blei-Gel- oder Blei-Säure-Akkumulatoren, als auch jüngeren Entwicklungen, wie Redox-Flow-Systemen, deutlich überlegen.

Zukünftige innovative Entwicklungen im Bereich der Redox-Flow-Batterien könnten die Entwicklungsrichtung nochmals ändern. Entwicklungsschwerpunkt ist dabei das



Abbildung 11 - modulare Speicherlösung TV40 der Firma TESVOLT mit aktivem, bidirektionalem Batteriemanagementsystem (BMS)

Erzielen einer höheren Leistungsdichte im Bereich der Wasserstoffspeicher durch Erhöhung der Energiedichte, durch höhere Drücke bei gleichzeitiger Sicherheit der Behälter sowie weiterer Kostensenkungen. Außerdem werden eine deutliche Effizienz und Kostensenkungen bei der Verwendung organischer Speichermedien (Methan- und Methanolisierung) angestrebt. Auch ein Durchsetzen völlig neuer Ansätze bspw. auf Basis von Kohlenstofffasern (Superkondensatoren) ist denkbar und wird derzeit erforscht.

## 2.4 Schutz vor möglichen Gefährdungen

### 2.4.1 Brandschutz

#### Was muss ich bei einer PV-Anlage zum Thema Brandschutz beachten?

PV-Anlagen sollen grundsätzlich in das Brandschutzkonzept des jeweiligen Gebäudes integriert werden und unterliegen der deutschen Norm DIN 4201. Nach dieser DIN kann man die unterschiedlichen Stoffe, die in einer PV-Anlage verbaut sind, in verschiedene Brandschutzklassen einordnen.

Glas, Silizium und Aluminium gehören zur Klasse der nicht brennbaren Stoffe (Baustoffklasse A1). Die Verrahmung (aus Kunststoffen), die Folienabdeckung und Kunststoffkabel werden in die Kategorie B2 als normal entflammbar eingestuft. Insgesamt werden aber die PV-Anlagen aufgrund der kompakten Bauweise in Brandschutzklasse B1 als schwer entflammbare Bauteile eingestuft.

#### Die Einhaltung der Brandschutzkonzepte dient in erster Linie folgenden Grundsätzen:

- Vorbeugung Brandentstehung
- Vorbeugung Brandweiterleitung
- Personenschutz
- Ermöglichung der Löschung

Dabei sind die baurechtlichen Regelungen vor allem bei der Installation der PV-Anlage zu beachten. Hierbei dürfen beispielsweise keine Brandwände oder Gebäudetrennwände überbaut werden.

Weiterhin sollte der Hersteller nachweisen können, dass die PV-Anlage gegen Flugfeuer und strahlende Wärme widerstandsfähig ist. Außerdem sollte das statische Verhalten der Module berücksichtigt werden, um vorschriftsmäßige Abstände gewährleisten zu können. Für die sichere Verlegung von Gleichstrom (DC)-Leitungen im Gebäude und außerhalb des Gebäudes gelten die Regelungen der Muster-Leitungsanlagen-Richtlinie (MLAR), die jeweiligen Landesbauordnungen (LBO) sowie die DIN 4201 oder EN 1366.

Diese Vorschriften sollen vor allem der Brandvermeidung sowie dem Personenschutz der Einsatzkräfte dienen. Zum Personenschutz kann jeder Hauseigentümer zusätzlich beitragen, indem er die PV-Anlage am Hausanschlusskasten und der Gebäudehauptverteilung durch ein Hinweisschild kennzeichnet und einen Übersichtsplan für Einsatzkräfte hinterlegt.

Der Übersichtsplan für Einsatzkräfte hilft, die Lage von spannungsführenden Komponenten im Gebäude zu erkennen. Für dachintegrierte und gebäudeintegrierte Anlagen gelten besondere Vorschriften. Hier sollte ein Brandschutzsachverständiger hinzu gezogen werden, um die entsprechenden Regelungen einzuhalten (i.d.R. Nachweis über „harte Bedachung“ nach DIN 4102-7).



## 2.4.2 Blitzschutz, Erdung, Überspannungsschutz

Im Allgemeinen erhöhen PV-Anlagen nicht die Blitzgefährdung des Gebäudes. Jedoch sind diesbezüglich unterschiedliche Fragestellungen zu berücksichtigen, die dennoch die Installation einer Blitzschutzanlage zur Folge haben können. Ist eine Blitzschutzanlage am Gebäude vorhanden, so ist die PV-Anlage ins Blitzschutzkonzept mit einzubeziehen, wobei die Dimensionierung der bestehenden Blitzschutzanlage zu überprüfen ist. Besitzt die PV-Anlage exponierte Anlagenteile, ist ein geeignetes Blitzschutzsystem vorzusehen. Des Weiteren können behördliche Auflagen oder Anforderungen von Versicherungen bestehen, die einen Blitzschutz fordern.

Neben den Maßnahmen des äußeren Blitzschutzes sind die indirekten Blitzeinwirkungen in Form von Überspannungen zu berücksichtigen, die in der Umgebung eines Blitzeinschlags entstehen können. Der Einsatz von geeigneten Überspannungsableitern auf der DC-Seite beim Eintritt ins Gebäude sowie vor den Wechselrichtern kann die Anlage schützen. Der Überspannungsschutz auf der AC-Seite wird prinzipiell empfohlen. Ein Funktionspotenzialausgleich des Montagegestells von mindestens 6 mm<sup>2</sup> beim Einsatz von transformatorlosen Wechselrichtern sollte vorgesehen werden.

## 2.5 Baurechtliche Genehmigungen

### Brauche ich bestimmte baurechtliche Genehmigungen für die Montage meiner PV-Anlage?

Grundsätzlich sind PV-Anlagen genehmigungsfrei. Allerdings sind allgemein das materielle Baurecht sowie die Vorschriften über Bauprodukte und Bauarten einzuhalten. PV-Anlagen unterliegen den Anforderungen der jeweiligen Bauordnung des Bundeslandes. Da es sich um eine bauliche Anlage handelt, muss jeder Bauherr selbst für die Einhaltung baurechtlicher Vorschriften sorgen. Gegen eine Gebühr kann man mit einer Bauanzeige beim Bauamt prüfen lassen, ob für die eigene PV-Anlage ein Genehmigungsverfahren notwendig ist. Denkmalgeschützte Häuser bilden eine Ausnahme und werden gesondert geregelt. Außerdem sind die örtlichen Bebauungspläne zu beachten. Hierzu ist es sinnvoll, entsprechende Informationen im Vorfeld einzuholen.

### Allgemein gültige Regelungen und Vorschriften:

- Bundesrechtliche Regelungen (nach Baugesetzbuch BauGB)
- Landesrechtliche Regelungen (nach Landesbauordnung LBO)
- Musterbauordnung (MBO)
- Bauregelliste B Teil 2 (PV-Module)
- Bauordnungsrecht
- Denkmalschutz
- Sicherheitsvorschriften (CE-Zeichen erforderlich)
  - Europäische Niederspannungsrichtlinie 2006/95/EG
  - IEC 61215 (kristalline Siliziummodule), IEC 61646 (Dünnschichtmodule), IEC 61730 (Sicherheitsprüfungen)

- DIBt-Informationsschrift „Hinweise für die Herstellung, Planung und Ausführung von Solaranlagen“

### Darf ich einen Baum fällen, der meine Anlage verschatten würde?

Dazu gibt es Vorschriften der jeweiligen Gemeinden. Wenn ein Baum eine bestimmte Größe überschritten hat, benötigt man zum Fällen eine Genehmigung der Gemeinde. Das Fällen ohne Genehmigung könnte dann eine Geldstrafe nach sich ziehen.

### Was ist mit den Nachbarn?

Grundsätzlich gilt das Nachbarrecht. Die Bundesländer haben dazu Landesgesetze verabschiedet. Darüber hinaus empfehlen wir Ihnen, Ihre Nachbarn über Baumaßnahmen zu informieren und gegebenenfalls einvernehmliche Lösungen zu suchen und zu finden.

# #3 LOS GEHT'S!

## Planung im Detail.

- 3.1 Bedarfsanalyse
- 3.2 Planung der Systemkomponenten
- 3.3 Ertragsprognose / Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
- 3.4 Finanzierung / Vergütung / Abgaben
- 3.5 Montage / Inbetriebnahme / Netzanschluss



Abbildung 12 - Beispiel einer Aufdachanlage

### 3.1 Bedarfsanalyse

Die PV-Anlage sollte so ausgelegt werden, dass sie optimal zur Eigenversorgung des Betreibers beiträgt. Eine Energiebedarfsanalyse umfasst daher mehr als die Erfassung des Jahresgesamtenenergiebedarfs.

#### Warum ist dies so wichtig?

Der Energiebedarf variiert stark im Tages- und Nachtverlauf sowie auch in Abhängigkeit von der Jahreszeit. Die Sonne

dagegen liefert ihre Energie in den naturgemäß vorgegeben Zeiten. Dies geschieht wetterabhängig in unterschiedlichen Mengen.

In der Vergangenheit wurde der erzeugte PV-Strom aufgrund der hohen gesetzlich vorgeschriebenen Vergütungen in das öffentliche Netz eingespeist. Batteriespeicher waren somit nicht erforderlich. Die Vergütungssätze für die Einspeisung werden im Rahmen des Erneuerbare Energie Gesetzes (EEG) periodisch festgelegt.

Seit dem 01.07.2017 liegt die Vergütung für eine Dachanlage mit einer Solarleistung von maximal 10 kWp bei 12,2 ct/kWh, wenn eine Einspeisung ins öffentliche Energieversorgungsnetz erfolgt. Dagegen liegt der durchschnittliche Strombezugspreis für Haushalte in Deutschland bei 29,2 ct/kWh. Damit wird deutlich, dass die Vermeidung des Strombezuges gegenüber der Einspeisung eine immer größere Bedeutung erlangt.

Während in der Vergangenheit jede über PV erzeugte Kilowattstunde in das Netz eingespeist wurde, wird es nunmehr immer attraktiver das System so auszulegen, dass man den erzeugten Strom auch selbst nutzt. Abbildung 13 zeigt in einer Übersicht wie sich der Verbrauch über einen Tageszyklus verhalten könnte und wie man den eigenen Bedarf zu großen Teilen mittels PV-Anlage und Batteriespeicher decken kann. Unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit ergeben sich jedoch immer noch Lücken, die durch Bezug von Strom aus dem öffentlichen Netz geschlossen werden müssen. Dazu mehr in den Kapiteln zur Planung eines PV-Systems.

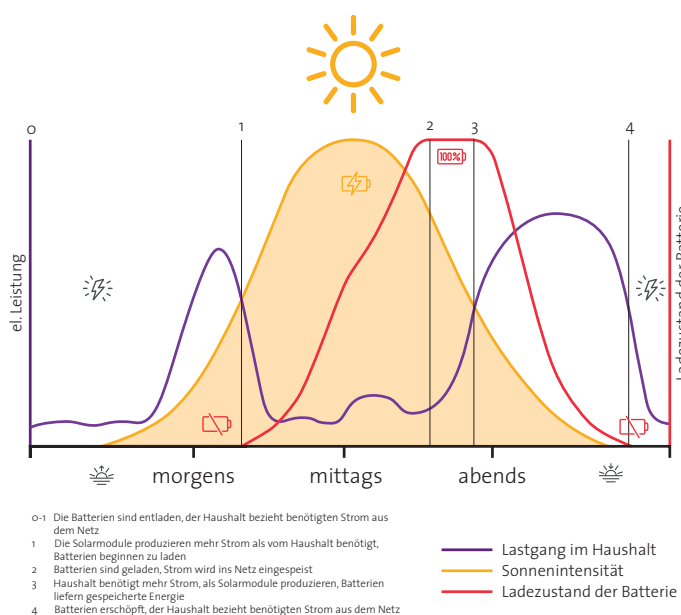


Abbildung 13 - möglicher Tageslastgang eines Privathaushalts



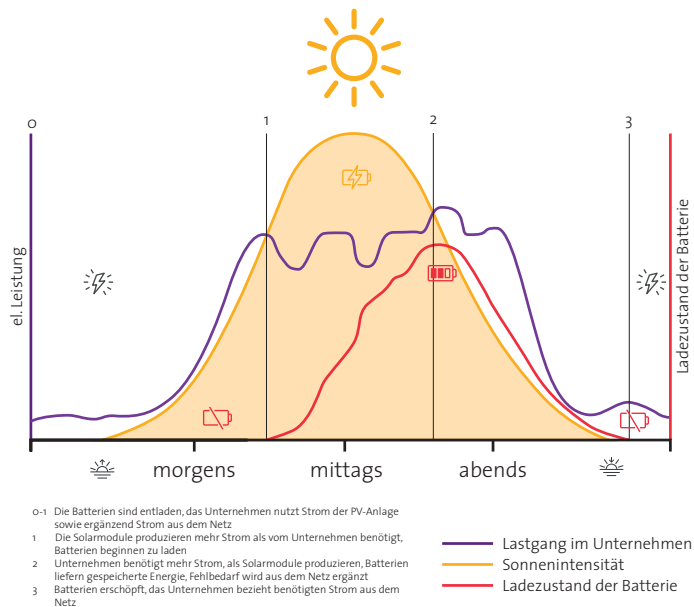


Abbildung 14 - möglicher Tageslastgang eines Gewerbebetriebes

Für Unternehmen mit einem höheren Strombedarf ist die Energiebedarfsanalyse von noch größerer Bedeutung, da es hier weitere Effekte zu berücksichtigen gilt. Der Energiepreis für größere Abnehmer beinhaltet neben dem Preis für die gelieferte Menge an Energie, den Arbeitspreis, auch einen Preisanteil für die Leistungsspitzen, den sogenannten Leistungspreis. Beide Komponenten lassen sich durch eigenerzeugten Strom erheblich mindern, wie in Abbildung 14 dargestellt.

Um eine genaue Analyse des eigenen Bedarfs mit einer anbieterneutralen Empfehlung für eine spätere Systemauslegung zu erhalten, empfiehlt sich die Einbeziehung eines unabhängigen Energieberaters. Im Energieatlas der Landesenergieagentur Sachsen-Anhalt GmbH finden Sie schnell und regionalisiert passende Energieberater und Hinweise zu möglichen Förderprogrammen für die Energieberatung: <https://www.sachsen-anhalt-energie.de/>

Besitzen Unternehmen einen Strombezugstarif, der sowohl Arbeits- als auch Leistungspreisanteile enthält, haben sie Anspruch auf die Auswertung des Jahreslastganges. Diese zeigt viertelstundengenau den Leistungsverlauf inklusive aller Lastspitzen auf.

## 3.2 Planung der Systemkomponenten

Ein PV-System ist grundsätzlich modular aufgebaut und dadurch annähernd beliebig skalierbar. Das Gesamtsystem eines PV-Generators ist untergliedert in:

- Zelle (s. Abb. 15)
- Zellstring
- Modul (s. auch Abb. 8)
- Modulstring

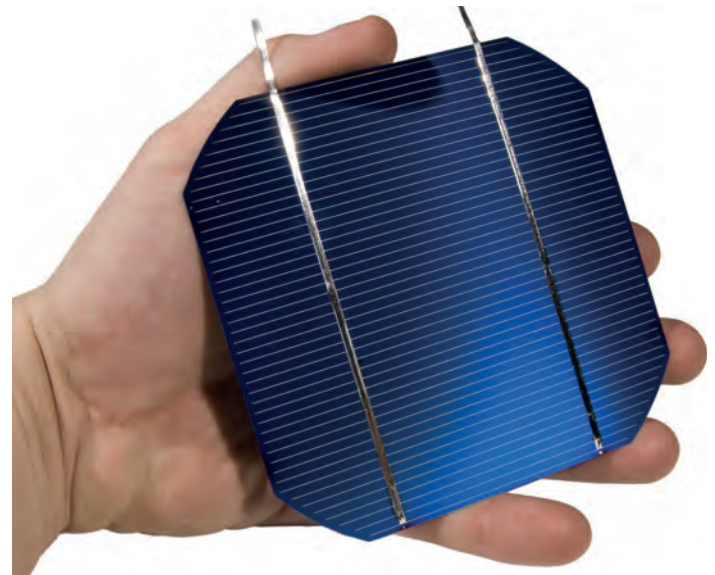


Abbildung 15 - einzelne Solarzelle

### 3.2.1 Flächen und Module

Für die Bestimmung der Größe der Solaranlage und somit für die Anzahl der zu verwendeten Module sind verschiedene Faktoren zu beachten.

Der Ertrag hängt maßgeblich von der Fläche ab, die der Sonne zugewandt ist. Diese wiederum wird durch die baulichen Gegebenheiten bestimmt. Aufdachmodule werden in der Regel direkt auf die Dachflächen montiert – eine Dachneigung von 30-50° gilt hier als optimal.

Die Ausrichtung der PV-Anlage ist optimal, wenn die Module hauptsächlich in den Zeiten von der Sonne beschienen werden, in denen der hauptsächliche Energiebedarf besteht. Bisher wurde immer die Südrichtung als optimal benannt. Dies stimmt für PV-Anlagen, die hauptsächlich ins öffentliche Netz einspeisen und für Unternehmen, bei denen der Hauptenergiebedarf über den Tag verteilt ist.

Für die Eigennutzungsoptimierung von Eigenheimen, welche Lastspitzen in den Morgen- und Abendstunden haben, ist eine Ost-West-Ausrichtung die bessere Alternative. Gebäude oder Bäume, die zeitweise die Solarmodule beschatten, sind ertragsmindernd und müssen in der Betrachtung berücksichtigt werden. Ebenso ist die geografische Lage für die Stromausbeute bestimmend. In den unterschiedlichen Regionen herrschen verschiedene Voraussetzungen, die sich aus der am Ort vorherrschenden Sonnenbahn sowie den Klima- und Wetterbedingungen ergeben. Für die Berechnung

werden statistische Werte herangezogen, die den Sonnenenergiegehalt in kWh pro Quadratmeter und Jahr angeben.

Die Anzahl der benötigten Solarmodule bestimmt maßgeblich die Kosten und auch die Wirtschaftlichkeit des Systems. Zahlreiche Anbieter und Internetportale bieten Berechnungshilfen an (siehe auch Abschnitt 3.4 Ertragsprognose / Wirtschaftlichkeitsbetrachtung). Die errechnete Anzahl der PV-Module ergibt eine Dachlast, die ihr Dach aufnehmen können muss. Die Dachstatik muss aufgrund der zu installierenden Technik bei Schrägdächern in der Lage sein, eine zusätzliche Belastung von 16-24 kg/m<sup>2</sup> zu tragen. Für Flachdächer gelten folgende Werte:

- ohne Dachdurchdringung ca. 7 bis 12 kg/m<sup>2</sup>
- mit Dachdurchdringung ca. 18-30 kg/m<sup>2</sup>
- mit Montage-Wanne, je nach Gebäudehöhe ca 30-120 kg/m<sup>2</sup>.

### 3.2.2 Wechselrichter

Die Dimensionierung des Wechselrichters erfolgt zunächst nach der Generatorleistung der installierten PV-Module. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich die Leistungsangabe der Module auf optimale Bedingungen in Bezug auf Sonnenscheindauer und Ausrichtung der Anlage bezieht. Abweichungen vom Optimum mindern die tatsächliche Nennleistung und nur diese muss durch den Wechselrichter transformiert werden.

Da ein leistungsstärkerer Wechselrichter auch mit höheren Anschaffungskosten verbunden ist, ist eine Überdimensionierung zu vermeiden.

Ein PV-Wechselrichter kann nur dann den optimalen Wirkungsgrad erzielen, wenn am angeschlossenen Modulstrang gleiche Bedingungen vorliegen. Das bedeutet, dass beispielsweise Module, die an unterschiedlichen Dachneigungen montiert sind oder die unterschiedliche Ausrichtungen haben, nie zu einem Strang zusammengeschaltet werden sollten.

In einem solchen Fall sollten für jede Ausrichtung oder Dachneigung entweder ein eigener Wechselrichter, oder bei Multistringwechselrichtern jeweils ein eigener Strang geplant werden. So kann für jeden Strang mittels eigenem MPP-Tracker immer der optimale Arbeitspunkt ermittelt werden.

### 3.2.3 Speicher

Individuelle Bedürfnisse, Ansprüche und die technischen Möglichkeiten sind für die Wahl eines geeigneten Speichersystems ausschlaggebend. Das System sollte nachträglich erweiterbar sein - falls Ihr Haushalt wächst oder neue Stromverbraucher wie ein Elektroauto oder ein stromgeführtes Heizsystem zusätzlich angeschlossen werden müssen.

Bei der Systemwahl muss zwischen einem ein- oder dreiphasigen Anschluss entschieden werden. In Deutschland sind Hausanschlüsse in der Regel dreiphasig. Einphasige Speichersysteme sind eine kostengünstige Alternative. Größere dreiphasige Verbraucher wie Elektroherde und Schnellladeeinrichtungen für Elektroautos können damit jedoch nicht versorgt werden.

## 3.3 Ertragsprognose / Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

### Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Wirtschaftlichkeit einer PV-Anlage kann im Internet bei verschiedenen Anbietern von Solarmodulen oder unabhän-

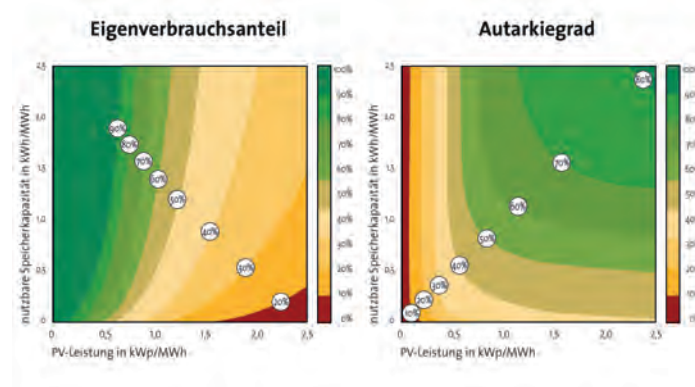


Abbildung 16 - Eigenverbrauchsanteil (links) und Autarkiegrad (rechts) in Abhängigkeit der nutzbaren Speicherkapazität und PV-Leistung

gigen PV-Beratungsseiten durch entsprechende PV-Rechner abgeschätzt werden. Diese erfragen ortsabhängige Faktoren wie die geografische Lage, die Art der Anlage (Dach- oder Freiflächenanlage), deren Ausrichtung und Neigung, die Größe der vorhandenen Fläche, eventuelle Verschattungen sowie den geschätzten Eigenverbrauch. Für eine genauere Betrachtung sind weitere Einflussgrößen wie Finanzierungskosten, Versicherungen, Steuern und Abschreibungen zu berücksichtigen. Dies hat zur Folge, dass die Komplexität der Wirtschaftlichkeitsberechnung zunimmt und sich demnach eine auf den individuellen Fall abgestimmte Beratung empfiehlt. Bei der eigentlichen Berechnung stehen schließlich Anschaffungskosten und laufende Kosten den Erträgen aus Eigennutzung und Einspeisung des Stroms gegenüber.

Eine installierte Leistung von 1 kWp entspricht in Deutschland einem Jahresstromertrag von circa 800-1.000 Kilowattstunden (kWh) und beansprucht auf einem Schrägdach ungefähr eine Fläche von 8 m<sup>2</sup>. Unter installierter Leistung ist die Stromausbeute bei optimalen Bedingungen zu verstehen. Durchschnittlich werden auf Ein-/Zweifamilienhäusern circa 5 kWp installiert, wofür aktuell (Stand: Januar 2017) im Schnitt zwischen 6.500-7.500 Euro für eine schlüsselfertige Anlage (PV-Module, Wechselrichter, Montage, Service) anzusetzen sind. Wird das System mit einem Speicher ergänzt, können sich die Investitionskosten in Abhängigkeit von der Auslegung in etwa verdoppeln.

Komponente	Kostenanteil
PV-Modul	50 %
Montagesystem	10 %
Wechselrichter	15 %
Montage, Installation und Planung	15 %
AC/-DC-Leitungen	2 %
Sonstiges (Zähler, Netzanschluss)	8 %
<b>Summe</b>	<b>100%</b>

Tabelle 1: Geschätzte Kostenanteile einer PV-Anlage ohne Speicher (30-100 kW) bei der Anschaffung

Neben den Anschaffungskosten entstehen Betriebskosten. Darunter sind vor allem Wartungs- und Reparaturkosten, aber auch Kosten für Versicherungen, Verwaltung sowie die Zählermiete zu verstehen. Als Kalkulationsgröße werden für diese laufenden Kosten jährlich circa 1 % der Anschaffungskosten veranschlagt.

Für die Wirtschaftlichkeit ist in der Folge entscheidend, wie hoch die über die Laufzeit erwirtschafteten Erträge der Anlage sind. Unter den Erträgen der eigenen PV-Anlage sind zum einen die eingesparten Kosten durch die Eigennutzung des selbst produzierten Stroms und zum anderen die erhaltene Vergütung für dessen Einspeisung zu verstehen. Die Zeit, bis die erwirtschafteten Erträge die Anschaffungskosten zusätzlich der im selben Zeitraum anfallenden laufenden Kosten übersteigen, wird als finanzielle Amortisationszeit bezeichnet. Diese liegt bei einer ausschließlich mit Eigenkapital finanzierten Anlage zwischen 10 und 15 Jahren.

Da die Einspeisevergütung für gewöhnlich geringer ist als die Kosten für den Strombezug, ist es von wirtschaftlichem Vorteil, den Strom der eigenen Anlage vorrangig selbst zu nutzen und lediglich Überkapazitäten einzuspeisen. Die Verminderung bzw. der zukünftige Wegfall der geförderten Einspeisung führt zusammen mit dem steigenden Strompreis dazu, dass die Eigennutzung zunehmend an Bedeutung gewinnt. Dadurch wird der Einsatz von integrierten Speichern sinnvoll.

Mit Blick auf die Investitionskosten lohnt es sich, in auf das PV-Modul angepasste Wechselrichter und Verkabelungen zu investieren. Dabei sind vor allem ein hoher Betriebswirkungsgrad des Wechselrichters und geringe Leitungsverluste der Verkabelungen von großer Bedeutung. Dies führt zu einem besseren Gesamtwirkungsgrad und folglich zu einer besseren Wirtschaftlichkeit.

In der rechts aufgeführten Tabelle 2 einer Wirtschaftlichkeitsberechnung wurde eine Aufdachanlage mit einer installierten Leistung von 9,8 kWp und einem durchschnittlichen Stromertrag von 900 kWh/kWp betrachtet. Die Inbetriebnahme der Beispielanlage erfolgte im Juli 2018. Als Planungszeitraum sind gemäß § 25 EEG (2017) 20 Jahre zusätzlich der Monate im Jahr der Inbetriebnahme anzusetzen.

Tabelle 2 beinhaltet die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung unter Verwendung einer Beispielanlage mit Speicher und einer Anlage ohne Speicher. Begründet durch die geringeren Investitionskosten, fallen die prozentuale Eigenkapitalrendite und Gesamtkapitalrendite für eine Anlage ohne Speicher höher aus als für eine Anlage mit Speicher.

Tabelle 3 zeigt, dass aufgrund des hohen Eigenversorgungs- oder Autarkiegrades bei der Anlage mit Speicher (81,6 %) der absolute Betrag der Rückflüsse vor Steuern höher ausfällt als bei einer Anlage ohne Speicher. Der Speicher sorgt somit für eine größere Unabhängigkeit vom Energiemarkt und eine bessere Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems.

### 3.4 Finanzierung / Vergütung / Abgaben (Betrachtung privat / Unternehmen)

#### Kredite zur Finanzierung der PV

Der Erwerb und Betrieb einer PV-Anlage macht den privaten Betreiber zu einem Unternehmer im Sinne des Steuer- und Gewerberechts. Auch Banken betrachten Kredite an PV-Anlagenbetreiber als gewerbliche Finanzierung.

Bei der Finanzierung von PV-Anlagen kommen dabei grundsätzlich als Herangehensweisen Bonitätsfinanzierung oder Projektfinanzierung in Betracht.

Bei der Bonitätsfinanzierung wird die Finanzierung der PV-Anlage auf die gesamten Einkünfte eines bereits bestehenden Unternehmens / eines Unternehmers abgestellt. Der Unternehmer / das Unternehmen haftet voll (full recourse) für den PV-Kredit. Die Kreditentscheidung erfolgt auf Basis von IST-(Vergangenheits-)Zahlen.

Bei der Projektfinanzierung hingegen steht die (künftige) Projektwirtschaftlichkeit im Fokus. Dazu werden alle Projekt-Aktiva in eine ausschließlich zum Zwecke des Betriebes der PV-Anlage gegründete haftungsbeschränkte Gesellschaft (z. B. GmbH oder GmbH & Co. KG) eingebracht. Der Unternehmer haftet nur in Höhe seiner Einlage. Der (Plan-)cash-flow des Projektes muss ausreichend sein, um die laufenden Betriebskosten, Steuern sowie den Kapitaldienst (Zins- und Tilgung) zu bedienen und letztlich auch eine angemessene Eigenkapitalverzinsung des Initiators zu erwirtschaften.

Viele Geschäftsbanken, Sparkassen und Genossenschaftsbanken haben in den vergangenen Jahren Finanzierungs- und Sicherheitenstandards für die Finanzierung von PV-Anlagen entwickelt. Die Projektprüfung umfasst hierbei neben der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung insbesondere die technische Machbarkeit sowie rechtliche Aspekte eines Vorhabens. Ausgehend von einer EEG-Vergütung von 20 Jahren beträgt die Laufzeit der Fremdfinanzierung bis zu 18 Jahre. Häufig wird dem Initiator ein tilgungsfreies Jahr zur Verfügung gestellt. In diesem Tilgungsfreijahr werden Kapitaldienstreser-



Anlagenmerkmale	PV-Dachanlage + Batteriespeicher		PV-Dachanlage	
Anlagengröße				
PV-Anlage	9,8 kWp		9,8 kWp	
Batteriespeicher	9,6 kWh			
spezifischer Jahresertrag	900 kWh/kWp		900 kWh/kWp	
Planungszeitraum	20 Jahre + Erstjahr		20 Jahre + Erstjahr	
Investitionskosten und Finanzierung				
PV-Anlage	12.250,00 EUR		12.250,00 EUR	
Batteriespeicher	11.740,79 EUR			
Netzanschluss	999,99 EUR		999,99 EUR	
Summe	24.990,78 EUR		13.249,99 EUR	
Eigenkapitalanteil	10%	2.499,08 EUR	10%	1.325,00 EUR
Fremdkapitalanteil (Darlehen)	90%	22.491,71 EUR	90%	11.924,99 EUR
Laufzeit	20 Jahre		20 Jahre	
Tilgungsfreie Jahre	2		2	
Zinssatz nominal	2,50%		2,50%	
Auszahlung zu	100%		100%	
Wirtschaftliche Kennzahlen				
Eigenkapitalrendite	25,2 % p.a.		64,9 % p.a.	
Gesamtkapitalrendite	5,8 % p.a.		8,4 % p.a.	
Amortisationszeit (Eigenkapital)	ca. 5 Jahre		ca. 2 Jahre	
Stromgestehungskosten	15,74 ct/kWh		9,1 ct/kWh	

Tabelle 2: Wirtschaftlichkeitsberechnung

Stromproduktion Netzeinspeisung/Eigenverbrauch	PV-Dachanlage + Batteriespeicher		PV-Dachanlage	
	erstes volles Jahr	gesamte Laufzeit	erstes volles Jahr	gesamte Laufzeit
Stromproduktion gesamt	8.820 kWh	176.676 kWh	8.820 kWh	176.676 kWh
nach EEG vermarktete Strommenge	3.969 kWh	67.866 kWh	7.056 kWh	137.109 kWh
Eigenverbrauch	4.851 kWh	108.809 kWh	1.764 kWh	39.567 kWh
Einspeisevergütung nach EEG 2018**	12,2 ct / kWh	12,2 ct / kWh	12,2 ct / kWh	12,2 ct / kWh
Preisbasis für die Ersparnis durch Eigenversorgung	28,0 ct/kWh	35,0 ct/kWh*	28,0 ct/kWh	35,0 ct/kWh*

\*angenommene Strompreiserhöhung von 2,5 % p.a.

\*\* Dachanlagen bis 10 kWp

<b>Rückflüsse aus der Investition</b>				
EEG-Stromerträge	484,00 EUR	8.280,00 EUR	861,00 EUR	16.727,00 EUR
Ersparnis durch Eigenverbrauch	1.358,00 EUR	39.069,00 EUR	494,00 EUR	14.207,00 EUR
laufende Kosten (Rückstellungen für Wartung und Reparatur sowie Versicherung)	-119,00 EUR	-2.819,00 EUR	-119,00 EUR	-2.819,00 EUR
Kapitaldienst	-562,00 EUR	-29.049,00 EUR	-298,00 EUR	-15.402,00 EUR
<b>Rückfluss vor Steuern</b>	<b>1.161,00 EUR</b>	<b>15.481,00 EUR</b>	<b>938,00 EUR</b>	<b>12.713,00 EUR</b>
<b>Eigenversorgungs- oder Autarkiegrad bei einem Jahresenergiebedarf von 6500 kWh</b>	<b>81,60%</b>		<b>29,70%</b>	

Tabelle 3: Überblick über die Stromproduktion und die Rückflüsse aus der Investition



ven angespart, die einstrahlungsbedingte Erlösschwankungen im Projektverlauf ausgleichen sollen. Die Besicherung einer PV-Finanzierung erfolgt in der Regel durch Abtretung der Vergütung aus Stromeinspeisung, grundbuchliche Sicherung, Sicherungsübereignung der PV-Anlage, die Abtretung der Ansprüche aus den für den Betrieb der PV-Anlage relevanten Vertragswerken und gegebenenfalls Verpflichtung zur Bildung und Verpfändung von Reserven.

Die Prüfung von Fördermöglichkeiten und die Beantragung von öffentlichen Förderdarlehen des Bundes oder der Länder, die oftmals im Vergleich zur reinen Hausbankfinanzierung günstigere Zinskonditionen anbieten, erfolgt über die Hausbanken.

#### **KfW-Programm Erneuerbare Energien „Standard“ 270**

Gefördert werden Vorhaben zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung, zur kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) sowie Maßnahmen zur Integration erneuerbarer Energien in das Energiesystem.

Antragsberechtigt sind

- in- und ausländische private und öffentliche Unternehmen,
- Körperschaften des öffentlichen Rechts,
- kommunale Zweckverbände,
- Anstalten des öffentlichen Rechts mit eigener Rechtspersönlichkeit,
- Freiberufler,
- Landwirte,

- natürliche Personen,
- Vereine,
- Genossenschaften und
- rechtsfähige Stiftungen.

Natürliche Personen und gemeinnützige Antragsteller müssen einen Teil des erzeugten Stroms bzw. der erzeugten Wärme verkaufen. Gebrauchte Anlagen sind von der Förderung ausgeschlossen.

Bedingungen:

- bis zu 50 Mio EUR pro Vorhaben
- Finanzierung von bis zu 100 % der Investitionskosten
- Laufzeiten von 2 bis 20 Jahren möglich
- tilgungsfreie Anlaufzeit bis zu 3 Jahren

#### **KfW-Programm Erneuerbare Energien „Speicher“ 275**

Gefördert wird die Nutzung von stationären Batteriespeichersystemen in Verbindung mit einer PV-Anlage, die an das elektrische Netz angeschlossen ist, durch zinsgünstige Darlehen der KfW sowie durch Tilgungszuschüsse, die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) finanziert werden.

Antragsberechtigt sind

- in- und ausländische private Unternehmen,
- Unternehmen, an denen Kommunen, Kirchen, karitative Organisationen beteiligt sind,
- Freiberufler,
- natürliche Personen und

- gemeinnützige Antragsteller, die den mit einer PV-Anlage erzeugten Strom oder einen Teil davon einspeisen.

Bedingungen:

- PV-Anlage, die mit dem Batteriespeichersystem verbunden ist, darf max. 30 kWp Nennleistung haben
- max. Leistungsabgabe der PV-Anlage am Netzan-schlusspunkt beträgt 50 % der installierten Leistung
- Finanzierung von bis zu 100 % der Investitionskosten
- Laufzeiten von 2 bis 20 Jahren möglich
- tilgungsfreie Anlaufzeit bis zu 3 Jahren

### Landwirtschaftliche Rentenbank - Energie vom Land

Gefördert werden u.a. Investitionen von Unternehmen der Agrar- und Ernährungswirtschaft einschließlich Landwirten in die Erzeugung, Speicherung und Verteilung von erneuerbaren Energien sowie Investitionen in PV-Anlagen auf agrarwirtschaftlich oder ehemals agrarwirtschaftlich genutzten Gebäuden.

Antragsberechtigt sind kleine und mittlere Unternehmen der Energieerzeugung aller Rechtsformen.

Bedingungen:

- Kredite sollen je Kreditnehmer und Jahr 10 Mio EUR nicht übersteigen
- bis zu 100 % der Investitionskosten
- Laufzeiten von 4 bis 30 Jahren
- tilgungsfreie Anlaufzeit bis zu 3 Jahren
- Zinskonditionen aktuell ab 1,00 % p.a. gemäß risikogerechtem Zinssystem der KfW (Kombination aus Bonitäts- und Besicherungsklasse)

### EEG-Umlage

Das EEG stellt den energierechtlichen Rahmen für die Förderung von erneuerbaren Energien in Deutschland dar. Kernpunkte sind garantierte Einspeisevergütung, garantierter Anschluss an das Netz und bevorzugte Abnahme der Elektrizität durch den Netzbetreiber. Im EEG ist das energiepolitische Ziel festgeschrieben, schrittweise 80% der Stromversorgung aus erneuerbaren Energien bis 2050 zu erreichen. Die Kosten, die dem Netzbetreiber für die Vergütung der erneuerbaren Energien entstehen, werden abzüglich der Einnahmen aus deren Vermarktung auf die Endverbraucher umgelegt.

Gemäß § 60 EEG haben die Elektrizitätsversorgungsunternehmen für jede an Letztverbraucher gelieferte Kilowattstunde Strom eine EEG-Umlage an die Übertragungsnetzbetreiber zu entrichten. Darüber hinaus besteht gem. § 61 EEG eine Umlagepflicht für Eigenversorger und sonstige Letztverbraucher. Mit diesen Zahlungen soll die Differenz aus den Einnahmen und den Ausgaben der Übertragungsnetzbetreiber bei der EEG-Umsetzung nach § 3 Abs. 3 und 4 AusglMechV sowie § 6 AusglMechAV gedeckt werden.

Die EEG-Umlage für nicht privilegierten Letztverbraucherabsatz beträgt für das Jahr 2017 6,880 ct/kWh.

### Wer kann sich von der EEG-Umlage befreien lassen?

Stromintensive Unternehmen können eine Reduzierung der EEG-Umlage beantragen, um einen Wettbewerbsnachteil zu ausländischen Unternehmen auszugleichen (§§ 63 ff. EEG 2014).

Antragsberechtigt sind Unternehmen des produzierenden Gewerbes sowie Betreiber von Schienenbahnen. Bei Vorliegen der Voraussetzungen kann anstelle eines Unternehmens auch ein selbstständiger Unternehmensteil die Begrenzung der EEG-Umlage beantragen.

Die Unternehmen müssen im Antragsverfahren nachweisen, dass im letzten abgeschlossenen Geschäftsjahr

- mehr als 1 GWh Strom verbraucht wurde
- die Stromkostenintensität mindestens 16 % (Unternehmen nach Liste 1) bzw. mindestens 20 % (Unternehmen nach Liste 2) betrug
- ein alternatives System zur Verbesserung der Energieeffizienz betrieben wurde (§ 3 SpaEfV)
- ein zertifiziertes Energiemanagementsystem eingeführt oder betrieben wurde bzw. ein gültiger Eintragungs- oder Verlängerungsbescheid der EMAS-Registrierungsstelle (ab 5 GWh) vorlag
- die EEG-Umlage tatsächlich gezahlt wurde

Mit der Prüfung und Bewilligung der „Besonderen Ausgleichsregelung“ ist das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) betraut. Es entscheidet über die Anträge auf Begrenzung der EEG-Umlage auf der Basis der aktuell geltenden Gesetzeslage.

Die Antragstellung für die „Besondere Ausgleichsregelung des EEG“ ist an gesetzliche Ausschlussfristen gebunden. Sie lauten:

- 30. Juni eines jeden Jahres für den Regelantrag
- 30. September für neu gegründete Unternehmen

Die Anträge können ausschließlich in elektronischer Form über das Online-Portal ELAN K2 eingereicht werden.

### Einspeisevergütung

Die Einspeisevergütung ist ein staatliches Förderinstrument, welches den Ausbau der Erneuerbaren Energien voranbringen soll. Dabei wird dem Betreiber einer PV-Anlage über einen Zeitraum von 20 Jahren eine feste Vergütung für den eingespeisten Strom garantiert. Diese Einspeisevergütung ist abhängig von dem Zeitpunkt der Inbetriebnahme sowie von der Größe der maximalen Leistung einer Anlage. Die Einspeisevergütung wird bei jeder Novellierung des EEG neu definiert und hat sich in den vergangenen Jahren erheblich verringert.

Gleichzeitig sanken die Investitionskosten für PV-Anlagen, wodurch sich PV-Anlagen oft trotzdem als Investitionsobjekt lohnen.



Aufgrund der sinkenden Einspeisevergütung lohnt es sich immer mehr, den Strom selbst zu nutzen. Dadurch steigt auch der Bedarf an intelligenten Lösungen zur Nutzung des Solarstroms sowie der Bedarf an geeigneten Speichersystemen.

### 3.5 Montage / Inbetriebnahme / Netzanschluss

Das Inbetriebnahmeprotokoll gilt als Nachweis gegenüber dem Betreiber, dass die PV-Anlage betriebssicher und funktionsfähig ist. Bei der Inbetriebnahme wird die Anlage auf einen ordnungsgemäßen Aufbau hinsichtlich der anerkannten Regeln der Technik hin geprüft. Hierbei werden wichtige Anlagendaten dokumentiert und elektrische Messwerte aufgenommen. Die Dokumentation ist in der EN 62446 (VDE 0126-23) „Netzgekoppelte PV-Systeme – Mindestanforderungen an Systemdokumentation, Inbetriebnahmeprüfung und wiederkehrende Prüfungen“ (gültig bis 2019), VDE 0100 Teil 610 und BGV A2 Elektrische Anlagen und Betriebsmittel geregelt.

Nach dem EEG bedeutet die Inbetriebnahme die Herstellung der Betriebsbereitschaft der Anlage hinsichtlich der festen Installation der Module und deren Verbindung zum Wechselrichter am bestimmungsmäßigen Ort. Zusätzlich wird der Zeitpunkt und die Höhe der Einspeisevergütung bestimmt (siehe EEG 2012 §3 Abs. 5). Die Inbetriebsetzung ans öffentliche Netz kann später erfolgen.

**„Aufgrund der sinkenden Einspeisevergütung lohnt es sich immer mehr, den Strom selbst zu nutzen.“**

Ein Qualitätsnachweis bezüglich der Leistungsfähigkeit der PV-Anlage, die als Abnahme bezeichnet wird, wird durch Messungen vor Ort durchgeführt, die in einem Abnahmeprotokoll dokumentiert werden.

Beim Netzanschluss der PV-Anlage sind die allgemein anerkannten technischen Regeln und Richtlinien des Netzbetreibers zu berücksichtigen. Mit dem Netzbetreiber ist ein Einspeisevertrag abzuschließen. Dies übernimmt im Allgemeinen Ihr Solarfachmann für Sie.

#### Meldepflichten

„Betreiberinnen und Betreiber von PV-Anlagen (PV-Anlagen) sind nach dem EEG verpflichtet, der Bundesnetzagentur Standort und Leistung dieser Anlagen zu melden. Solange die PV-Anlage nicht registriert wurde, entfällt der Anspruch auf Auszahlung der finanziellen Förderung nach dem EEG.“

Eventuelle weitere Meldepflichten ergeben sich in Abhängigkeit von der Größe und Nutzung der Anlage.

Die Bundesnetzagentur stellt dazu ein Portal mit Ausfüllmasken und Erläuterungen zur Verfügung.

Über folgenden Shortlink erreichen Sie die Internetseite des Portals:

**[goo.gl/wsxWrp](https://goo.gl/wsxWrp)**

Ihr Solarfachmann oder Energieberater kann Sie bei der Erfüllung der Meldepflichten unterstützen.

# #4 ANLAGE LÄUFT!

**Wirtschaftlichkeit im Blick.**

- 4.1 Anlagenüberwachung
- 4.2 Wartung & Instandhaltung
- 4.3 Versicherungen
- 4.4 Nutzungsende

## 4.1 Anlagenüberwachung

Der erste Schritt zur Anlagenüberwachung ist die Erfassung der erzeugten Solarenergie. Die Daten liefert ein Stromzähler. Mit Smart-Metern (intelligente Stromzähler) kann sowohl der eigene Verbrauch als auch die Leistung der Solaranlage überwacht werden. Die Datenaufzeichnung erfolgt dann regelmäßig in einer Datenbank und kann mittels geeigneter Software ausgewertet werden, um z. B. Mindererträge festzustellen. Entsprechende Lösungen gibt es beispielsweise von den Firmen Solarautonomie, Voltcraft und Phoenix Contact.

Die weiterführende Anlagenüberwachung schließt den Wechselrichter ein, da sich hier die Schnittstelle von erzeugter elektrischer Leistung zum Verbrauchernetz befindet. Alle großen Wechselrichterhersteller bieten zusätzliche Komponenten und Anwendungen an, die eine Datenaufzeichnung und anschließende Datenvisualisierung sowie Anlagenüberwachung ermöglichen. Hiermit können Abweichungen vom Normalbetrieb identifiziert und der Betreiber z.B. per E-Mail über Fehler informiert werden.

Sobald Daten an die jeweiligen Webportale übertragen wurden, ist eine Visualisierung der Anlagendaten via App auf gängigen Tablets oder Smartphones möglich.

Nachfolgend sind Beispiele aufgeführt:

### SMA Sunny Home Manager:

Der Sunny Home Manager ist eine Lösung zur Überwachung und Steuerung aller Energieflüsse im Haushalt. Neben der Darstellung und Überwachung des Ertrags der PV-Anlage werden eine Reihe von Smart Home Funktionen bereitgestellt. Der Home Manager überwacht Energieverbräuche von verbundenen Haushaltgeräten (Waschmaschine, Geschirrspüler, Trockner) und kann diese über Funksteckdosen steuern. Über eine anlagenspezifische Wetterprognose kann hiermit auch der Eigenverbrauch optimiert werden.

### SMA Webconnect:

Bei der Verwendung von Webconnect im Wechselrichter, kann über diese Schnittstelle der Anlagenenergieertrag über eine entsprechende DSL-Verbindung an die Visualisierungsplattformen von SMA Sunny Places und Sunny Portal übertragen werden. Im Sunny Portal können Energieerträge, Wechselrichterperformance und weitere Anlagendaten überwacht werden. Mit Sunny Places kann ebenfalls ein Vergleich mit anderen Anlagenbetreibern erfolgen.



Abbildung 17 - Datenvisualisierung im Sunny Portal

### Fronius Datalogger easy / pro:

Der Datalogger wird am Wechselrichter angeschlossen, sammelt Daten und bereitet diese für die Weiterverarbeitung auf. Ähnlich zu SMA wird Visualisierungssoftware (Solar.access, Solar.TV, Solar.web App) angeboten.

### Kaco Powador-piccoLOG

Der Powador-piccoLOG ist eine kompakte und kostengünstige Kontroll- und Steuereinheit für PV-Anlagen bis 20 kWp und maximal drei Wechselrichter. Informationen zu Fehlern und Abweichungen vom Normalbetrieb erfolgen mit Statusleuchten und akustischen Signalen. Ebenfalls besteht die Option der grafischen Auswertung über eine Webplattform (Powador-web).

### SolarMax MaxWeb xp:

Der MaxWeb xp ist der Datalogger der Firma SolarMax. Es werden die aktuellen Messwerte, Ertragsdaten und Ereignisse aufgezeichnet und an das MaxWeb Portal übertragen. Fehler werden automatisch per E-Mail oder SMS gemeldet. Im Portal kann wiederum eine Visualisierung der Daten erfolgen.

Im einfachsten und günstigsten Fall können die Ertragswerte in regelmäßigen Abständen durch den Betreiber abgelesen und notiert sowie der Wechselrichter auf Fehlermeldungen überprüft werden. Hiermit können die Kosten für einen Datalogger gespart werden, die Regelmäßigkeit und die Informationsgrundlage bei Fehlfunktionen sind allerdings meist nicht zufriedenstellend.



## 4.2 Wartung & Instandhaltung

Eine PV-Anlage ist in der Regel wartungsarm. Bei ordnungsgemäßer Installation und unter der Voraussetzung, dass die Module keine Fertigungsfehler aufweisen, sind in den ersten Betriebsjahren Störungen oder Ausfälle unwahrscheinlich. Bei der Abnahme der Anlage sollte auf Installationsfehler (Montagefehler, Fehler bei der Leitungsverlegung, Klemmfehler, etc.) geachtet werden. Eine genaue Dokumentation des Zustands nach Inbetriebnahme ist nützlich, um zukünftige Fehler nachvollziehen zu können.

Trotzdem können langfristig Störungen und Fehler auftreten, die durch Anlagenüberwachung und regelmäßige Wartung frühzeitig erkannt und behoben werden können. Eine Wartungsroutine durch den Betreiber beziehungsweise die Installationsfirma kann dabei helfen, Störungen und längere Ausfallzeiten zu vermeiden. Hierzu sind im Idealfall den Betriebsanleitungen (vor allem für den Wechselrichter) Wartungsempfehlungen zu entnehmen. Die Störungsanzeige des Wechselrichters sollte täglich kontrolliert und Erträge monatlich dokumentiert werden. Eine regelmäßige (halbjährliche) Sichtprüfung der Module ist zu empfehlen.

Es sollte vor allem die Dichtigkeit und Unversehrtheit der Module geprüft werden. Vorhandene Verschmutzungen oder Verfärbungen (ggf. durch Hotspots, eindringende Feuchtigkeit) und mögliche Verspannungen in der Befestigung können so entdeckt werden. Insbesondere nach stärkeren Unwettern (Gewitter, Hagelschlag, Sturm) kann auch eine außerplanmäßige Prüfung sinnvoll sein. Dies gilt ebenso für das Montagesystem auf dem die Module befestigt sind.

Auch die Verkabelung und die Anschlüsse am Wechselrichter sollten regelmäßig auf äußere Schäden begutachtet werden.

Vor allem bei größeren gewerblichen Anlagen kann sich ein Wartungsvertrag lohnen, um Erträge zu sichern und den Betreiber zu entlasten. Folgende Punkte werden für den Vergleich von Wartungsverträgen empfohlen:

- Fernüberwachung
- Ereignisabhängige Sichtkontrolle (z.B. nach Sturm)
- Häufigkeit der Prüfung
- Umfang der Prüfung (Module, Wechselrichter, Verkabelung, Zähler, Montagesystem)
- Kosten für die Störungsbeseitigung
- Kosten für Austausch von Verbrauchsmaterialien
- Notdienst bei Teil- oder Totalausfall von Komponenten
- Protokollierung

Intervall	Komponente	Überprüfung
Täglich	Wechselrichter	• Störanzeige auslesen
Monatlich	Zähler	• Ertragsdokumentation
Halbjährlich (oder nach stärkeren Unwettern)	Module	• Verschmutzungen • Verfärbungen • Befestigung
	Verkabelung	• Steckverbindungen zu den Modulen prüfen • Unversehrtheit der Kabelmantel
	Wechselrichter	• Steckverbindungen prüfen
	Montagesystem	• Prüfungen von Klemm- und Schraubverbindungen • Prüfung auf Korrosionerscheinungen

Tabelle 4: Wartungsprüfungen und Instandhaltungsarbeiten

Sollten Mindererträge festgestellt werden ohne dass Schäden offensichtlich sind, ist eine weiterführende Fehleranalyse durch Fachbetriebe oder Sachverständige in Betracht zu ziehen. Diese besitzen das Equipment für eine Kennlinienmessung der Module, Thermografieuntersuchungen und weiterführende Verfahren zur Defektdiagnose.

Abhängig vom Standort und den Umgebungsbedingungen (Landwirtschaft, Straßenverkehr) sowie dem Neigungswinkel der Module (ab  $>12^\circ$  geht man von einer Selbstreinigung durch Niederschläge aus) kann eine regelmäßige Reinigung sinnvoll sein. Der Mehrertrag kann zwischen 2 und 7 % liegen. Die Kosten und der Aufwand für die Durchführung einer Reinigung sind von der Zugänglichkeit der Module abhängig. Auch hier bieten verschiedene Unternehmen entsprechende Dienstleistungen an, die individuell verglichen werden müssen.

## 4.3 Versicherungen

Die verschiedenen Versicherungen, welche durch eine PV-Anlage beeinflusst werden können, sollten zum Zeitpunkt der Installation der Anlage informiert werden. Des Weiteren kann schon im Vorfeld erfragt werden, welche Zusatzkosten durch Versicherungen auf den Betreiber zukommen. Lassen Sie sich bereits während der Planung über die verschiedenen Arten der Versicherungen und welche Schadensfälle abgedeckt sind, beraten.

- Gebäudeversicherung: Eine PV-Anlage führt bei einem Gebäude zu einer Wertsteigerung. Diese Wertsteigerung geht einher mit höheren Prämien, die der Versicherte dafür zahlen muss. Der Versicherer muss über die Installation einer Anlage informiert werden. Die Versicherung deckt in der Regel Schäden durch Feuer, Sturm, Hagel, Wasser und Blitz mit ab.

- **Haftpflichtversicherung:** Eine Haftpflichtversicherung deckt Schäden gegenüber Dritten ab. Diese würde demnach Schäden, beispielsweise durch herabfallende Module auf Autos oder Menschen, mit berücksichtigen. Ist bereits eine Gebäudehaftpflichtversicherung vorhanden, kann die PV-Anlage in diese aufgenommen werden.
- **Spezielle Versicherungen für PV-Anlagen:** Viele Versicherer bieten spezielle Versicherung für Solaranlagen an und decken damit mehr Versicherungsfälle ab als die beiden oben genannten Versicherungen beinhalten.

#### **4.4 Was passiert mit meinem Modul am Ende der Lebensdauer und Nutzung?**

Die Rücknahme von PV-Modulen ist in Deutschland durch das Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) geregelt. In der Regel können PV-Module am Ende der Laufzeit bzw. wenn sie sich nicht mehr lohnen und bereits die Garantiezeit der Hersteller überschritten haben, bei dem örtlichen Wertstoffhof abgegeben oder zu einem Recyclingunternehmen gebracht werden. Hier sollten Sie sich allerdings vorher informieren, ob der lokale Wertstoffhandel die Module annimmt.

Die PV CYCLE Deutschland GmbH beispielsweise bietet einen speziellen Service für Hersteller und Importeure von PV-Anlagen an. Hier gibt es spezielle Sammelstellen. Bei größeren Mengen anfallender PV-Module können diese auch abgeholt werden. Das setzt allerdings voraus, dass der Hersteller oder Importeur bei PV CYCLE angemeldet ist. Über die Abgabestellen informiert die Internetseite des Unternehmens.

## 4.5 Best Practice – Interview mit Dr. Jörg Müller

### Warum haben Sie sich für eine PV-Anlage entschieden?

Grundsätzlich ging der Anschaffung die Überlegung voraus, wie ich nachhaltige und saubere Energie erzeugen kann. Zudem war die Anlage eine wichtige Voraussetzung, damit mein Haus als Plus-Energie Haus anerkannt und entsprechend gefördert würde. Nicht zuletzt lohnt sich das Ganze auch finanziell, denn indem ich meinen eigenen Strom erzeuge, bin ich in gewisser Weise auch unabhängig von Stromlieferanten.

### Für welches System / welche Installationsart haben Sie sich entschieden?

Ich nutze den Strom der Anlage für die Eigenversorgung, dabei ist die Tiefkühltruhe über ein Lastmanagement gesteuert, alle anderen Geräte mit hohem Verbrauch, wie Waschmaschine oder Trockner, werden aber manuell betätigt. Einen Speicher habe ich nicht. Abgesehen von der Stromerzeugung nutze ich die Anlage außerdem für den Betrieb der elektrischen Heizungsanlage und des Durchlauferhitzers.

### Wann wird voraussichtlich die Amortisation erreicht?

Ich denke im Jahr 2020.

### Warum haben Sie sich für diese Hersteller entschieden?

Ich wollte Module aus lokaler Herstellung im Solar Valley. Dieser Modultyp war gerade verfügbar und hatte ein gutes Preis-Leistungs-Verhältnis.

### Wie sind ihre Erfahrungen bisher (sowohl positive als auch negative)?

Positiv ist, dass der Ertrag höher ist als ich erwartet hatte. Ärgerlich fand ich, dass es bei einigen Modulen bereits zu Glasbruch gekommen ist.

### Wie zufrieden sind Sie mit der Entscheidung / bzw. würden Sie sich wieder für eine PV-Anlage entscheiden?

Sehr zufrieden, ich würde mich jederzeit wieder für eine PV-Anlage entscheiden.

### Eckpunktdaten der Anlage:

Zeitpunkt der Inbetriebnahme:	Dezember 2011
Leistung PV-Anlage / Generatorfläche & Ausführungsform:	10.8 kWp, 120 Q-Smart 90 W UF
Montageart:	dachparallel auf Flachdach installiert, nicht integriert
Ausrichtung & Neigungswinkel:	180° (Süden), 0° (horizontal)
Modultechnologie & Wechselrichter:	Q-Smart (CIGS), Danfoss 10kVA
Energieertrag pro Jahr:	920 kWh/kWp
Gesamtverbrauch pro Jahr:	3000 kWh



## 4.6 Technische und wirtschaftliche Begriffserklärung

### Autarkie

Autarkie ist das Verhältnis von Zeiten ohne Strombezug aus dem öffentlichen Stromnetz zu Zeiten mit Netzbezug.

### Barwert

Der Barwert entspricht dem auf- bzw. abgezinste(n) Wert einer vergangenen bzw. zukünftigen Zahlung zum Zeitpunkt des Projektbeginns.

### Degradation

Degradation bedeutet eine Verringerung der Leistung im Laufe der Zeit. Die Degradation wird durch die Umweltbedingungen am jeweiligen Standort beeinflusst. Zum Beispiel kann Feuchtigkeit, welche in das Modul eindringt, in Kombination mit der UV-Strahlung der Sonne zu einer Alterung der Komponenten im Solarmodul führen. Dadurch kann sich der Wirkungsgrad verringern. Die Hersteller von Solarmodulen geben meist eine Staffelung der Degradation an. In den ersten 10 Jahren wird in der Regel ein Wirkungsgrad von 90 % und für die Jahre danach 80 % garantiert.

### EEG - Erneuerbare Energien Gesetz:

Das deutsche Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien regelt die bevorzugte Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Quellen ins Stromnetz und garantiert deren Erzeugern feste Einspeisevergütungen. Die entstehenden Kosten werden über die EEG-Umlage finanziert.

### EEG-Umlage

Mit der EEG-Umlage werden die Kosten, die aus der Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen entstehen, auf die Stromendverbraucher verteilt. Die Umlage ist Bestandteil der Energierechnung. Sie wird jährlich neu festgelegt. Die Höhe des Umlagebetrages ergibt sich aus dem Unterschied der Einnahmen und Ausgaben, die bei der Verwertung des EEG-Stroms aus erneuerbaren Energiequellen entstehen.

### Einspeisevergütung

Eine Einspeisevergütung ist eine staatlich festgelegte Vergütung von Strom, die bestimmte Arten der Stromerzeugung fördern soll. Im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) wird beispielsweise eine Einspeisevergütung für Strom aus Windkraft-, Solar, Wasserkraft-, Geothermie- und Biomasseanlagen festgesetzt, um damit die Energiewende zu beschleunigen.

### Eigenverbrauch

Eigenverbrauch ist das Verhältnis zwischen selbst genutztem PV-Strom zum ins öffentliche Stromnetz eingespeisten PV-Strom.

### Investitionskosten

Als Investitionskosten werden die Zahlungen zu Projektbeginn bezeichnet, welche durch Anschaffung (Anschaffungskosten) oder Herstellung (Herstellungskosten) anfallen.

### Lebensdauer

In der Regel wird eine Lebensdauer von 20-30 Jahren je nach Hersteller garantiert (Leistungsgarantie). Dabei gibt es eine Staffelung der Leistungsgarantie (siehe Degradation).

### Leistung unter STC

Die Angaben im Datenblatt eines Solarmoduls werden bei Standardtestbedingungen im Labor bestimmt (Standard Test Conditions = STC). Hierbei wird das Modul unter senkrechter Einstrahlung von  $1000 \text{ W/m}^2$ , einer Zelltemperatur von  $25^\circ\text{C}$  und einem Lichtspektrum AM1.5 elektrisch charakterisiert. In der STC-Messung wird die Kennlinie des Solarmoduls aufgenommen. Diese wird hauptsächlich durch drei Kennwerte charakterisiert:

- **Maximum Power Point (MPP):** Der Punkt der Kennlinie an dem das Modul mit maximaler Leistung arbeitet. Die zugehörige Leistung wird als PMPP, der Strom IMPP und die Spannung UMPP angegeben. Die MPP-Leistung erhält die Einheit Watt peak (Wp) und wird als Nennleistung angegeben.
- **Kurzschlussstrom (IK):** Ist der maximale Strom der fließt, wenn die Kontakte kurzgeschlossen werden.
- **Leerlaufspannung (UL):** Ist die Maximalspannung, die am unbelasteten Modul anliegt.

Die MPP-Leistung stellt nur bedingt ein Vergleichskriterium für die Modulauswahl dar, da im Betrieb die tatsächlichen Einstrahlungsbedingungen sowie das Temperatur- und Schwachlichtverhalten den Energieertrag beeinflussen.

### Maximale Systemspannung

Ist die maximale Spannung, die bei der Reihenschaltung der Module anliegen darf. Dieser Wert begrenzt, neben den Wechselrichterspezifikationen, die maximale Stringlänge.

### Nennbetriebszellentemperatur (NOCT)

Ein weiterer Kennwert, der im Datenblatt vermerkt ist, ist die Nennbetriebszellentemperatur (Nominal Operating Cell Temperature = NOCT). Diese wird unter einer Einstrahlung von  $800 \text{ W/m}^2$ , Modulneigung von  $45^\circ$ , einer Umgebungstemperatur von  $20^\circ\text{C}$  und einer Windgeschwindigkeit von  $1 \text{ m/s}$  im Leerlauf ermittelt. Die NOCT ist ein Richtwert für die Temperatur bei der das PV-Modul im Einsatz betrieben wird. Die wirkliche Betriebstemperatur wird jedoch durch Einbauart, Bestrahlungsstärke, Windgeschwindigkeit, Umgebungstemperatur sowie Reflexionen und Emissionen von Untergrund und Umgebung beeinflusst.

### Performance Ratio

Die Performance Ratio ist für Photovoltaikanlagen das Verhältnis zwischen dem nominellen Anlagenenertrag und dem tatsächlichen erreichten Ertrag. Der tatsächliche Ertrag wird am Einspeisezähler abgelesen (z.B. für 1 Jahr oder pro Monat). Der nominelle Anlagenenertrag wird errechnet aus der gemessenen Einstrahlung, der Größe der Anlage und dem Wirkungsgrad der Solarmodule bei STC-Bedingungen. Die Performance Ratio wird als Qualitätsfaktor herangezogen und sollte Werte zwischen 75 und 80% über das Jahr erreichen. Der Wert hat eine weitaus höhere Aussagekraft

im Vergleich zum Wirkungsgrad, da Verluste, die durch die Leitungen und Wechselrichter auftreten, sowie das tatsächliche Betriebsverhalten der Module in diesen Wert eingehen. Durch eine kontinuierliche Überprüfung der Performance Ratio können Fehler in einer PV-Anlage zuverlässig entdeckt werden.

### Projektlaufzeit

Die Projektlaufzeit entspricht dem betrachteten Zeitraum bei den Berechnungen der Wirtschaftlichkeit. Wenn diese nicht anderweitig bestimmt ist, wird üblicherweise von einer maximalen Laufzeit von 20 Jahren ausgegangen. Selbst wenn eine darüber hinausgehende Nutzungsdauer bei den PV-Modulen angegeben ist, können über einen solchen Zeitraum keine verlässlichen Aussagen darüber getroffen werden, ob die PV-Anlage noch nennenswert Strom produziert und wie hoch die dafür erforderlichen Instandhaltungskosten sind.

### Rendite/Rentabilität

Die Rendite bzw. Rentabilität eines Investitionsprojektes drückt die „Verzinsung“ des eingesetzten Kapitals (Kapitalrendite) aus. Für vollständig eigenfinanzierte Projekte ist auf die sogenannte Eigenkapitalrendite zu schauen, welche dem erzielten Gewinn im Verhältnis zum investierten Eigenkapital entspricht. Wenn zusätzlich Fremdkapital (z. B. Bankdarlehen) zur Finanzierung des Investitionsprojektes verwendet wird, ist der Gewinn (zzgl. Fremdkapitalzinsen) im Verhältnis zum Gesamtkapital (Gesamtkapitalrendite, engl. Return on Investment - ROI) zu betrachten. Je größer das Maß der Rentabilität, angegeben in Prozent, ist, desto profitabler ist das Projekt.

### Rückfluss (Cashflow)

Rückflüsse ergeben sich aus den während der Projektlaufzeit anfallenden (laufenden) Zahlungen und können je nachdem, ob die laufenden Einzahlungen oder die laufenden Auszahlungen überwiegen, positiv (Einzahlungsüberschuss) oder negativ (Auszahlungsüberschuss) sein.

### Rückstrombelastbarkeit

Ist ein Wert, der angibt, welche Ströme durch das PV-Modul fließen können, ohne dass bleibende Schäden auftreten. Rückströme entstehen nur, wenn ein Fehler im PV-Generator auftritt (z.B. Kurzschluss eines oder mehrerer Module), der dazu führt, dass die offene Klemmenspannung eines Modulstrings deutlich unter der offenen Klemmenspannung der anderen dazu parallelen Strings liegt. In diesem Fall fließt ein Rückstrom durch den fehlerhaften String. Dieser kann durch Erwärmung zu Sekundärschäden führen.

### Stromgestehungskosten

#### (engl. Levelized Cost of Electricity (LCOE))

Unter Stromgestehungskosten werden allgemein die Kosten der Stromerzeugung verstanden. Sie errechnen sich aus den voraussichtlichen Gesamtkosten des Investitionsprojektes (Bau, Finanzierung, Versicherungen, Reparaturen, Wartung, Zählermiete, Pacht) im Verhältnis zur voraussicht-

lich erzeugten Strommenge (kWh). Dabei werden sowohl die Kosten als auch die Produktionsmenge auf den Zeitwert (Barwert) abgezinst (diskontiert). Bei der Berechnung der Stromgestehungskosten ist die Finanzierungsstruktur des Projektes entscheidend. Diese wird durch den WACC-Ansatz erfasst.

### Temperaturkoeffizient

Die Leistung eines Solarmoduls ist von der Temperatur abhängig. Die erzeugte Spannung in den Solarzellen sinkt mit steigender Temperatur, während der Strom nur leicht zunimmt. In der Zertifizierung werden die Temperaturkoeffizienten für Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom gemessen und der Temperaturkoeffizient der Leistung über ein rechnerisches Verfahren nach IEC 60891 ermittelt. Die Höhe des Temperaturkoeffizienten ist von der Zelltechnologie abhängig. Der Temperaturkoeffizient der Leistung liegt bei kristallinen Solarzellen üblicherweise zwischen -0,4 und -0,45 %/K. Bei CdTe hingegen wird ein Wert von -0,2 %/K erreicht.

### Weighted Average Cost of Capital (WACC)

Die WACC sind als durchschnittliche Gesamtkapitalkosten zu verstehen, welche sich aus den gewichteten Eigen- und Fremdkapitalkosten ergeben. Zugleich stellen sie den Kalkulationszinssatz für die Diskontierung der Zukunftswerte bei der Barwertermittlung dar.

### Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad gibt an, welcher Anteil an Strahlungsenergie in elektrischen Strom umgewandelt wird. Er wird in Prozent angegeben und ist von der jeweiligen Art der verwendeten Solartechnologie abhängig. Der Wirkungsgrad wird aus MPP-Leistung, solarer Einstrahlung  $E$  und der Modulfläche  $A$  bestimmt:

$$\eta = \text{PMPP} / (A \cdot E)$$

In der Regel erreichen die Module einen Wirkungsgrad zwischen 15 % und 20 % und mehr. Der Wirkungsgrad sinkt, wenn nur noch schwaches Licht auf das Modul trifft. Das so genannte Schwachlichtverhalten eines Moduls wird bei 200 W/m<sup>2</sup> gemessen und ebenfalls in Prozent angegeben.

## 4.7 Danksagung

Wir bedanken uns für die inhaltliche Unterstützung bei Dr. Olaf Wollerheim von der Firma Solarwatt Innovation GmbH, Dr. Matthias Ebert, Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP, Mathias Zdzieblowski, TESVOLT GmbH, Ute Mann von der DKB Filiale Halle und Jan Wecke von der ASG Engineering GmbH Köthen. Für das Interview mit einem Einblick in die Entscheidung für eine private Nutzung einer PV-Anlage danken wir Herrn Dr. Jörg Müller.

**Herausgeber:**

Landesenergieagentur  
Sachsen-Anhalt GmbH

Olvenstedter Straße 4  
39108 Magdeburg

Telefon: 0391 567-2040  
Telefax: 0391 567-2033

HRB-Nr.: 18884

USTIDNr.: DE286800023

Amtsgericht Stendal

E-Mail: [lena@lena-lsa.de](mailto:lena@lena-lsa.de)

[www.lena.sachsen-anhalt.de](http://www.lena.sachsen-anhalt.de)

[www.facebook.com/lenagmbh](https://www.facebook.com/lenagmbh)

**Bildnachweise:**

Titel, Abb. 1 - fotolia.com, haitaucher39

Abb. 2, 8, S. 22 - fotolia.com, kange\_one

Abb. 3 - fotolia.com, zstock

Abb. 5 - fotolia.com, reimax16

Abb. 7 - solimpeks

Abb. 11 - TESVOLT

Abb. 12 - fotolia.com, OFC Pictures

Abb. 15 - fotolia.com, Patrik Winbjörk

