



Schwerpunkt:

Das kleine Solaranlagen 1x1

— 19

Erste Schritte zur eigenen PV-Anlage

Mit Tipps zur Ertragsabschätzung und Anlagenplanung, zur Bewertung von Angeboten und zur Wirtschaftlichkeit.

— 25

Welches Modul soll ich wählen?

Grundlagen-Infos zu Modultechnologien, Wechselrichtern, Speichern und besonderen Solaranlagen.

— 30

Wärmepumpen - ein geniales Prinzip!

Über die Funktionsweise von Wärmepumpen und was bei dem Einbau in Bestandsgebäuden zu beachten ist.

Der Solarbrief braucht EURE Hilfe.

Der Solarbrief ist ein kostenfreier Service des SFV - einem gemeinnützigen Verein. Damit das so bleibt, **brauchen wir Spenden und Mitglieder!** Denn die Erstellung dieses Magazins kostet jede Menge Geld.

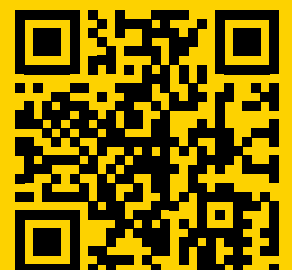


- **Analyse aktuelle Klimagesetzgebung**
- **Infos zu rechtlichen Neuerungen für Anlagenbetreiber:innen**
- **Spannende PV-Innovationen**
- **Wechselnde Schwerpunktthemen**



Online kostenlos für alle!

Spenden
[www.sfv.de/
mitmachen/spende](http://www.sfv.de/mitmachen/spende)



*Ob klein oder
groß, Ihr Beitrag
unterstützt*

Liebe Leserinnen und Leser,

mit unserem solarbetriebenen Bananenmilch-Mixer sind wir bereits in den 80er Jahren durch Deutschland getourt. Viele erfuhren damals erstmals von den technischen Möglichkeiten und ökologischen Chancen der blau glitzernden Sonnenplatten. Seither hat die Solarenergie einen großen Sprung nach vorne gemacht und ist mitten in der Gesellschaft angekommen. Entsprechend ist unsere Solaranlagen-Beratung gerade so gefragt wie nie.

Gesetzliche Veränderungen auf Bundes- und Landesebene oder auch lange Wartezeiten, bedingt durch Lieferengpässe sowie den Fachkräftemangel, lassen Investor:innen mit Fragezeichen zurück. Dabei ist der Weg zur eigenen Solaranlage relativ einfach, wenn die wesentlichen Schritte bekannt sind.

Mit dem "kleinen Solaranlagen 1x1" geben wir daher eine Hilfestellung an die Hand, die Einsteiger:innen auf dem Weg zur eigenen oder gemeinschaftlichen Solaranlage begleitet. In einfachen Häppchen gibt es Einführungsartikel zu Technik, Konzepten, Anleitungen und Checklisten. Für bereits bestehende Anlagenbesitzer:innen haben wir die jüngsten Neuerungen im EEG als Handreiche. Wer tieferen Lesestoff wünscht, wird bei Artikeln zu Wärmepumpen, Speichern oder Ü20-Anlagen fündig.

Wer ergänzend in den Austausch gehen möchte, findet unser Fachwissen von über 35 Jahren Anlageberatung auch in unseren offenen, digitalen Erstberatungsrunden. Hier bündeln wir monatlich Beratungsanfragen und besprechen die ersten Schritte zur eigenen Solaranlage in der Gruppe. Schön zu sehen, wie alle zusammen von den Fragen aus der Gruppe profitieren. Auf das Miteinander und den Austausch setzt auch unsere Kampagne »packsdrauf«. Auch hier gibt es jede Menge Möglichkeiten, sich auf einer Solarparty in der Nachbarschaft über die Solarenergie auszutauschen.

Nur einen Service können wir aktuell nicht leisten: Den Kugelblick in die angekündigten Neuerungen zur Entbürokratisierung und Beschleunigung der Solarenergie. Zwei Solarpakete sollen noch dieses Jahr beschlossen werden. Dazu veröffentlichte das Bundeswirtschaftsministeriums (BMWK) bereits Mitte März das Solarstrategiepapier, aus dem erste Ansätze deutlich werden. Die gute Nachricht: Viele unserer Vorschläge, die wir im Herbst letzten Jahres an das BMWK geschickt hatten, wurden aufgegriffen. Die schlechte Nachricht: Einige Vorschläge blieben ohne Reaktion. Der Diskussionsprozess ist also im vollen Gange und das eigentliche Gesetzgebungsverfahren steht noch bevor.

Daher haben wir diesen Solarbrief an den entsprechenden Stellen mit einer Infobox und einem QR-Code versehen. Sobald die Gesetzespakete verabschiedet sind, können die jüngsten Neuerungen zum Thema online aufgerufen werden.

Wir hoffen, Sie finden Gefallen an unserem Solaranlagen 1x1 und kennen vielleicht auch jemanden, die oder der sich über die Weitergabe Ihres Solarbrief-Exemplars freut. Vielen Dank für Ihr Interesse und Ihr Mitmachen.

Viele Grüße

Susanne Jung und das SFV-Team







Schwerpunkt

- 06
Die Königin der Erneuerbaren Energien!
— *Caroline Kray & Susanne Jung*
- 10
Solarenergie – So verändert sie unseren Wohnraum“
— *Kyra Schäfer*
- 12
Wie funktioniert Photovoltaik?
— *Konrad Mertens*
- 17
Basiswissen 1: Zelltechnologien
- 18
Das kleine SFV Solaranlagen 1x1 Teil 1
— *Taalke Wolf*
- 25
Basiswissen 2: Solarmodule
- 28
Welche Technik kommt aufs Dach: PV oder Solarthermie?
— *Taalke Wolf*
- 30
Wärmepumpen - ein geniales Prinzip!
— *Peter Klafka*
- 32
Basiswissen 3: Speicher
- 38
Das kleine SFV Solaranlagen 1x1 Teil 2
Organisatorische und rechtliche Aufgaben
— *Susanne Jung*
- 44
Checkliste: Do's and Don'ts PV-Anlage
— *Taalke Wolf*
- 46
Verbraucherschutz bei PV-Investitionen. —
Christina Bönning-Huber

- 48
Das kleine SFV Solaranlagen 1x1 Teil 3
Die Anlage ist auf dem Dach - Was steht nun an?
— *Susanne Jung & Tobias Otto*
- 51
Basiswissen 4: Wechselrichter
- 52
Die 7 häufigsten Fehler an Photovoltaikanlagen
— *Matthias Diehl*
- 56
11 Vorurteile gegenüber Photovoltaik
— *Taalke Wolf*
- 58
Das kleine SFV Solaranlagen 1x1 Teil 4
Alternativen zur Hausdachanlage
— *Susanne Jung & Tobias Otto*
- 62
Nachhaltigkeit und Recycling von PV-Modulen
— *Kyra Schäfer*
- 65
Ü20 Anlagen: Auch nach Auslauf der EEG-Förderung genug Power
— *Susanne Jung*
- 66
Dreht sich der Stromzähler bei PV-Produzenten schneller? Warum Rebound-Effekte bei Photovoltaik-anlagen relevant sind.
— *Jan Kegel & Julika Weiß*
- 70
Aus der Geschichte der Photovoltaik
— *Rüdiger Haude*
- 74
packsdrauf – Solarinfos von und für Nachbar:innen!
— *Taalke Wolf*
- 76
Kurz vorgestellt: Glasdach-PV
— *Kyra Schäfer & Anne Bussmann*



- 04
Wer ist eigentlich der Solarenergie-Förderverein ?
- 78
Aktuelles
- 79
SFV Termine: Vorträge und Infoveranstaltungen
- 80
Neues von den Infostellen
- 83
Ausblick

Wer ist eigentlich der Solarenergie-Förderverein ?

Viele kennen den SFV noch als den Verein, der das EEG mit der Idee der kostendeckenden Einspeisevergütung ins Leben gerufen hat. Heute arbeiten wir immer noch für die Energiewende. Aber was machen wir eigentlich genau? Hier stellen wir Euch unsere Arbeit vor.



Packsdrauf

Immer wieder organisieren wir Kampagnen, um die Energiewende schneller voran zu bringen. 2022 haben wir mit Scientists for Future Aachen und der Aachener Verbraucherzentrale **Packsdrauf** ins Leben gerufen. Was das ist? Quasi Tupperpartys für Photovoltaik-Anlagen.

Mehr Infos auf S. 74.

www.ertragsdatenbank.de

Solaranlagen-Beratung

Täglich von 9-13 Uhr stehen wir am Telefon und per Mail zur Verfügung und beantworten alle eintreffenden Photovoltaik-Fragen. Wenn der Andrang zu groß ist, beraten wir unsere Mitglieder vorrangig. Was wir nicht wissen, finden wir heraus! Neu sind auch unsere offenen Erstberatungen für PV-Interessierte.

www.sfv.de/solaranlagenberatung

Unsere Mitglieder

Ohne unsere Mitglieder wären wir nichts! Sie finanzieren seit fast 37 Jahren unsere Energiewende-Arbeit und machen die Anlagenberatung und alle politische Kampagnen erst möglich. Viele unserer Mitglieder stehen uns seit der ersten Stunde zur Seite. Und nach wie vor gilt: je mehr Leute uns unterstützen, desto mehr können wir erreichen!

www.sfv.de/mitmachen/mitglied-werden-1



[...] mehr Info

Alle Publikationen, aktuelle Termine oder Kontaktdaten:
www.sfv.de

Die älteste Datenbank für Solarstromerträge hat der SFV 1991 auf die Beine gestellt. 2022 wurde sie aktualisiert und um einige Funktionen erweitert. 18.000 Haushalte tragen ihre PV-Erträge ein. Warum das sinnvoll ist? Siehe S. 69.



www.ertragsdatenbank.de

PV-Erträge auslesen

Gesamt-Nennleistung (kWp)

215.74

Der Solarbrief

Unser Vereinsmagazin erscheint drei bis vier mal im Jahr – immer mit unterschiedlichen Schwerpunkt-Themen!

Er kann kostenfrei online heruntergeladen oder als Druckprodukt nach Hause bestellt werden.

www.sfv.de/publikationen/solarbriefe



Was ist neu im EEG 2023?

Vorträge & Bildungsarbeit

Wir halten regelmäßige Vorträge zur Solarenergie, Energiewende oder zu anderen energiepolitischen Themen. Gerade im Sommer kann man uns auch an Infoständen treffen – mit nützlichem, bunten Infomaterial!

www.sfv.de/aktuelles/termine

Druck machen!

Die Arbeit des SFV war schon immer hochpolitisch. Angefangen hat es mit der Idee der kostendeckenden Einspeisevergütung - die im ersten EEG umgesetzt wurde. Die erste Klimaklage ist ebenfalls auf unserem Mist gewachsen. Auch bei der Plakatkampagne #Klimawahl wurden wir bundesweit unterstützt. Im Alltag kommentieren wir regelmäßig Gesetzesentwürfe zur Energiewende, geben Inputs zu den Bauplänen für eine Energiewende bis spätestens 2030 und sind seit 2022 offiziell im Lobbyregister eingetragen.

www.sfv.de/arbeitsgebiete/energiepolitik

Die Infostellen

Die Bundesgeschäftsstelle in Aachen ist der erste Ansprechpartner für alle Themen. Außerdem gibt es fünf weitere regionale Infostellen: In Nordbayern, Amberg / Amberg Sulzbach, Ost-Münsterland, Koblenz und seit 2022 auch in Köln. Die Infostellen leisten ehrenamtlich einen großen Verdienst für die Energiewende und sind lokale Ansprechpartner für die Energiewende vor Ort. Mehr Infos auf S. 80.

www.sfv.de/verein/infostellen





Die Königin der Erneuerbaren Energien!

Die Sonne schickt uns täglich das 5.000 bis 10.000-fache des weltweiten Energiebedarfs! Ein gewaltiges Potenzial, das wir in Teilen schon nutzen: aktuell kommen 24 Prozent¹ unseres bundesweiten Stroms von der Sonne. Für die künftige Energieversorgung gehen wir davon aus, dass mindestens die Hälfte der Endenergie solar erzeugt wird. Glaubt man der Energy Watch Group-Studie, wird die Solarenergie weltweit mit fast 70 Prozent² sogar den Löwenanteil ausmachen - mit Windenergie als ihr größter Mitspieler. Doch die Zeit drängt!

— Caroline Kray & Susanne Jung

Das schlummernde Potenzial

Grob drei Viertel der bundesweiten Solarenergie (68 Gigawatt³) kommt aktuell von Anlagen auf unseren Dächern. Das verbleibende Viertel stammt von Freiflächenanlagen⁴. Da letztere zu Flächennutzungskonflikten führen können, suchen wir die Potenziale zunächst an anderen Stellen und werden fündig: Das naheliegendste Potenzial sind unsere Dächer. Prof. Dr. Volker Quaschning kommt zu dem Ergebnis, dass wir in Deutschland etwa 20 Prozent des gesamten heutigen Energiebedarfs (ca. 500 Terawattstunden⁵) alleine über Solaranlagen auf Einfamilienhäusern decken könnten. Voraussetzung ist, dass alle 16 Millionen Einfamilienhäuser mit einer Solaranlage ausgestattet werden. Hinzu kommt das Potenzial der Dächer von Mehrfamilienhäusern, öffentlichen Einrichtungen und Industriegebäuden. Unser Appell daher an alle: "Packen Sie Ihre Dächer voll und wecken Sie Ihren Teil des schlummernden Potenzials!" Zu Ihrer Unterstützung finden Sie auf Seite 19 die wichtigen Schritte zur eigenen Solaranlage, dazu auch eine Checkliste und die wichtigsten Dos and Don'ts auf Seite 44. Zudem in diesem Heft auf Seite 38: ein Artikel mit rechtlichen und steuerlichen Hinweisen und auf Seite 58 stellen wir Alternativen zur Hausdachanlage vor.

Weitere Potenziale zeigen sich unter dem Begriff "integrierte Photovoltaik". Damit sind alle PV-Anlagen gemeint, die sich entweder in die Hülle von Gebäuden, Verkehrswegen und Fahrzeugen oder aber in Agrar- und Wasserflächen einfügen. Konkret sprechen wir hier u.A. von Agri-PV. Das sind PV-Anlagen, die z.B. über oder seitlich an landwirtschaftlich oder gartenbaulich genutzten Flächen eingesetzt werden. Dabei erzeugen sie nicht nur Strom, sondern sorgen auch für Verschattung, Hagel- oder Windschutz, erhalten frucht-

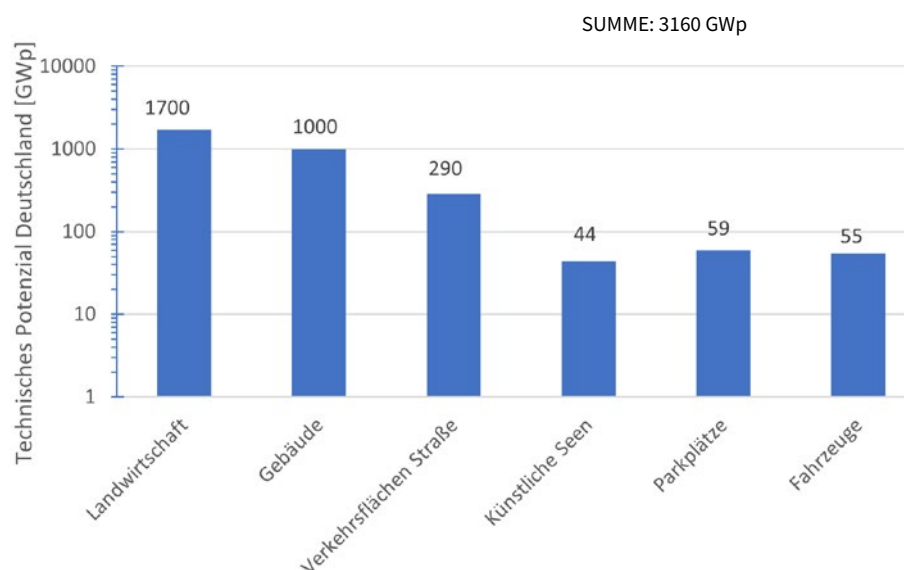


Abb 01 — Das technische Potenzial der Solarenergie unter Berücksichtigung integrierter Photovoltaik. Grafik: Eigene Darstellung auf Basis von Fraunhofer ISE-Daten •

bare Ackerflächen und sind ein weiteres finanzielles Standbein einer regionalen Landwirtschaft. Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) schätzt, dass in der Landwirtschaft ein technisches Potential von 1.700 Gigawatt Peak (GWp) mittels integrierter PV verborgen liegt. Bei Gebäuden sieht das ISE ein technisches Potenzial von ca. 1.000 GWp. Hier könnte PV, in Dächer und Fassaden integriert, architektonische Aufgaben wie Wärmedämmung, Wind- und Wetterschutz übernehmen. Parkplätze, Straßen, Schienen (359 GWp), PKW und LKW (55 GWp) sind weitere Anwendungsmöglichkeiten integrierter PV. Vorstellen dürfen wir uns hier ästhetisch in Fahrzeuge integrierte PV-Module, überdachte Fahrradparkplätze oder Lärmschutzwände an Autobahnen. Damit ersetzen sie nicht nur Baumaterialien, sondern spielen auch einen weiteren Vorteil aus: PV kommt bei ihrer Stromerzeugung fast ohne zusätzlichen Flächenverbrauch aus. In der Summe schätzt das ISE für integrierte PV ein technisches Potenzial von 3160 GWp⁶.

Solaranlagen sind also unglaublich vielfältig, was ihnen hilft, Nutzungskonflikte zu umgehen und Baumaterialien zu ersetzen. Damit finden sie neben den Dächern neue Einsatzgebiete, auf die wir uns freuen dürfen. Modultypen, die es heute schon gibt, stellen wir auf Seite 26 vor.

Treibende Innovationen und sinkende Preise

Der Blick auf die Kosten weckt erneut Begeisterung: Solarstrom ist inzwischen die preiswerteste Art der Stromerzeugung. Hat eine PV-Anlage im Jahr 2006 durchschnittlich noch 5.000 Euro/Kilowatt gekostet, sind es heute nur noch 1.400 Euro/Kilowatt⁷. Die Kosten sind seither also um über 70 Prozent gefallen. Vergleichen wir die Preise über das Jahr 2006 hinaus, ist der Preissturz sogar noch größer. Die Auslöser für diese Entwicklungen sind zum einen innovative Produktionsanlagen und Herstellungsprozesse von Solarzellen und Solarmodulen. Allein im Zeitraum von 2018 bis 2021 haben Produktionsanlagen ihren Durchsatz verdoppelt. Pro Stunde können mit einer Maschine bis zu 10.000 Solarzellen produziert werden⁸. Zum anderen sind die heutigen Solarmodule schon viel besser in der Lage, das eingehende Sonnenlicht in Strom umzuwandeln.

Wir sprechen hier vom Wirkungsgrad, der bei den aktuell verbreiteten kristallinen Solarmodulen bei 18 bis fast 23 Prozent⁹ liegt. Große Hoffnung setzt die Forschung auf die sogenannten Perowskit- oder Perowskit-Silizium-Tandem-Solarzellen. Damit könnte der Wirkungsgrad auf über 30 Prozent erhöht werden¹⁰. Auch in der Energiebilanz, den Materialkosten und der Automatisierung von Anlagen-Prozessen gibt es wichtige Fortschritte. Auf lange Sicht dürfen wir also davon ausgehen, dass Solarstrom immer effizienter und günstiger wird. Informationen zu Ihrer persönlichen Wirtschaftlichkeitsberechnung finden Sie auf Seite 21.

Ein Blick auf das ganze Ökosystem

Wie jeder Teil eines Ökosystems muss auch die Solarenergie mit verschiedenen Gebieten vernetzt betrachtet werden. Es gibt schattige Tage und Nächte. Entsprechend braucht die Solarenergie einen ausgetüftelten Mix mit Wind und anderen regenerativen Energien. Sonne und Wind werden den wesentlichen Anteil unserer künftigen Energieversorgung tragen. Biomasse, Geothermie, und Solarthermie werden auch eine Rolle spielen, sind in ihren Potenzialen jedoch begrenzt.

Dazu braucht es Speichersysteme, um Energie kurz- und langfristig speichern zu können. Außerdem erfordern 100 Prozent Erneuerbare Energie eine Elektrifizierung des Verkehrs und der Wärmegewinnung (Sektorkopplung). Halten wir an unseren Konsum- und Verhaltensmustern fest, steigt der Stromverbrauch dermaßen an, dass es unrealistisch wird, diesen Bedarf an Energie rechtzeitig klimaneutral zu decken. Somit gehören also auch ambitionierte Effizienz- und Einsparmaßnahmen zum Konzept von 100 Prozent Erneuerbaren Energien.

All diese Punkte sind auch bei der Planung der eigenen Solaranlage relevant. Daher finden Sie in diesem Heft ein Interview zum Thema Raumwärme durch Wärmepumpen sowie Grundlageninfos zum Thema Speicher und Recycling von Solaranlagen. Interessant ist auch ein Beitrag zum Thema "Rebound-Effekt durch PV-Anlagen". Erste Forschungsergebnisse machen nämlich darauf aufmerksam, dass Haushalte mit einer eigenen PV-Anlage einen Mehrver-



Abb 02 — PV in der Landwirtschaft erzeugt nicht nur Strom. Sie sorgt zusätzlich für Verschattung, Hagel- oder Windschutz, erhält fruchtbare Ackerfläche und ist ein weiteres finanzielles Standbein einer regionalen Landwirtschaft. •

brauch von Strom aufweisen¹¹. Ein Irrweg, der durch ein geschärftes Bewusstsein vermieden werden kann.

Der Blick auf das ganze Ökosystem legt auch das demokratische Herz¹² der Solarenergie frei. Dank Modularität und Dezentralität kann jede:r mitmachen. Wer klein einsteigen möchte, nutzt ein Balkonmodul, das kaum zwei Quadratmeter groß ist. Wer ein eigenes Dach hat, nutzt dieses und wer Schafe auf einer Freifläche darunter grasen lassen möchte - auch möglich! Wer keine geeignete Fläche für eine PV-Anlage besitzt, kann bei Mieterstromkonzepten oder einer Solargenossenschaft mitmachen. Alle Lösungen machen uns gemeinsam unabhängig vom Oligopol der Energiewirtschaft. Mehr zu den verschiedenen Beteiligungskonzepten finden Sie auf Seite 58.

Wettlauf mit der Zeit

Seit mehreren Jahrzehnten wissen wir um die Erderwärmung, ihre Konsequenzen und den Ausweg. Beginnend mit dem Jahr 1990 veröffentlicht der Weltklimarat (IPCC) alle fünf bis sechs Jahre den kompakten wissenschaftlichen Sachstand. So auch wieder im März 2023. Die Kernaussage: Der menschengemachte Klimawandel ist ein wissenschaftlicher Fakt. Um diesen Wandel einzubremsen, müssen wir alle Emissionen radikal auf Null senken. Jahr für Jahr wiederholen sich diese Aussagen und spielen uns vor, dass die Lage gleich bleibt. Dabei ändert sich ein entscheidender Faktor: Die Zeit, die uns noch bleibt.

500 Gigatonnen CO₂, so rechnet der IPCC, trennen uns (seit Anfang 2020 gerechnet) vor dem Überschreiten der 1,5°C Grenze mit einer 50%igen Wahrscheinlichkeit. Wenn wir global weitermachen wie bisher, werden wir diese gewaltige Menge zusätzlicher Treibhausgase bis 2030 emittiert haben.¹³ Aktuelle Tendenz: Die globalen Emissionen steigen mit jedem Jahr.¹⁴ Von der Kehrtwende zu Null-Emissionen sind wir also noch weit entfernt. Mit der Konsequenz, dass Wetterextreme die Risiken für unsere Gesundheit und unsere Ökosysteme erhöhen.

Nun verbleiben uns also noch etwa 7 Jahre, bis wir die 1,5° Grenze mit 50 Prozent Wahrscheinlichkeit überschreiten. 7 Jahre, um

unsere Emissionen weltweit in allen Sektoren auf mindestens die Hälfte zu reduzieren¹⁵. Im Sinne der Klimagerechtigkeit sind ökonomisch entwickelte Staaten, wie Deutschland, sogar aufgefordert, schon eher bei Null-Emissionen angekommen zu sein.

So weit die Theorie. Und was sagt die Realität? Unsere derzeit global geplanten Maßnahmen zur Emissionseinsparung reichen nicht aus und eine sofortige 1,5° C-konforme Kehrtwende gleicht einem Wunder! Zu utopisch ist es, dass die bestehenden Technologien schnell genug ausgerollt werden können. Noch utopischer ist es, dass es eine neue Technologie geben wird, die rechtzeitig einen relevanten Beitrag leisten kann. So schreibt der IPCC, dass die Erderwärmung wahrscheinlich noch im Laufe des 21. Jahrhunderts die 1,5° Grenze übersteigen wird.¹⁶ Den Wettlauf mit der Zeit haben wir bereits verloren.

Und was machen wir nun mit dieser Information? Nachlassen, weil wir ohnehin schon verloren haben? Nein! Denn für jedes Zehntel Grad ist es wert, zu kämpfen. Und somit spielen unsere Entscheidungen der nächsten Jahre weiterhin eine entscheidende Rolle für unsere Zukunft und die der kommenden Generationen. Jede neue Solaranlage ist ein Schritt in die richtige Richtung.

Zu den Quellen
und weitere Infos:



[www.sfv.de/
die-koenigin-der-
erneuerbaren-energien](http://www.sfv.de/die-koenigin-der-erneuerbaren-energien)

Caroline Kray

Diplom Betriebswirtin (BA)
mit den Schwerpunkten Dienstleistungsmanagement und Marketing. Seit Dezember 2018 unterstützt sie den SFV in der Öffentlichkeitsarbeit. Zudem engagiert sie sich beim Fachverband Pflanzenkohle und beim Forschungsprojekt „FYI: Landwirtschaft 5.0“.



Susanne Jung

Vorstand und Geschäftsführerin des SFV seit 2019, studierte Agrarwissenschaft an der HU Berlin mit Zusatz Umweltmanagement und -consulting. Seit 1994 ist sie für den SFV tätig.



Solarenergie

So verändert sie unseren Wohnraum

Die Solarenergie boomt, alle wollen sie für die Stromversorgung. Trotzdem wissen die meisten gar nicht, was man alles mit Solarenergie anstellen kann. In der Übersicht zeigen wir Ihnen, wo Photovoltaik zum Einsatz kommt und wie die Solarenergie auch dabei helfen kann, die eigene Wärmeversorgung nachhaltiger zu gestalten.

Photovoltaikanlage

Die klassische Dachanlage

Bei der Photovoltaik wird Lichtenergie in elektrische Energie umgewandelt. Eine PV-Dachanlage besteht meistens aus mehreren Solarmodulen mit je 300-400 Wp, die entweder als Aufdachanlage über ein Ständersystem auf das Dach montiert werden oder als sogenannte Indachanlage die Dachziegel ersetzen. Es gibt Solarmodule auch in unterschiedlichen Farben oder in Form von Mini-Solar-Dachziegeln, die das Erscheinungsbild eines Hauses kaum verändern. Sie sind insbesondere für Häuser mit Denkmalschutz interessant. Zu einer PV-Anlage gehört immer auch ein Wechselrichter, der den entstandenen Gleichstrom in netztypischen Wechselstrom umwandelt. Pro installierte kWp Leistung entstehen bei klassischen PV-Anlagen in Deutschland durchschnittlich 900-1000 kWh Strom pro Jahr.

Mehr dazu auf Seite 19

Besondere PV-Anlagen

Solargartenzaun, Glasdach und Fassadenanlage

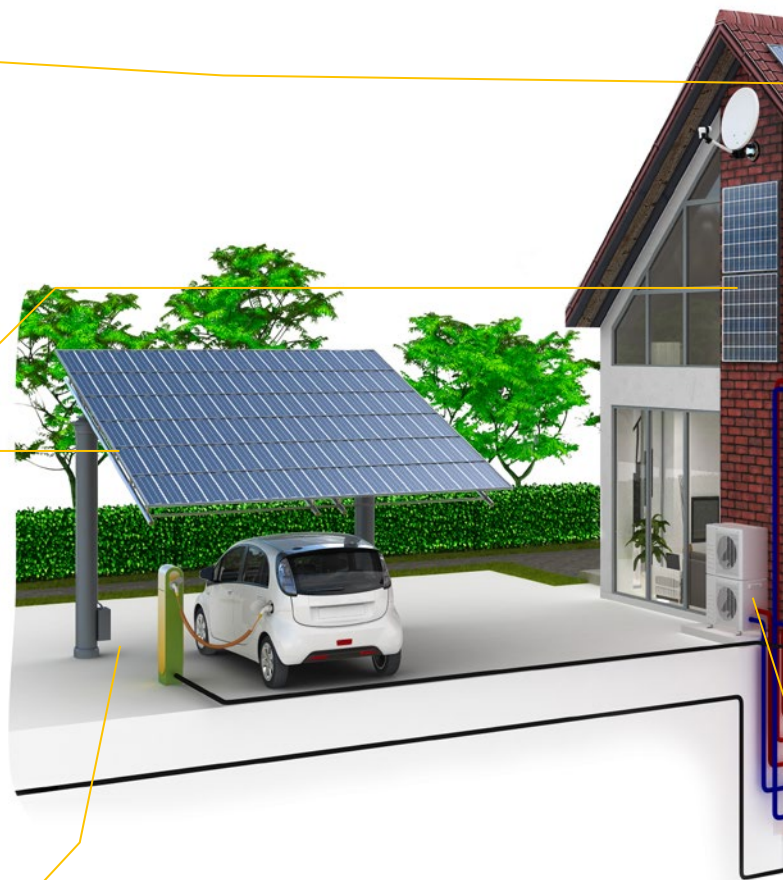
Solange die Module ausreichend Licht abbekommen und nicht von Bäumen oder anderen Häusern verschattet sind, kann eine PV-Anlage auch vertikal an Hauswänden (Fassaden-Photovoltaik) oder Balkonen montiert werden (Stecker- / Balkonsolar). Im Winter können die vertikal montierten Module das niedrig stehende Licht besonders gut auffangen. Darüber hinaus gibt es auch Solar-Gartenzäune. Wer einen Carport oder Garagendächer besitzt, kann diese ebenfalls mit Modulen ausstatten – Flachdächer sind gut geeignet! Für den Wintergarten oder die Terrasse bieten sich halbtransparente Glas-Glas-Module an, die sowohl Licht durchlassen, als auch Strom erzeugen.

Mehr dazu auf Seite 27

Elektroauto

Vielleicht bald mit integrierter Photovoltaik

Elektroautos bieten nicht nur die Möglichkeit, einen weiteren Verbraucher von fossiler Energie zu elektrifizieren. In Zukunft werden die Außenflächen der Autos auch direkt zur Stromproduktion eingesetzt: dank integrierter Photovoltaik. In herkömmlichen Elektroautos sind wesentlich größere Batteriespeicher verbaut, als in üblichen Heimspeichersystemen. Überschüssiger Solarstrom kann direkt in die Autobatterie fließen. Mit bidirektionaler Ladetechnik wird künftig ein Elektroauto umgekehrt auch zum Stromversorger des Hauses bei Nacht. An die Ladeinfrastruktur sollte beim Bau einer PV-Anlage bereits gedacht werden.



Solarthermie

Warmwasser und Heizung mit Solarenergie

Bei der Solarthermie-Anlage wird die Wärme der Sonnenstrahlen für Warmwasser und Heizung verwendet. Solarthermie-Anlagen bestehen aus flachen oder röhrenförmigen Sonnenkollektoren, die den PV-Modulen sehr ähnlich sehen. Unter der Glasoberfläche sind schwarze Absorberflächen integriert, die Sonnenwärme aufnehmen und an eine Flüssigkeit in einem Rohrleitungssystem weitergeben. Die warme Flüssigkeit wird im Haus in einen Wasserspeicher gepumpt, erhitzt dort das Wasser und wird dann je nach Bedarf zur Warmwasserversorgung und zu Heizzwecken genutzt. Dabei deckt die Solarthermieanlage nur einen Teil des Warmwasserbedarfs - gerade in der kalten Jahreszeit fehlt die notwendige Sonnenwärme.

Mehr dazu auf Seite 28

Batteriespeicher

Solarstrom speichern, Autarkiegrad erhöhen

Viele Solarteure:innen empfehlen beim Kauf einer PV-Anlage einen Batteriespeicher. Damit lässt sich der PV-Strom auch dann verwenden, wenn die Sonne nicht scheint, zum Beispiel nachts. So kann man sich für 1-2 Nächte mit dem eigenen Sonnenstrom versorgen. Während ohne Speicher durchschnittlich 30 Prozent des Stroms der PV-Anlage im Eigenverbrauch genutzt werden, erhöht sich die sogenannte Autarkiequote durch den Speicher auf 60-70 Prozent. Auch wenn sich so die Menge des zugekauften Stroms reduziert, ist ein Batteriespeicher oft wirtschaftlich nicht rentabel, da die Anschaffungskosten noch sehr hoch sind.

Aus ökologischer Sicht sind die meisten Batteriespeicher zurzeit aufgrund des Abbaus der nötigen Ressourcen und der Produktion noch problematisch. Besser wäre es deshalb, in Zukunft auf größere Quartierspeicher zu setzen, die den Strom aus einem gesamten Wohnviertel speichern oder die Autobatterie direkt zur Stromversorgung zu nutzen.

Mehr dazu auf Seite 36

Notstromfähige PV-Anlage?

Was tun bei Netzausfall?

Die meisten Photovoltaikanlagen sind netzgekoppelte Anlagen. Das heißt: Der Strom, den der Haushalt nicht verbraucht, wird in das öffentliche Stromnetz eingespeist und vergütet. Fehlender Strom wird aus dem Netz eingekauft. Was viele nicht wissen: Fällt das Stromnetz aus, kann auch die Solaranlage keinen Strom erzeugen, da sich der Wechselrichter ohne Netzspannung aus Sicherheitsgründen abschaltet. Damit die Solaranlage auch ohne Netz funktioniert, muss der Wechselrichter mit einer Notstromfunktion ausgestattet sein. Somit kann die PV-Anlage auch bei Netzausfall entweder bestimmte Stromkreise (Notstrom) oder das gesamte Gebäude (Ersatzstrom) versorgen. Ein zusätzlicher Batteriespeicher kann Spitzenlasten abfangen und auch bei Dunkelheit weiter Strom liefern.

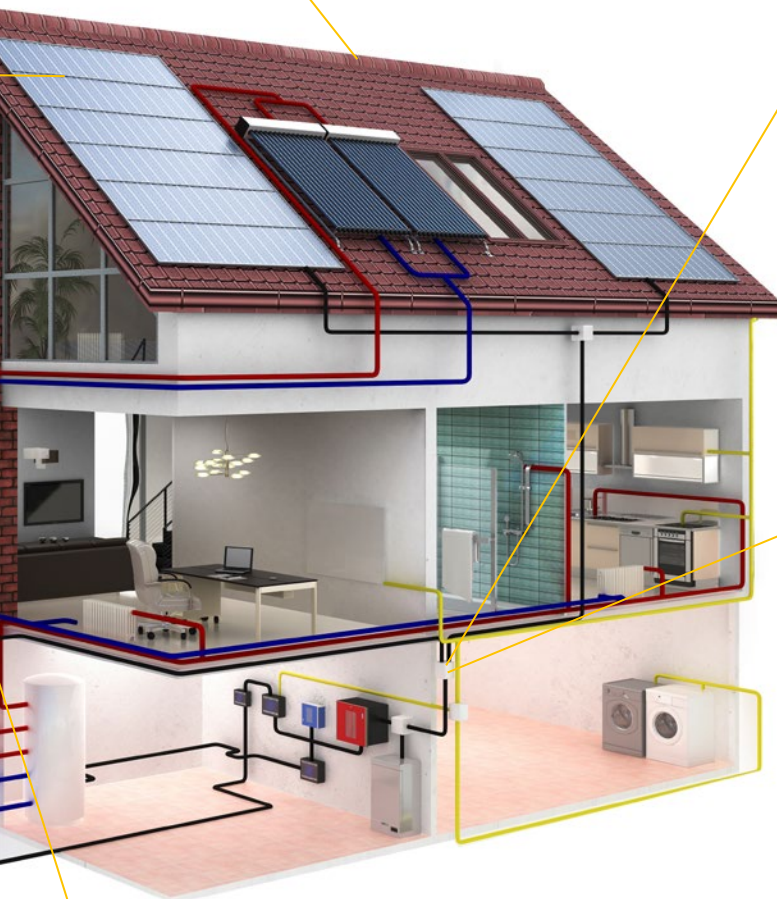
Mehr dazu auf Seite 37

Wärmepumpe

Warmes Wasser und Heizung mit Solarstrom

Man kann den Solarstrom aus der PV-Anlage auch dafür verwenden, eine Wärmepumpe zu betreiben. Die Wärmepumpe entnimmt der Umwelt Energie in Form von Wärme. Die Wärmequelle kann aus der Luft, der Erde oder Wasser kommen. Der Strom wird dazu benötigt, das Trägermedium im Wärmekreislauf der Wärmepumpe von außen ins Haus und wieder nach außen zu pumpen: Ein Kühlschrankprinzip, nur umgekehrt. Ein Pufferspeicher ermöglicht es, das Warmwasser zu speichern, sodass es auch nachts verwendet werden kann, wenn die Solaranlage keinen Strom liefert. Im Winter, wenn die PV-Erträge niedrig sind, ist es in der Regel aber nicht möglich, die Wärmepumpe autark mit Solarstrom zu betreiben.

Mehr dazu auf Seite 30





Wie funktioniert Photovoltaik?

Wussten Sie, dass die erste PV-Zelle gerade mal einen Wirkungsgrad von 1% hatte? Kennen Sie die verschiedenen Modul- und Zelltypen? Und wie genau ist eine PV-Anlage aufgebaut? Was ist Energie eigentlich, und wie entsteht aus Licht Solarstrom? In diesem Artikel gehen wir nochmal ganz zum Anfang. Unser Vorstandsmitglied Konrad Mertens, Professor für Photovoltaik, erklärt uns die Grundzüge der Solarenergie.

— Konrad Mertens

Das Thema Energie durchzieht heutzutage unser gesamtes Leben: im Alltag beim Wasser kochen, bei der Nutzung der Spülmaschine, beim Fahren mit dem Auto oder beim gemütlichen Fernsehabend. Ähnlich ist es in den globalen Zusammenhängen: ohne ausreichend verfügbare Energie würden unsere und die Volkswirtschaften weltweit zusammenbrechen. Gleichzeitig wächst die Erkenntnis, dass die bisherige Art der Energieversorgung teilweise unsicher, umweltschädlich und nur begrenzt verfügbar ist. Die Energiewende ist bereits voll im Gange und eine bedeutende Rolle darin spielt die Photovoltaik. Daher lohnt es sich, das Thema Solarstrom einmal genauer zu betrachten.

Wie entsteht aus Licht Solarstrom?

Zunächst stellt sich die Frage, was der Ausdruck „Photovoltaik“ überhaupt bedeutet. Der Begriff Photovoltaik ist eine Zusammensetzung aus dem griechischen Wort *phós, phōtós* (Licht, des Lichtes) und dem Namen des italienischen Physikers Alessandro Volta (1745–1825). Dieser erfand die erste funktionsfähige elektrochemische Batterie;

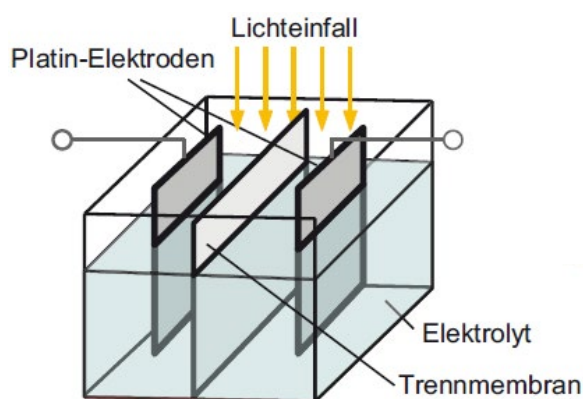


Abb 01 — Versuchsaufbau von Becquerel •

ihm zu Ehren wurde die Einheit der elektrischen Spannung als Volt benannt. Eine Übersetzung des Wortes Photovoltaik könnte daher heißen Lichtbatterie oder auch Lichtenergiequelle. Allgemeiner definieren wir, dass der Ausdruck Photovoltaik die direkte Umwandlung von Sonnenlicht in elektrische Energie beschreibt.

Im Jahr 1839 entdeckte der französische Wissenschaftler

Alexandre Edmond Becquerel bei elektrochemischen Experimenten den photoelektrischen Effekt. Er steckte zwei beschichtete Platinelektroden in einen Behälter mit einem Elektrolyten und bestimmte den zwischen den Elektroden fließenden Strom (siehe Bild 1.4a). Becquerel stellte fest, dass sich die Stromstärke bei Bestrahlung des Behälters mit Licht veränderte. In diesem Fall handelte es sich um den äußeren Photoeffekt, bei dem Elektronen unter Lichteinfluss aus einem Festkörper austreten.

Drei Jahre später fanden die Engländer William Adams und Richard Day heraus, dass ein mit Platinelektroden versehener Selenstab elektrische Energie produzieren kann, wenn man ihn dem Licht aussetzt. Damit wurde zum ersten Mal der Beweis erbracht, dass ein Festkörper Lichtenergie direkt in elektrische Energie umwandeln kann. 1883 baute der New Yorker Erfinder Charles Fritts ein kleines „Modul“ aus Selenzellen mit einer Fläche von ca. 30 cm², das immerhin einen Wirkungsgrad von knapp 1 % aufwies. In den folgenden Jahren konnten die physikalischen Hintergründe des Photoeffekts immer besser erklärt werden, unter anderem durch Albert Einstein, der seine Lichtquantenhypothese im Jahr 1905 vorstellte.

Die ersten „echten“ Solarzellen wurden dann in den legendären Bell-Labs von Daryl Chapin, Calvin Fuller und Gerald Pearson gebaut. Die Silizium-Zellen hatten anfangs nur eine Fläche von 2 cm². Die beste Zelle erreichte immerhin einen Wirkungsgrad von bis zu 6 %. Die New York Times brachte das Ereignis am nächsten Tag auf der Titelseite und versprach den Lesern „die Erfüllung eines der größten Wünsche der Menschheit – der Nutzung der fast unbegrenzten Energie der Sonne“. Heute liegen die Wirkungsgrade von Solarmodulen bei über 20 %. *Anm. d. Redaktion: Mehr über die Geschichte der Photovoltaik können Sie auf Seite 70 erfahren.*

Wie funktionieren Solarzellen und Solarmodule?

Der Grundbaustein jeder Photovoltaikanlage ist die Solarzelle. Diese besteht in den allermeisten Fällen aus Silizium, einem Halbleiter, der auch für Dioden, Transistoren und Computerchips verwendet wird. Durch Einbau von Fremdatomen (Dotierung) wird in der Zelle ein sogenannter pn-Übergang erzeugt, der ein elektrisches Feld in den Kristall „einbaut“ (p=positiv, n=negativ). Fällt Licht auf die Solarzelle, so werden Ladungsträger aus den Kristallbindungen gelöst und durch das elektrische Feld zu den äußeren Kontakten befördert. Als

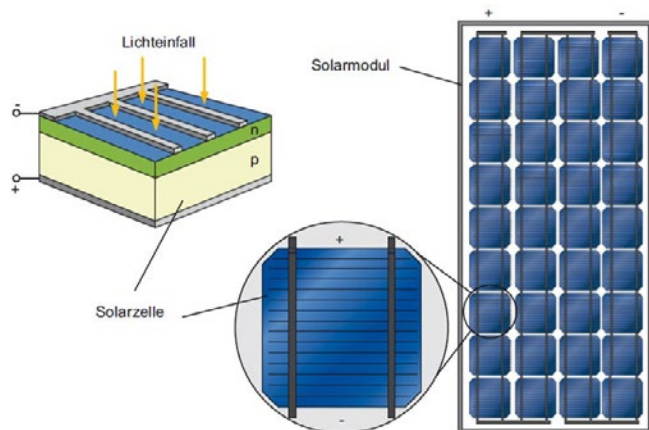


Abb 03 — Solarzelle und Solarmodule als Grundbausteine der Photovoltaik •



Physikalische Fachbegriffe

Energie, Leistung, Widerstand?

In der längeren Version des Artikels erklärt Konrad Mertens genau, was sich hinter potentieller und kinetischer Energie, Sekundär- und Primärenergie, Arbeit, Widerstand, sowie Leistung und Einheiten wie Terra-, Mega- und Kilowatt verbirgt.



www.sfv.de/wie-funktioniert-photovoltaik

Folge entsteht an den Kontakten der Solarzelle eine Spannung von etwa 0,5 Volt. Der abgegebene Strom variiert je nach Einstrahlung und Zellenfläche und liegt zwischen 0 und z.B. 10 Ampere.

Um auf gut nutzbare Spannungen im Bereich von z.B. 50 Volt zu kommen, schaltet man viele Zellen in einem Solarmodul in Reihe. Außerdem werden die Solarzellen in dem Modul mechanisch geschützt und gegen Umwelteinflüsse (z.B. das Eindringen von Feuchtigkeit) versiegelt.

Wie funktioniert die Modulherstellung?

Um Solarzellen zur Stromversorgung handhabbar zu machen, werden sie in Solarmodule integriert. Abbildung 04 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Glas-Folien-Solarmoduls. Die einzelnen Zellen werden durch verzinnte Kupferstreifen zu einem Zellstring elektrisch in Serie geschaltet (statt String ist auch die deutsche Bezeichnung Strang üblich). Diesen String bettet man ein in zwei Folien aus Ethyl-Vinyl-Acetat (EVA), einem transparenten Kunststoff. Den Abschluss bildet auf der Oberseite eine ca. 4 mm starke Glasscheibe und auf der Unterseite eine Rückseitenfolie.

Dieses Sandwich wird dann in einem sogenannten Laminator unter Vakuum bis auf 150 °C erhitzt. Das EVA-Material weicht hierdurch auf, umfließt die Zellen und härtet schließlich aus. Die Rückseitenfolie dient dem Schutz vor eindringender Feuchtigkeit und stellt außerdem einen elektrischen Isolator dar. Sie ist als Verbundfolie aus Polyvinylfluorid und Polyester aufgebaut und wird meist als Tedlar-Folie bezeichnet, dem Handelsnamen der Firma DuPont. Bevor der Modulrahmen aus Aluminium aufgebracht wird, muss der Modulrand (z.B. durch spezielles Klebeband) versiegelt werden.

Eine Alternative zum Glas-Folien-Modul ist das Glas-Glas-

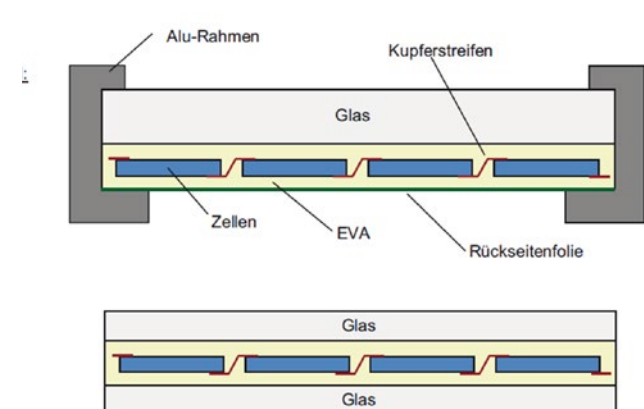
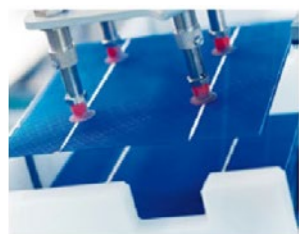


Abb 04 — Aufbau eines Glas-Folien-Moduls (oben) sowie eines Glas-Glas-Moduls (unten) •



Aufnahme der Zellen



Transport der Zellen



Verlötung zu Zellstrings



Ablegen der Zellstrings



Zufuhr zum Laminator



Montage der Modulrahmen

Abb 05 — 9 Fertigungsschritte zur Herstellung eines Solarmoduls
(Fotos: Solar-Fabrik AG) •

Modul. Dieses wird aus architektonischen Gründen gern für Fassaden oder zur Dachintegration verwendet. Die zweite Glasscheibe dient zur Erhöhung der mechanischen Stabilität, da kein Metallrahmen vorhanden ist. In den letzten Jahren gibt es einen neuen Trend hin zu Glas-Glas-Modulen. Dies liegt daran, dass inzwischen sehr stabile Glasscheiben mit nur 2 mm Dicke verfügbar sind. Somit wird das Glas-Glas-Modul nicht schwerer als ein herkömmliches Modul mit 4 mm dicker Frontseite. Gleichzeitig weisen die Module eine Reihe von Vorteilen auf. So sorgt die rückseitige Glasscheibe für eine dampfdichte und unempfindliche Versiegelung des Moduls. Da die Zellen außerdem symmetrisch zwischen den Glasscheiben samt EVA-Folien eingepackt sind, führen Durchbiegungen seltener zu Zellbrüchen. Manche Hersteller sind so überzeugt von den Vorteilen der Glas-Glas-Module, dass sie ihre Leistungsgarantie auf diese „Qualitätsmodule“ von 25 auf 30 Jahre verlängert haben.

In Abbildung 05 sind die einzelnen Schritte zur Herstellung eines Solarmoduls dargestellt. Die Fertigung erfolgt inzwischen durchgehend automatisiert.

Wie ist eine typische Anlage aufgebaut?

Abbildung 06 zeigt den Aufbau einer klassischen, in Deutschland lange Zeit üblichen netzgekoppelten Anlage. Mehrere Solarmodule werden zu einem Strang (String) in Reihe geschaltet und an einen Wechselrichter angeschlossen. Der Wechselrichter wandelt den von den Modulen gelieferten Gleichstrom in Wechselstrom um und speist ihn in das öffentliche Netz ein. Zur korrekten Vergütung des erzeugten Stroms misst ein Einspeisezähler die erzeugte Energiemenge.

Getrennt davon ermittelt der Verbrauchszähler den Stromverbrauch im Haushalt. Finanziert wird die Anlage auf der Grundlage des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG). Dieses garantiert, dass der eingespeiste Strom über 20 Jahre zu einem festgesetzten Preis vom Netzbetreiber vergütet wird. Der Anlagenbesitzer wird damit gewissermaßen zum Kraftwerksbetreiber.

Heute gebaute Solarstromanlagen sehen mittlerweile anders aus, da typischerweise ein Teil des erzeugten Stroms im Haus selbst verbraucht wird (sogenannter „Eigenverbrauch“). In diesem Fall wird nur der überschüssige Solarstrom ins Netz eingespeist.

Welche Komponenten gehören noch zu einer Photovoltaikanlage?

Zusätzlich zum Wechselrichter werden immer mehr Solarstromanlagen mit einem Stromspeicher ausgestattet. Beispielhaft zeigt Abb 08 den Aufbau einer PV-Anlage mit entsprechenden Hausverbrauchern. Den prinzipiellen Aufbau einer netzgekoppelten Photovoltaikanlage mit Solarstromspeicher zeigt Abb 08. Der erzeugte Solarstrom kann ins öffentliche Netz eingespeist, im Haus verbraucht oder in der Batterie gespeichert werden. Damit steht er zu einem späteren Zeitpunkt für die Hausverbraucher zur Verfügung.

Im Fall einer DC-Kopplung (Gleichstromkopplung) des Speichers (Abb 08a) wird die Batterie über einen Laderegler und einen Gleichstrom-Wandler zur Spannungsanpassung direkt an die Gleichstromleitung des Solargenerators angeschlossen. Die vom Solargenerator gelieferte Energie kann so unmittelbar die Batterie laden. Eine Alternative zeigt Abb 08b: Bei der AC-Kopplung (Wechselstromkopplung) erfolgt die Übergabe der Energie erst auf der Wechselstromseite.

Zum Laden der Batterie wird zunächst der Gleichstrom in

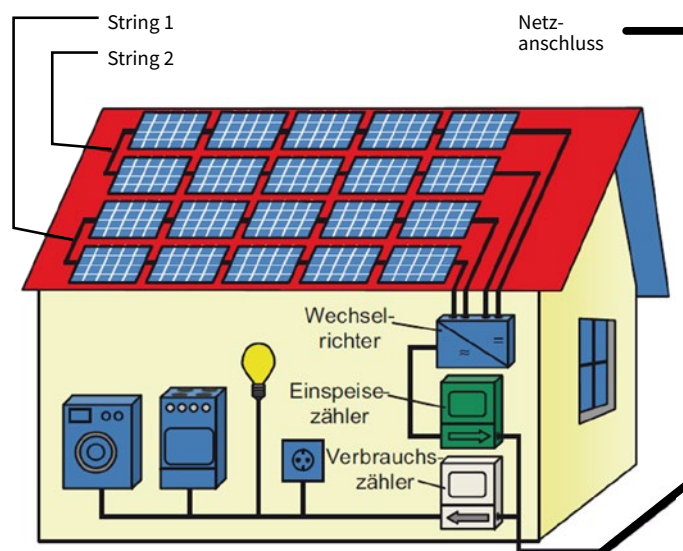
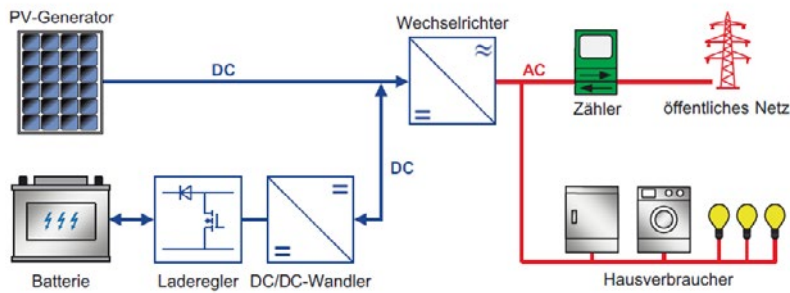


Abb 06 — Aufbau einer typischen netzgekoppelten PV-Anlage •

a) DC-Kopplung



b) AC-Kopplung

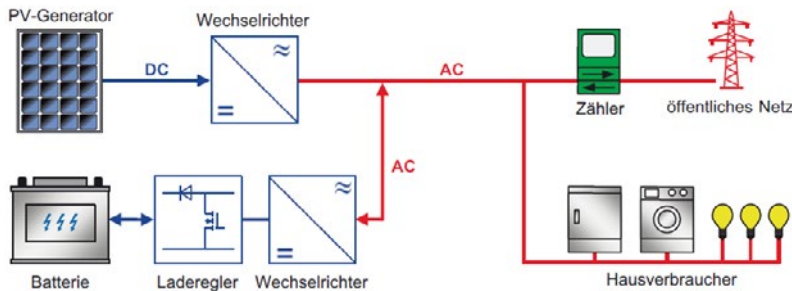


Abb 08 — Prinzipieller Aufbau einer netzgekoppelten Photovoltaikanlage mit Batteriespeicher: a) DC-Kopplung, b) AC-Kopplung •

Wechselstrom und schließlich wieder in Gleichstrom gewandelt. Das führt tendenziell zu höheren Verlusten; dies fällt allerdings bei den hohen Wirkungsgraden moderner Wechselrichter kaum ins Gewicht. Wichtiger ist der Hauptvorteil der AC-Kopplung: Das Speichersystem kann auch bei bestehenden Photovoltaikanlagen jederzeit nachgerüstet und erweitert werden.

Heutzutage wird mehr als jede zweite PV-Anlage mit einem Speicher ausgestattet. Allerdings ist die Wirtschaftlichkeit in vielen Fällen nicht gegeben, da Speicher recht teuer sind und im Laufe der Zeit die Speicherkapazität abnimmt.

Was „bringt“ eine Anlage?

Für die Besitzerin einer Solarstromanlage ist insbesondere interessant, welche Leistung ihre Anlage erbringt und welche Energiemenge im Laufe eines Jahres eingespeist werden kann. Die Leistung eines Solarmoduls wird unter Standardtestbedingungen

(Standard-Test-Conditions, STC) gemessen, die durch drei Randbedingungen festgelegt sind: 1. Volle Sonneneinstrahlung (Bestrahlungsstärke $E = E_{\text{STC}} = 1000 \text{ W/m}^2$), 2. Temperatur des Solarmoduls: $\vartheta_{\text{Modul}} = 25^\circ \text{C}$ und 3. Standard-Lichtspektrum AM1,5.

Die Leistung, die ein Solarmodul unter diesen Bedingungen erbringt, ist die **Nennleistung** des Moduls. Sie wird in Watt-Peak (Wp) angegeben, da sie faktisch die Spitzenleistung (Peak) des Moduls unter optimalen Bedingungen beschreibt.

Der **Wirkungsgrad** η_{Modul} eines Solarmoduls gibt das Verhältnis aus gelieferter elektrischer Nennleistung P_{STC} bezogen auf die einfallende optische Leistung P_{OPT}

$$\eta_{\text{Modul}} = \frac{P_{\text{STC}}}{P_{\text{Opt}}} = \frac{P_{\text{STC}}}{E_{\text{STC}} \cdot A}$$

mit A: Modulfläche

Die Wirkungsgrade heutiger Silizium-Solarmodule liegen im Bereich von 20 bis 24 %.

? kWp und kWh

Eine der häufigsten Verwechslungen erleben wir in der Betreiberberatung bei den physikalischen Begriffen "Kilowatt-Peak" und "Kilowattstunde":

Kilowatt-Peak: kWp

Die Leistung, die eine Solaranlage oder ein Modul unter Standardtestbedingungen (s.u.) erbringen kann, wird in Kilowatt-Peak angegeben. Man nennt sie auch Nennleistung. Für die Installation einer 1-Kilowatt-Peak Aufdachanlage benötigt man ca. 6 m^2 .

Kilowattstunde: kWh

Die Strommenge, die eine Solaranlage unter realen Bedingungen in einer Stunde produziert, wird in kWh angegeben. Die Erträge hängen vom Standort, der Temperatur, oder der Sonneneinstrahlung ab. Grob kann man mit einem jährlichen Ertrag zwischen 800 und 950 Kilowattstunden pro Kilowatt-Peak rechnen.

Watt und Kilowatt

Bei PV-Modulen wird die Leistung immer in Watt-Peak angegeben. 1000 Watt ergeben 1 Kilowatt. Neue Standardmodule haben Leistungen bis 430 Wp.

Pin Fallbeispiel: Leistung und Ertrag einer Aufdach-Anlage

Angenommen, der Hausbesitzerin steht eine Dachfläche von 40 m^2 zur Verfügung. Sie kauft Module mit einem Wirkungsgrad von 20 %. Die Nennleistung der Anlage ergibt sich zu:

$$P_{\text{STC}} = P_{\text{Opt}} \cdot \eta_{\text{Modul}} = \frac{1000 \text{ W}}{\text{m}^2} \cdot 40 \text{ m}^2 \cdot 0,2 = 8 \text{ kWp}$$

In Deutschland erbringt eine nach Süden ausgerichtete Dachanlage typischerweise einen spezifischen Ertrag W_{Jahr} von ca. 900 kWh/kWp (Kilowattstunden

pro Kilowatt-Peak) pro Jahr.

Damit ergibt sich für unsere Hausbesitzerin folgender Jahresertrag W_{Jahr} :

$$W_{\text{Jahr}} = P_{\text{STC}} \cdot w_{\text{Jahr}} = 8 \text{ kWp} \cdot 900 \frac{\text{kWh}}{\text{kWp} \cdot \text{a}} = 7200 \text{ kWh / a}$$

Im Vergleich zum typischen Strombedarf eines Haushalts von 3000 bis 4000 kWh pro Jahr ist die erzeugte Energiemenge somit nicht zu verachten.



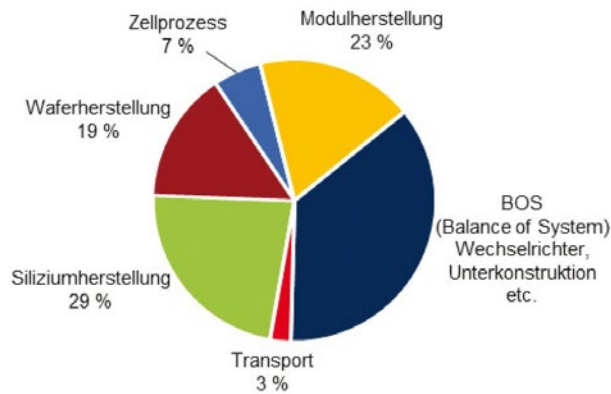


Abb 09 — Anteile am Primärenergieaufwand zur Herstellung einer PV-Anlage aus 2020 •

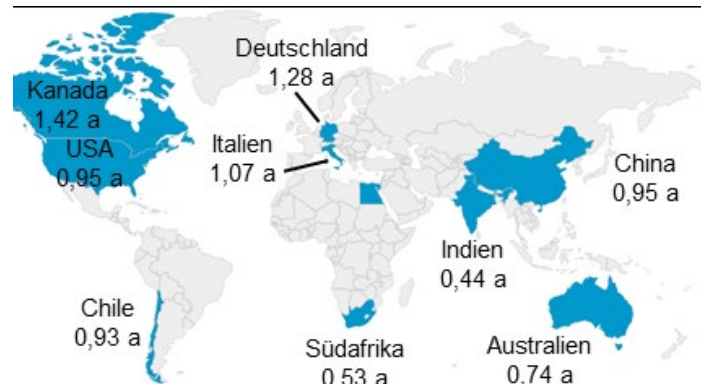


Abb 10 — Energierücklaufzeiten von PV-Anlagen in verschiedenen Ländern: Die Extremwerte liegen bei 1,42 Jahren für Kanada und 0,44 Jahren für Indien •

Welche Fortschritte sind bei den Wirkungsgraden, der Lebensdauer und der Energierücklaufzeit zu erwarten?

Die erste kristalline Siliziumzelle wies im Jahr 1977 einen Wirkungsgrad von rund 13 Prozent auf. Dieser wurde dann bis heute auf 27,6 Prozent kontinuierlich verbessert. Höhere Wirkungsgrade sind in Zukunft hauptsächlich nur noch mit „Tandemzellen“ möglich. Dies bedeutet, dass man z.B. eine Siliziumzelle mit einer Zelle aus Perowskit kombiniert. Beide Materialien ergänzen sich gut bezüglich ihrer Bandlücken: Während c-Si den langwelligen Teil des Spektrums abdeckt (rot und infrarot), wandelt die oben aufgebrachte Perowskit-Zelle den kurzwelligen Teil (blau und grün) in Solarstrom um. Hier hofft man darauf, in Zukunft Wirkungsgrade von bis zu 29 % erreichen zu können. Allerdings ist bislang unklar, ob diese Zellkombination gegebenenfalls über längere Zeit degradiert, sich also ihr Wirkungsgrad reduziert. Dies ist in Zukunft weiterhin zu untersuchen.

Eine weitere Frage ist die **Lebensdauer** von Solarmodulen. Typischerweise geht man von Modullebensdauern in der Größenordnung von mindestens 20 Jahren aus. In der Vergangenheit gab es allerdings Fälle, dass Solarmodule bereits nach einigen Jahren eine verringerte Modulleistung aufwiesen. Die Hintergründe sind inzwischen fast vollständig verstanden, so dass dieses Problem in den Hintergrund getreten ist. Insbesondere die Glas-Glas-Module weisen die höchsten Lebensdauern auf. Einzelne Hersteller geben inzwischen eine Produkt- und Leistungs-Garantie von 30 Jahren.

Es hält sich hartnäckig das Gerücht, dass zur Herstellung von Photovoltaikanlagen mehr Energie benötigt wird, als die Anlage im Lauf ihrer Lebensdauer an Energie erzeugt. Wäre dies tatsächlich der Fall, so könnte man die Photovoltaik wohl kaum als eine Option zur Lösung der Energieprobleme bezeichnen. Die **Energierücklaufzeit** (T_R) gibt die Zeitdauer an, die eine Solarstromanlage arbeiten muss, bis sie so viel Energie erzeugt hat, wie für ihre Herstellung benötigt wurde. Hierzu ist in Abb 09 ein Tortendiagramm dargestellt. Es zeigt den Anteil am Primärenergieaufwand zur Herstellung einer Anlage aus dem Jahr 2020. Die Anlage weist eine Energierücklaufzeit von nur noch 1,7 Jahren auf.

Zum Abschluss werfen wir noch einen Blick auf die ganz aktuellen Energierücklaufzeiten in verschiedenen Ländern. Offensichtlich zeigen sich stark unterschiedliche Ergebnisse zwischen 1,42 Jahren für Kanada und 0,44 Jahren für Indien. Deutschland liegt im Mittelfeld mit einer Energierücklaufzeit von inzwischen ca. 1,3 Jahren. Konkret heißt dies, dass heutzutage eine PV-Anlage in Deutschland innerhalb von gut einem Jahr so viel Energie erzeugt, wie für Ihre Produktion benötigt wurde.



www.sfv.de/wie-funktioniert-photovoltaik



Photovoltaik - Lehrbuch von Konrad Mertens

Wie funktionieren Solarzellen? Welche Technologien und Konzepte gibt es? Wie plant man eine komplette PV-Anlage? Das Lehrbuch von Konrad Mertens liefert die Antworten auf genau diese Fragen. Nach dieser Lektüre verstehen Sie mehr, als Ihr Solarteuer.

www.lehrbuch-photovoltaik.de



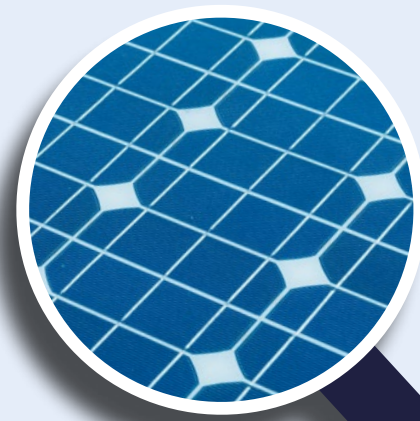
Prof. Dr.-Ing. Konrad Mertens

lehrt Photovoltaik und Sensorik an der Fachhochschule Münster und ist dort Leiter des Photovoltaik-Prüflabors.

Er ist Autor des Buches „Lehrbuch Photovoltaik“ und Vorstandsmitglied beim SFV.

Die Zelltechnologien

Solarmodule bestehen aus elektrisch miteinander verbundenen Solarzellen. Innerhalb der Solarzelle entsteht der elektrische Strom mit Hilfe von Halbleitern. Bei den üblichen mono- und polykristallinen Modulen kommt Silizium als Halbleiter zum Einsatz. Es gibt aber auch Solarzellen mit anderen Halbleitermaterialien.



Silizium-basierte Zelltechnologien

Die meisten Solarmodule bestehen aus Solarzellen mit silizium-basierten Halbleitern. Silizium ist das zweithäufigste Element auf der Erde und kommt in der Natur zumeist als Siliziumdioxid (Quarzsand) vor. Für die Solarzellenproduktion muss es zu hochreinem Polysilizium aufbereitet und gereinigt werden. Schmilzt man das Polysilizium ein und lässt es kristallisieren, entsteht je nach Verfahren monokristallines oder multi- bzw. polykristallines Silizium, welches in einem energieintensiven Prozess zu sogenannten Wafern weiterverarbeitet wird.

Bei amorphen Dünnschicht-Modulen wird das Silizium nicht kristallisiert, sondern in dünnen Schichten auf ein Trägermedium aufgetragen bzw. aufgedampft. Dadurch sind auch besonders flexible Solarmodule möglich. Das Verfahren ist weniger energieintensiv, allerdings sind auch Lebensdauer und Wirkungsgrad geringer. Aufgrund des höheren Wirkungsgrades von aktuell 20-24 % werden meistens monokristalline Module eingesetzt.

Monokristalline Zellen

Monokristalline Solarmodule sind erkennbar an der typischen dunklen oder schwarzen Färbung der Solarzellen. Hergestellt werden die Photovoltaikzellen mit Halbleitern aus einem einzigen Silizium-Kristall (Einkristall). Das Verfahren ist energieaufwendiger, trotzdem amortisieren sich die Zellen bereits nach ca. 2,1 Jahren.



Wirkungsgrad: 19 - 24 %
Lebensdauer: > 30 Jahre
Marktanteil: ca. 85 %
Energetische Amortisation: ca. 2,1 Jahre

Polykristalline Zellen

Solarmodule aus polykristallinen Zellen sind an ihrer hellblauen Farbe zu erkennen. Die Herstellung ist einfacher und weniger energieintensiv, daher ist auch der Preis niedriger und die energetische Amortisation kürzer. Die Solarzelle wird hier aus mehreren Siliziumkristallen zusammengeschmolzen. Der Wirkungsgrad fällt geringer aus als bei monokristallinen Modulen.



Wirkungsgrad: 17 - 20 %
Lebensdauer: > 30 Jahre
Marktanteil: ca. 10 %
Energetische Amortisation: ~ ca. 1,7 Jahre

Weitere Zellarten

Es gibt Solarzellen, die andere Halbleiter verwenden und ohne Waferproduktion auskommen. Durch fehlende Siliziumblöcke können die Solarmodule dünner, leichter und formflexibler gebaut werden. Je nachdem, welches Trägermedium verwendet wird, sind auch halb- und volltransparente Module möglich. In Bezug auf Wirkungsgrad, Lebensdauer und kostengünstiger Massenfertigung wird hier noch viel geforscht.

Amorphe Zellen

Amorphe Dünnschichtmodule mit Silizium-Halbleiter sind günstiger in der Herstellung, weil die Waferproduktion entfällt. Aufgrund extrem dünner Halbleiterschichten können mit amorphen Zellen auch flexible Solarmodule produziert werden. Der Wirkungsgrad fällt allerdings mit 5-15 % geringer aus.



Perowskit-Zelle

Eine Zelltechnologie im Forschungsstadium. Die kristallinen Perowskite können flüssig auf ein Substrat aufgetragen werden. Dadurch sind sie dünn und kostengünstig in der Herstellung. Im Labor erreichen sie hohe Wirkungsgrade von über 25 %. Leider fehlt es den Zellen noch an Stabilität und Feuchtigkeitsresistenz.



© Fraunhofer ISE

CIGS Zellen

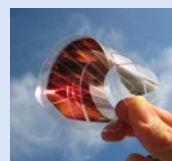
Das sind Dünnschicht-Zellen mit Halbleitern aus Kupfer, Indium, Gallium und Selen. Durch die eingesetzten Materialien sind sie schlechter recycelbar. Unter den Dünnschichtmodulen haben CIGS Zellen den höchsten Wirkungsgrad (bis zu 17 %).



© Fraunhofer ISE

Organische Zelle

Sie bestehen nicht aus Kristallen, sondern aus Kohlenstoffverbindungen. Es werden keine giftigen Materialien benötigt und die Zellen sind extrem dünn. Ihr ökologischer Fußabdruck fällt dadurch wesentlich geringer aus. Aufgrund der geringen Lebensdauer von wenigen tausend Stunden besteht aber noch großer Forschungsbedarf.



© Fraunhofer ISE

Kombinierte Zelltechnologien

Es gibt auch PV-Module mit kombinierten Zelltechnologien auf dem Markt. Bei **Heterojunction-Zellen (HJT)** wird ein dünner, monokristalliner Silizium-Wafer von amorphen Siliziumschichten umhüllt. Silizium- und Dünnschicht-Zelltechnologien werden so kombiniert, sodass verschiedene Wellenlängen nutzbar werden. Die Wirkungsgrade steigen auf über 22 Prozent.



Das kleine SFV Solaranlagen 1x1

Die Planung einer Solaranlage ist für viele gar nicht so einfach. Auch wenn geschulte Fachbetriebe im Normalfall Hilfestellung leisten und die Umsetzung übernehmen, bleiben zu Beginn häufig einige Unklarheiten. Um einen Überblick über die Grundlagen der Solaranlagenplanung zu geben, stellen wir Ihnen hier die wichtigsten Punkte zusammen - in unserem kleinen Solaranlagen 1x1.

— Taalke Wolf



Ist mein Dach geeignet? Nicht nur Süd-Anlagen erzeugen Strom.

Bekannterweise haben gen Süden gerichtete Solaranlagen den höchsten Ertrag, denn sie werden über den Tagesverlauf am meisten von der Sonne beschienen, um das Licht in Sonnenstrom umzuwandeln. Ein Trugschluss ist jedoch, dass nicht optimal ausgerichtete Solaranlagen weniger sinnvoll sind. Im Gegenteil: Insbesondere Ost- und West-Anlagen können sehr wirtschaftlich sein, da zusätzlicher Strom zu Tageszeiten erzeugt wird, in denen Sie eher zu Hause sind, z. B. morgens und abends. Auch die Nordseite wird oftmals unterschätzt. Dabei kann sie mit bis zu 70 % des möglichen Ertrages einen guten Beitrag zur Stromerzeugung leisten. Deutlich seltener zu sehen sind Fassaden-Anlagen. Insbesondere in Süd-Ausrichtung können sie jedoch sehr ertragreich sein und bieten im Winter bei einem tiefstehenden Sonnenwinkel einen guten Ertrag.

Trägt mein Dach die Anlage oder muss ich erst sanieren?

Eine 1 kWp-Anlage bringt mindestens 50 kg auf die Waage, der Dachstuhl sollte also noch intakt sein, um die zusätzlichen Lasten tragen zu können. In den seltensten Fällen ist jedoch das Dach statisch nicht geeignet. Bei einem Altbau mit unsaniertem Dach kann es sinnvoll sein, vorerst einen Statiker die mögliche Dachlast überprüfen zu lassen. Sollte eine Dachsanierung anstehen, lohnt es sich, diese mit der Installation einer Solaranlage zu verbinden. Zwar ist auch ein zwischenzeitliches Ab- und Wiederaufbauen der Anlage möglich, macht aber zusätzliche Arbeit und kostet Geld. Überlegen Sie bereits vor der Beauftragung Ihrer Solaranlage, ob Sie noch weitere Arbeiten wie Dämmung oder Sanierung an Ihrem Dach durchführen lassen möchten. Die meisten Häuser haben aber einen intakten Dachstuhl, der für die Installation einer Solaranlage bestens geeignet ist. Ein weiterer Vorteil: Die Solaranlage bietet einen natürlichen Schutz vor Witterungseinflüssen und hat im Sommer durch ihren Schattenwurf einen kühlenden Effekt im Dachgeschoss.

Vorsicht bei Verschattung!

Fast jedes Dach ist für eine Solaranlage geeignet. Wichtig dabei ist, möglichst wenig verschattete Gebäudeteile zu nutzen. Sind auch nur Teile der Anlage verschattet, kann es dazu kommen, dass ganze Anlagenteile einen verringerten Ertrag aufweisen. Um diesem

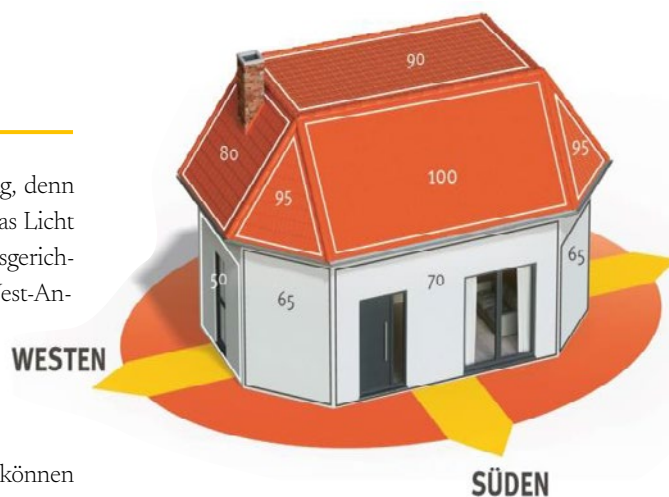


Abb 01a — Die Grafik zeigt, wie viel Prozent Leistung Photovoltaikanlagen auf den verschiedenen Dachflächen und Hauswänden in Relation zu einer Süddachanlage erreichen können. Quelle: Verbraucherzentrale •

		Neigungswinkel β											
		0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°
Ausrichtung	Azimut α	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°
		0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°
Süd	0°	100	99	97	94	89	82	73	61	47	32	17	2
	15°	99	100	98	94	88	80	69	56	42	27	12	-2
	30°	97	98	100	96	89	79	67	53	39	24	9	-5
	45°	94	96	96	100	92	81	68	54	40	25	10	-1
	60°	89	88	89	92	100	89	75	61	46	31	16	1
	75°	82	80	81	84	89	100	86	71	56	41	26	11
	90°	73	69	67	68	75	81	100	84	68	52	36	21
	105°	61	56	53	54	61	67	71	100	82	65	48	32
	120°	47	42	39	40	46	53	56	61	100	80	62	45
	135°	32	27	24	25	31	37	40	43	46	100	77	59
	150°	17	12	9	10	16	21	24	26	28	31	100	72
	165°	2	-2	-5	-1	1	6	11	13	15	17	19	100
West	0°	90	89	87	84	79	72	63	51	37	22	7	-8
	15°	89	90	88	84	78	71	62	50	36	21	6	-9
	30°	87	88	90	86	79	72	63	51	37	22	7	-8
	45°	84	86	86	90	82	73	62	50	36	21	6	-9
	60°	79	78	79	82	90	79	67	54	40	25	10	-1
	75°	72	69	67	68	75	81	90	75	61	46	31	16
	90°	63	56	53	54	61	67	71	84	68	52	36	21
	105°	51	46	43	44	51	57	61	71	82	65	48	32
	120°	37	32	29	30	36	43	46	51	61	77	59	45
	135°	22	17	14	15	21	27	30	33	36	41	57	41
	150°	7	6	3	4	10	15	18	20	22	24	31	41
	165°	-8	-9	-5	-1	6	11	13	15	17	19	21	31
Ost	0°	80	79	77	74	69	62	53	41	27	12	-3	-10
	15°	79	80	78	74	68	61	52	40	26	11	-4	-11
	30°	77	78	80	76	69	62	53	41	27	12	-3	-10
	45°	74	76	76	80	72	63	52	40	26	11	-4	-11
	60°	69	68	69	72	80	69	57	44	30	15	0	-2
	75°	62	59	57	58	65	71	80	65	51	36	21	6
	90°	53	46	43	44	51	57	61	71	82	65	48	32
	105°	41	36	33	34	41	47	51	61	71	82	65	48
	120°	27	22	19	20	26	33	36	41	51	61	77	59
	135°	12	7	4	5	11	17	20	23	26	28	31	41
	150°	-3	1	2	3	9	14	17	19	21	23	25	31
	165°	-10	-11	-7	-3	10	15	18	20	22	24	26	31
Nord	0°	65	64	62	59	54	47	38	26	12	-3	-10	-15
	15°	64	65	63	59	53	46	37	25	11	-4	-11	-16
	30°	62	63	65	61	54	47	38	26	12	-3	-10	-15
	45°	59	61	62	65	57	49	39	27	13	-5	-12	-17
	60°	54	56	57	59	65	54	43	31	17	2	-7	-18
	75°	47	46	43	44	51	57	61	71	82	65	48	32
	90°	38	37	33	34	41	47	51	61	71	82	65	48
	105°	26	25	21	22	29	36	41	51	61	77	59	45
	120°	12	11	7	8	14	21	24	27	30	33	36	41
	135°	-3	1	2	3	9	14	17	19	21	23	25	31
	150°	-10	-11	-7	-3	10	15	18	20	22	24	26	31
	165°	-15	-16	-12	-8	11	16	19	21	23	25	27	31

Abb 01b — Für genauere Abschätzungen zur Ertragsfähigkeit je nach Ausrichtung und Dachneigung empfehlen wir diese Tabelle von Prof. Konrad Mertens. Online zu finden unter: www.sfv.de/ertragsabschaetzung-ausrichtung-und-neigungswinkel •

vorzubeugen, sollte auf eine sinnvolle Verschaltung geachtet werden - z. B. die Aufteilung der Anlage in mehrere Strings. Dabei können Moduloptimierer helfen, für jedes einzelne Modul das Ertrags-Optimum zu erreichen. Handelsübliche Halbzellen-Module eignen sich ebenfalls besonders gut, da bei Verschattung nur ein Teilbereich des Moduls ausfällt. Mehr dazu auf Seite 26. Um den Gesamtertrag der Anlage nicht zu schmälern, kann es vorkommen, dass einzelne, besonders stark verschattete Module (z. B. neben einer Gaube oder Schornstein) weggelassen werden. Sollten Sie ein (teil-) verschattetes Dach haben, weisen Sie Ihren Solarteursbetrieb darauf hin, sodass er die Anlage entsprechend konzipieren kann.



Wie viel Strom kann ich erzeugen?

Anlagengröße, Ausrichtung, Ertrag

Um möglichst viel Strom auf Ihrem Dach zu erzeugen, legen Sie Ihre Anlage möglichst groß aus. Um unsere Klimaziele zu erreichen, brauchen wir alle geeigneten Dachflächen zur Solarstromerzeugung. Die gute Nachricht: Auch die "schwächeren" Dachausrichtungen können für Sie rentabel sein. Denn durch bestimmte Fixkosten (z. B. Gerüst, Anfahrs- und Technikerpauschalen) wird die Solaranlage bei doppelter Größe nicht doppelt so teuer. Es wird also günstiger sein, heute eine größere Anlage zu errichten, als in einigen Jahren noch einen zweiten Teil nachzurüsten. Weiterer Vorteil: je größer die Anlage ist, desto mehr Strom erzeugen Sie im Winter, wenn die Solarstrom-Ausbeute geringer ist. Da unser Stromverbrauch in der Zukunft durch elektrisches Fahren und Heizen steigen wird, ist es besonders wichtig, heute schon vorzusorgen und die PV-Anlage möglichst groß zu dimensionieren. Dennoch ist eine Photovoltaikanlage eine beträchtliche Investition und nicht alle können es sich leisten, direkt in eine möglichst große Anlage zu investieren. Wenn es nicht anders geht, ist es besser, klein anzufangen, als lange zu warten!

Ertragsabschätzung leicht gemacht

Je mehr direktes Sonnenlicht auf die Solaranlage fällt, desto höher ist die Stromausbeute. Das bedeutet, dass im Sommerhalbjahr die größten Erträge zu erwarten sind - etwa 70 % des Jahresertrages werden in den Monaten Mai-Oktober erzeugt. Doch auch an wolkeigen oder regnerischen Tagen erzeugt die Anlage Strom - nur eben weniger, als an Tagen mit direkter Sonneneinstrahlung.

Der jährliche Ertrag Ihrer Solaranlage richtet sich nach dem Ort der Anlage, der Ausrichtung (Nord/Süd/Ost/West), der Neigung und nicht zuletzt der möglichen Verschattung. Als Faustregel können Sie in Deutschland einen jährlichen Ertrag von 800-950 kWh/kWp installierter Leistung annehmen.

In vielen Städten und Gemeinden gibt es regionale Solarkataster, die bei der Bewertung der Dacheignung und Sonneneinstrahlung helfen können und eine erste Ertragsabschätzung liefern. Sie können Ihre Adresse eingeben, und das Kataster zeigt an, ob bzw. welche Dachflächen für eine Solaranlage geeignet sind. Einige Programme können Detailberechnungen vornehmen, die Verbrauchsdaten, Anlagenausrichtung, Gerüstkosten, Betriebsmöglichkeiten usw. in einer vereinfachten Wirtschaftlichkeitsberechnung einbeziehen. Es gibt sogar Kataster, bei denen ausgewählte Dachflächen virtuell mit Modulen belegt werden können, um so einen ersten Eindruck der möglichen Solaranlage zu erhalten.

Als Solarstrom-Erzeuger:in bekommen Sie eine garantierte Einspeisevergütung für Ihren erzeugten Strom aus erneuerbaren Energien. Dieser wird im Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) für 20 Jahre plus die Monate des Inbetriebnahmejahres festgeschrieben. Es gilt immer das für den jeweiligen Inbetriebnahmezeitpunkt geltende EEG - die Vergütungssätze und rechtliche Rahmenbedingungen werden also nicht nachträglich geändert.



Tipp: Moduloptimierer

Moduloptimierer sind kleine, elektronische Bauteile, die dafür sorgen, dass jedes Modul in seinem eigenen Optimum arbeitet. Sie machen dann Sinn, wenn mehrere Module mit unterschiedlichen Eigenschaften (z. B. Ausrichtung) oder Betriebspunkten (z. B. bei Verschattung) in einem Strang verschaltet sind. Bei ganzflächigen Verschattungen bringen sie keinen großen Vorteil - im Gegenteil, verbrauchen sie dann u. U. sogar mehr Strom für ihren Betrieb, als sie zusätzlich bereitstellen.



Tipp: Solarkataster

In vielen Bundesländern gibt es Solarkataster, die helfen, die Ertragsfähigkeit des eigenen Daches zu überprüfen. Manche bieten sogar eine ausführliche Wirtschaftlichkeitsbewertung an.

Aber: Die automatisierte Bewertung ersetzt keine vor Ort Betrachtung. Auch als weniger gut markierte Dächer können ertragsreich und lohnenswert sein.



www.energieatlas.nrw.de/



www.solarkataster-sachsen.de/



www.energieatlas-bw.de





Lohnt sich das?

Tipps zur Wirtschaftlichkeitsbewertung

Aktuell (Stand 03/23) bekommen Sie jede eingespeiste Kilowattstunde Strom (kWh) bis 10 kWp mit 8,2 cent vergütet. Die größten Ersparnisse haben Sie also, indem Sie Ihren Strom selbst verbrauchen und damit den Strombezug von Ihrem Stromanbieter verringern. Nur der nicht selbst verbrauchte Strom wird eingespeist (Überschusseinspeisung). Für Anlagenbetreiber:innen, die Ihren gesamten Strom ins Netz einspeisen gibt es noch einen Volleinspeisebonus: so bekommen Sie 13 cent/kWh vergütet. Dies lohnt sich, falls Sie große Dachteile (z. B. ein Wintergarten) haben, die mehr Strom erzeugt, als Sie verbrauchen können. So ist der Betrieb dennoch wirtschaftlich!

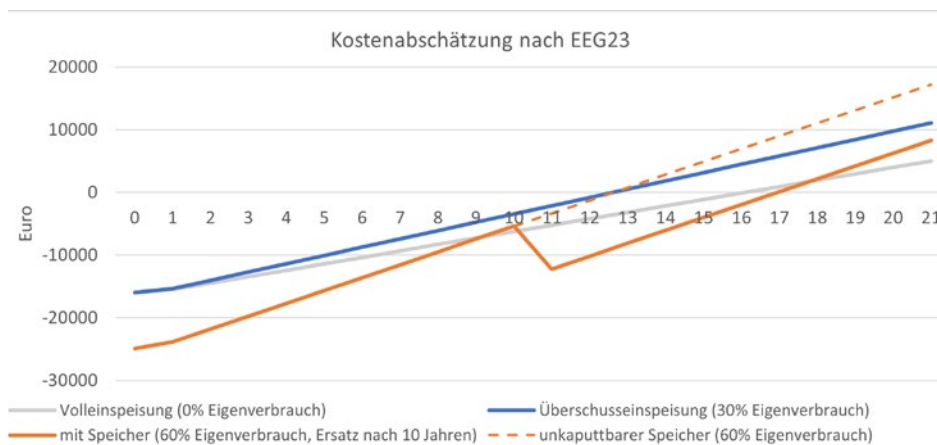
Zwischen der Volleinspeisung und Überschusseinspeisung kann gewechselt werden. Allerdings muss hierzu jeweils ein Techniker hinzugezogen werden - ein Wechsel ist also nicht regelmäßig zu empfehlen.

Wie sinnvoll ist ein Speicher? Lohnt sich das?

Ein Speicher kann helfen, den im Tagesverlauf erzeugten Stromüberschuss für die Nacht zu speichern. Er hilft allerdings nicht, den Strom vom Sommer für den Winter nutzbar zu machen. Leider sind Batteriespeicher ressourcenintensiv und deswegen teuer und aus sozial-ökologischer Perspektive problematisch. Ob sich ein Speicher finanziell lohnt, kann nicht pauschal beurteilt werden. Zwar erhöht ein Stromspeicher die Eigenverbrauchsquote von ca. 30 auf ca. 60 Prozent, wegen der hohen Anschaffungskosten erhöht sich die Wirtschaftlichkeit der Anlage aber nicht zwangsläufig. Sollten die Strompreise in Zukunft rasant steigen oder die Speicherkosten sinken, kann sich dies ändern. Stromspeicher haben eine Lebenserwartung von etwa 10-15 Jahren - Sie müssen also damit rechnen, den Speicher während der Lebensdauer Ihrer Anlage einmal zu ersetzen. Ist Ihnen eine Absicherung in Form einer Notstromversorgung hingegen wichtig, kann ein Batteriespeicher sinnvoll sein. Mehr über Speichertechnologien und Ersatzstromlösungen finden Sie auf Seite 37. Im Folgenden stellen wir Ihnen die Wirtschaftlichkeit einer PV-Anlage mit und ohne Speicher einmal vor.

Wann amortisiert sich die Anlage?

Die Rentabilität ihrer PV-Anlage setzt sich aus vielen Faktoren zusammen: Der Investitionssumme, dem Jahresertrag, der Menge des von Ihnen selbst verbrauchten Stroms, der Einspeisevergütung, den Stromkosten bzw. Strompreissteigerungen sowie den jährlichen Kosten für Wartung und Versicherung. Die Berechnung kann beliebig komplex gestaltet werden - dennoch kann sie niemals die Zukunft haargenau abbilden: Die jähr-



Eckdaten: 9,6 kWp Anlage, 8,6 kWh Speicher (Angebot aus 03/23), jährliche Wartungskosten von 1 % des Investitionspreises, Strompreis konstant 0,35 € / kWh, keine Inflation, keine Degradation •



Notstromversorgung

Was viele Anlagenbetreiber nicht wissen: Ihre PV-Anlage ist nur notstromfähig (dh. dass sie auch bei Stromausfall Strom liefert), wenn Sie darauf ausgelegt ist und einen notstromfähiger Wechselrichter hat. Um in diesem Fall auch Nachts Strom bereitzustellen, brauchen Sie einen Speicher. Sollte Ihnen die Notstromfähigkeit wichtig sein, beauftragen Sie es bei der Installation direkt mit. Allerdings kostet dies extra und reduziert dadurch die Wirtschaftlichkeit Ihrer Anlage. Weitere Infos dazu finden Sie auf Seite S. 37.



Typ: Speichergröße

Die richtige Speicher-Dimensionierung

Stromspeicher werden oft viel zu groß ausgelegt. Damit werden sie nicht nur teurer, sondern es werden auch unnötig Ressourcen verschwendet. Einige Faustregeln zur richtigen Speicher-Dimensionierung gibt Ihnen die HTW-Berlin:



www.solar.htw-berlin.de/publikationen/auslegung-von-solarstromspeichern/

Abb 02 — Die meisten Solaranlage rentieren sich nach 8-15 Jahren. Ein Speicher erhöht zwar den Eigenverbrauch, jedoch sollte ein Ersatz des Speichers nach 10-15 Jahren einkalkuliert werden. So kann es sein, dass sich eine Investition in einen Speicher weniger lohnt.

Steigen die Strompreise stark über den angenommenen Wert von 35 ct / kWh, rentieren sich Anlage und Speicher schneller, als bei günstigen Strompreisen. •

liche Sonnenscheindauer sowie die Entwicklung des Strompreises in den kommenden 20 Jahren kann niemals genau vorhergesagt werden. Die Einspeisevergütung hingegen ist auf 20 Jahre (plus die Monate des Inbetriebnahmejahres) festgesetzt - darauf können Sie sich schon mal verlassen.

Um eine gute Abschätzung zu erhalten, empfehlen wir, die Prognose mit verschiedenen Werten (konservativ und optimistisch) durchzuspielen - so erhalten Sie am Ende eine realistische Abschätzung für die Wirtschaftlichkeit Ihrer Anlage. Viele Online-Programme oder Solarkataster können Ihnen dabei helfen. Hier sollten Sie jedoch Vorsicht walten lassen: Oftmals werden in Amortisationsberechnungen horrende Strompreiserhöhungen angenommen, womit die Amortisationszeit der Anlage schönerechnet wird. Hier sollten Sie die angenommenen Daten stets hinterfragen und mit Ihren eigenen Annahmen oder Werten abgleichen. Eines nehmen wir schonmal vorweg: Sie werden mit Ihrer PV-Anlage nicht reich. Dennoch ist es eine sinnvolle Investition, die sich früher oder später amortisieren wird. Insbesondere ist es jedoch auch eine Investition in eine klimafreundliche und unabhängige Zukunft!



Wer soll das bezahlen? Förderungen und Alternativen zur Investition

Eine Solaranlage ist eine langlebige Investition, die wahrscheinlich noch weitaus länger als 20 Jahre auf Ihrem Dach verbringen und Strom liefern wird. Dennoch ist die Investition zu Beginn nicht ganz günstig und für nicht alle Solarfans gleich gut zu meistern. Doch es gibt auch Unterstützung oder Alternativen:

Kommunale Förderungen

Viele Kommunen bieten heutzutage eine Förderung zur Investition in PV-Anlagen an. Hier sollten Sie sich frühzeitig informieren und die Fördermodalitäten berücksichtigen. Mancherorts ist die Beantragung der Förderung vor Auftragsvergabe notwendig, andernorts genau andersrum. Ihre lokalen Klimaschutzmagager:innen können Ihnen dabei sicherlich weiterhelfen. Neben der bundesweit geltenden Einspeisevergütung bietet der Bund keine weiteren Förderungen für PV-Anlagen an.

Kreditfinanzierte PV-Investition

Sowohl die KfW als auch andere Kreditgeber bieten kostengünstige Kredite zur Investition in Solaranlagen an. Sollten Sie Ihre Anlage nicht selbst finanzieren können, ergeben sich hier oft lukrative Angebote, insbesondere wenn Sie neben der PV-Installation noch weitere Sanierungsmaßnahmen vornehmen. Hier können Sie sich informieren:



[www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilie/F%C3%B6rderprodukte/Eneuerbare-Energien-Standard-\(270\)/](http://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilie/F%C3%B6rderprodukte/Eneuerbare-Energien-Standard-(270)/)

PV-Anlage mieten

Immer mehr Anbieter bieten die Möglichkeit, PV-Anlagen zu mieten. Der Vorteil: Sie müssen sich um nichts kümmern, und die Investitionssumme muss nicht auf einmal entrichtet werden. Oftmals umfassen die Angebote auch die Wartung und Instandhaltung im laufenden Betrieb. Dafür verdient der Anbieter natürlich mit - insofern sollte hier genau hingeschaut und gut nachgerechnet werden. Oftmals steht Ihnen nach einigen Jahren die Anlage zum Kauf zur Verfügung. Ob dies für Sie die beste Option ist, sollten Sie genau kalkulieren: Nicht für alle lohnt sich das Angebot, eine Anlage zu mieten. Ein Online Tool, dass Ihnen bei der Abschätzung helfen kann, finden Sie hier:



www.verbraucherzentrale.nrw/pvanlage-mieten-oder-kaufen-73992



Online-Rechner

Um zu prüfen, wie schnell sich Ihre Anlage finanziell amortisiert, gibt es neben den Katastern auch Online-Rechner, die bei einer ersten Wirtschaftlichkeitsbewertung helfen.



www.test.de/Photovoltaik-Rechner-1391893-0/



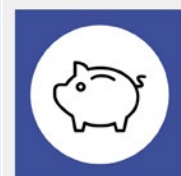
Lokale Förderung

Auf unserer Webseite haben wir Ihnen eine Auswahl an kommunalen Förderprogrammen zusammengestellt. Wichtig: Bitte prüfen Sie die Angaben auf Aktualität. Wenn Sie weitere oder aktualisierte Förderungen kennen, freuen wir uns über Ihre Mitteilung!



www.sfv.de/solaranlagenberatung/foerderprogramme

Kommunale und Landesförderung



SFV Beratung im Web

Wir aktualisieren zurzeit die Solaranlagen-Beratungsseiten auf unserer Homepage. Dort finden Sie auch alle gesetzlichen Änderungen, die sich aus der neuen PV-Strategie ergeben.



www.sfv.de/solarberatung



Gute Anfragen für gute Angebote

Unsere Tipps zur Angebotseinholung

Bei dem aktuell hohen Marktdruck ist es umso wichtiger, gute Anfragen zu stellen, um rasch ein kompetentes Angebot von Ihrem Solarteur zu erhalten. Um häufige Nachfragen zu vermeiden, können Sie folgende Punkte direkt beantworten:

- ✗ Genaue Adresse, (ggf. Baujahr des Hauses) zum Einsehen der Dachfläche in Online-Portalen
- ✗ Gewünschte Größe bzw. vorgesehene Dachflächen benennen, nicht vergessen, ggf. auch "schlechtere" Dachseite anzufragen
- ✗ Entscheidung Speicher / kein Speicher
- ✗ Notstromfähigkeit gewünscht?
- ✗ Foto des offenen Zählerschranks für möglichen Zählerwechsel beifügen
- ✗ Wenn vorhanden, Infos zum Blitzschutz des Gebäudes
- ✗ Eventuelle Verschattungsquellen benennen

Experten und Installateure vor Ort. Was gibt es beim Angebot zu beachten?

Wir empfehlen Ihnen, bei der Wahl des Fachbetriebes auf lokale Anbieter zu setzen, die im Schadensfall auch schnell für Reparaturen oder Erweiterungen zur Verfügung stehen. Überregionale Anbieter, die per Direktakquise mit schnellen Lieferzeiten locken, empfehlen wir, mit Vorsicht zu genießen. Auf der Homepage des SFV finden Sie eine Liste mit Fachbetrieben, die Sie kontaktieren können. Eine ebenso gute Idee ist, Ihre Nachbar:innen nach Empfehlungen zu Installateursbetrieben zu fragen. Sind diese bereits zufrieden mit der Leistung, machen Sie sicherlich nicht viel falsch.

Am besten versuchen Sie, mehrere Angebote verschiedener Anbieter einzuholen, um diese zu vergleichen. Dabei können Sie auf folgende Punkte achten:

- Lokalen Fachbetrieb wählen.
- Ist das Dach voll belegt oder können noch mehr PV-Module verbaut werden?
- Sind die Kostenpunkte im Angebot einzeln aufgelistet? Nur so ist ein Vergleich der Angebote und Nachvollziehbarkeit der Kosten möglich.
- Entspricht die Gesamtleistung der Solarmodule in etwa der Leistung des Wechselrichters?
- Welches Angebot hat den günstigsten Preis pro installiertem kWp (€/kWp) - welches entspricht Ihren Vorstellungen?
- Sind die Preise für die Komponenten gerechtfertigt? Ein kurzer Blick ins Internet kann dabei Aufklärung schaffen.
- Möchten Sie einen Speicher haben? Wurden dabei alle Ihre Wünsche berücksichtigt - z.B. ist die installierte Technik notstromfähig?
- Sind Gerüste zum Aufbau notwendig und einkalkuliert?
- Wurde der Zählerschrank überprüft? Ist ein neuer Zählerkasten notwendig?
- Ist die Netzanschlussanfrage und der technische Anschluss an das öffentliche Netz im Angebot enthalten?
- Sind die Zahlungsbedingungen gerechtfertigt? Müssen Sie eine große Anzahlung leisten oder erst, wenn die Anlage bereits montiert ist?



Sonderfall: Denkmalschutz

Photovoltaik auf denkmalgeschützten Häusern

Obwohl Solaranlagen auf Grund ihres Beitrags zum Klimaschutz bei allen Schutzgüterabwägungen vorrangig zu behandeln sind, muss aktuell bei denkmalgeschützten

Gebäuden noch immer eine Genehmigung der Denkmalbehörde eingeholt werden. Diese kann bestimmte Ansprüche zu Farbe oder Form der Solaranlage oder Solarziegel stellen, oder den Bau der Solaranlage sogar ganz verbieten. Wir setzen uns dafür ein, dass auch auf denkmalgeschützten Gebäuden Solaranlagen errichtet werden dürfen - denn wir brauchen viele Dachflächen, um die Klimakatastrophe zu vermeiden! Einige Tipps und Hinweise zu diesem Thema finden Sie hier:



www.sfv.de/solarenergie-und-denkmalschutz

Sonderfall: Reihenhäuser

Dachabstände für PV-Anlagen bei Reihenhäusern

Bei Reihenhäusern kann ein Mindestabstand zum Nachbarhaus gefordert werden. Ob dies der Fall ist, legt die Landesbauordnung des jeweiligen Bundeslandes fest. In

Baden-Württemberg gilt schon keine Begrenzung mehr, in NRW kann seit Anfang 2023 ein Antrag auf Ausnahmegenehmigung des in der Bauordnung geforderten Abstandes gestellt werden. Im Herbst 2022 wurde die Musterbauordnung angepasst, die nun verringerte Abstände vorsieht. Leider wurden die Änderungen in vielen Fällen noch nicht in gültiges Landesrecht umgesetzt. Im Zweifelsfall kontaktieren Sie Ihre Baubehörde, um von der aktuellen Gesetzgebung informiert zu werden - wir setzen uns dafür ein, dass die Abstände bundesweit reduziert werden bzw. ganz entfallen.





Die Anlage ist fertig

Was muss noch getan werden?

Glückwunsch zu Ihrer neuen Solaranlage! Als Solaranlagen-Betreiber:in sind Sie nun noch dazu verpflichtet, die Anlage im Marktstammdatenregister der Bundesnetzagentur zu melden. Sollte die Meldung nicht innerhalb von 4 Wochen nach Inbetriebnahme geschehen, können Ihnen Strafzahlungen drohen. Oftmals übernimmt dies auch der Installateursbetrieb - fragen Sie einfach mal nach. Darüber hinaus kann es sinnvoll sein, Ihre Solaranlage zu versichern. Häufig sind Solaranlagen in der Gebäudehaftpflicht bereits enthalten. Fragen Sie bei Ihrer Versicherung nach oder schließen Sie eine extra Solarversicherung ab. Um mögliche Fehler oder Leistungsverluste frühzeitig zu erkennen, lohnt es sich, die Erträge der Solaranlage regelmäßig zu erfassen. Dazu bietet der SFV eine Ertragsdatenbank an, in der Sie Ihre Erträge mit anderen Anlagen ähnlicher Ausrichtung vergleichen können (Siehe S. 69). Alle wichtigen Schritte, die es nach dem Kauf und der Montage einer Anlage zu tun gibt, haben wir Ihnen ausführlich auf S. 48 zusammengestellt. Weitere Infos zum Thema Steuer und Organisatorisches finden Sie auf Seite 38.



Füße hochlegen und CO₂ einsparen

Eine Solaranlage kann pro kWp Leistung bei guter Ausrichtung 800-950 kWh Strom im Jahr erzeugen. Bei Stromerzeugung durch Braunkohle werden dafür etwa 1t CO₂ freigesetzt, bei Steinkohle etwas weniger, bei Gas ca. die Hälfte. Also kann z.B. eine Anlage mit 11 kWp real etwa 8-9 t CO₂ einsparen helfen - soviel wie der durchschnittliche CO₂-Rucksack eines Bürgers oder einer Bürgerin in Deutschland. Ihre neue Solaranlage trägt also entscheidend zum Klimaschutz bei!

Vorsicht vor dem Rebound-Effekt

Wenn der Strom vom Dach nichts kostet, dann kann man ihn ja ungeniert verbrauchen. Diesen Effekt nennt die Wissenschaft auch bei Solaranlagen den Rebound-Effekt: Wer eine Solaranlage installiert hat, neigt dazu, seinen Stromverbrauch zu erhöhen - ganz nach dem Motto "kostet ja nichts". Leider ist das ein Trugschluss und für die Energiewende nicht besonders hilfreich, wie Jan Kegel und Julika Weiß auf Seite 66 darlegen.

Zu guter Letzt: Mit einer Solarparty die Solar-Erfahrungen feiern!

Ihren Nachbar:innen haben Sie nun wahrscheinlich einiges voraus: im Zuge der Installation Ihrer Anlage haben Sie viele wertvolle Erfahrungen gesammelt, die Sie in der Nachbarschaft weitergeben können. Denn wir brauchen Photovoltaik auf allen Dachflächen! Nur so können wir die Klimaziele einhalten. Nachdem die Anlage nun fertig ist, sind Sie bestens geeignet, um als Gastgeber:in eine Solarparty zu veranstalten. Laden Sie einfach ein paar Nachbar:innen ein und geben Ihre Erfahrungen weiter. Gerne können Sie auch eine:n vom SFV ausgebildeten Solar-Botschafter:in einladen, um Sie fachlich zu unterstützen. Ganz nach dem Motto: packsdrauf - Dein Dach kann das auch.



SFV Erstberatung

Der SFV bietet kostenlose Erstberatungstermine an, bei denen wir auf die wichtigsten Fragen auf dem Weg zur eigenen Solaranlage eingehen. Mehr dazu online unter:



www.sfv.de/aktuelles/termine



Taalke Wolf

hat Erneuerbare Energien studiert. Beim SFV koordiniert sie die Packsdrauf-Kampagne und unterstützt bei der Solaranlagenberatung.

Alle Infos zu dem Mitmachprojekt packsdrauf – Dein Dach kann das auch! befinden sich auf Seite 74.

Welches Modul soll ich wählen?

Wer sich im Dschungel der Modulauswahl zurechtfinden und das für sich passende Modul wählen möchte, hat es gar nicht leicht. Aber seien Sie beruhigt: Eigentlich schlagen Installationsbetriebe in ihrem Angebot Module vor und Sie können und müssen sich gar nicht zwischen den vielen hundert Solarmodulen entscheiden, die derzeit auf dem Markt sind. In Bezug auf die Qualität und Leistung unterscheiden sich die meisten Modelle oftmals nur geringfügig. Um Ihnen dennoch bei der Beurteilung zu helfen, haben wir Ihnen die wichtigsten Merkmale von Solarmodulen zusammengestellt.



Größe und Leistung der Module

Die Standardmodule für Dachanlagen haben Abmessungen von ca. 1,70 x 1,10 m und erreichen Nennleistungen von 330–430 Wp. Sollten bei Ihnen kleinere Module verbaut sein, kann dies auch mit der Beschaffenheit Ihres Daches zusammenhängen. Je kleiner die Modulfläche des Einzelmoduls, desto geringer ist folglich auch dessen Leistung, weil weniger Solarzellen verbaut wurden.

Wirkungsgrad

Neben der Wattleistung ist der Wirkungsgrad eine weitere Möglichkeit, um die Solarmodule zu bewerten. Neue monokristalline Module haben einen Wirkungsgrad von mindestens 20 %. Es gibt aber auch Hochleistungsmodule mit aktuell bis zu 24 % Wirkungsgrad.

Die Zelltechnologie

Heute werden meistens monokristalline Solarzellen verbaut, da diese den höchsten Wirkungsgrad aufweisen. Sie sind an ihrer fast schwarzen Färbung zu erkennen. Einen Vergleich der verschiedenen Zelltechnologien finden Sie auf Seite 17.

Die Modultypen

Solarmodule unterscheiden sich nicht nur hinsichtlich der Zelltechnologie (siehe S.17). Es gibt auch Unterschiede bei der Anordnung und Verschaltung der Zellen: Neben den klassischen Vollzellenmodulen gibt es auch Halbzellenmodule oder bifaziale Module. Dazu gibt es unterschiedliche Bauweisen der Module: zum Beispiel als Glas-Glas oder Glas-Folien-Variante. Details finden Sie auf der nächsten Seite.

Hersteller / Herkunftsland

Die meisten Module stammen aus China. Wenn Ihnen eine deutsche oder europäische Produktion wichtig ist, sollten Sie bei den Modulherstellern genau recherchieren, welche Teile der Produktion in Europa stattfinden. Die Wafer der Solarzellen kommen überwiegend aus asiatischen Ländern. Dennoch gibt es Hersteller oder einzelne PV-Module, bei denen besonders auf die lokale und ökologische Produktion geachtet wird. Mehr dazu auf Seite 62.

Preise

Wenn Sie einen Verkaufspreis für die angegebenen Module vorgeschlagen bekommen, kann es sich lohnen, die gleichen Module im Internet zu recherchieren, um Vergleichspreise zu erhalten. Sollte das Angebot stark von den im Internet verfügbaren Modellen abweichen, können Sie hier nachverhandeln.

Garantie

Viele Hersteller bieten Leistungs- oder Produktgarantien für ihre Solarmodule von 20 bis 25 Jahren. Es gibt aber besonders robuste Module, bei denen Garantieverprechen von 30 bis 40 Jahren gegeben werden. Überprüfen Sie die Details und Vertragsbedingungen. Mehr Infos auf Seite 50.

Optik und Rahmen

Die meisten Module werden durch einen Aluminiumrahmen vor äußeren Einwirkungen (z. B. Stößen) geschützt und mit Hilfe einer Dichtung gegen Feuchtigkeit versiegelt. Sollten Sie optische Vorzüge haben, können Sie beispielsweise auf die Rahmenfarbe achten. Am weitesten verbreitet sind Silber und Schwarz. Es gibt aber auch rahmenlose Glas-Glas-Module. Wenn die Modulkomponenten wie Solarzelle, Anti-Reflektionsschicht, Modul-Rückseitenfolie, und Modulrahmen schwarz sind, spricht man von "All-Black-Modulen". PV-Module gibt es mittlerweile auch in anderen Farben. Mehr Infos zu bunten Modulen finden Sie auf Seite 27.

Verschattungsverhalten

Ein verschattetes Solarmodul bringt weniger Leistung. Dazu kommt, dass das schwächste Modul die Leistung der anderen in Reihe geschalteten Module einer PV-Anlage bestimmt. Gegen Verschattung gibt es mehrere Möglichkeiten:

PV-Module mit Bypass-Dioden können verschattete Teile eines Solarmoduls kurzzeitig abschalten. Auch Halbzellen-Module können helfen (Siehe S. 26). Leistungsoptimierer, Modulwechselrichter mit Schattenmanagement oder Modulwechselrichter können bei dauerhafter Verschattung eingesetzt werden. Fragen Sie zur Sicherheit bei dem Solarteursbetrieb nach, wenn Ihre Anlage von Verschattung betroffen sein könnte.

Standard-Modultypen

PV-Module unterscheiden sich nicht nur hinsichtlich der verbauten Zelltechnologie. Es gibt auch unterschiedliche Arten des Modul-Aufbaus (Glas-Glas oder Glas-Folien Modul) sowie Neuerungen bei der Zellzusammensetzung und Verschaltung (Vollzellen oder Halbzellen-Module). Außerdem stellen wir kurz die sogenannten bifazialen Module vor. Hier kann Solarenergie von der Vorder- wie auch der Rückseite aufgenommen werden. Die einzelnen Technologien können auch kombiniert werden: Zum Beispiel als bifaziales Halbzellen-Glas-Glas-Modul.

Glas-Glas und Glas-Folien Module

Hier wird der Modulaufbau, genauer gesagt: die Modulrückseite unterschieden. **Glas-Folien Module** werden rückseitig von einer Folie geschützt. Bei einem **Glas-Glas Modul** sind Vorderseite und Rückseite von einer Glasschicht geschützt. Der restliche Modulaufbau ist identisch.

Die Unterschiede

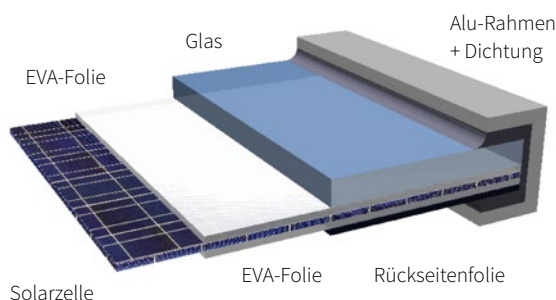
Die zusätzliche, rückseitige Glasscheibe bei Glas-Glas Modulen sorgt für eine dampfdichte und unempfindliche Versiegelung des Moduls und verleiht ihm eine **höhere Robustheit**, etwa gegen Umwelteinflüsse wie Feuchtigkeit, UV-Strahlung oder Schneelasten.

Zusätzlich sorgt der symmetrische Aufbau der Glas-Glas Module dafür, dass sich die Gefahr von Mikrorissen an den Solarzellen oder Zellverbindern reduziert. In Bezug auf **Brandsicherheit** wird das Glas-Glas-Modul ebenfalls als sicherer eingestuft als Glas-Folien-Module.

Dafür sind Glas-Folien Module leichter, denn das zusätzliche Glas schlägt sich auch im **Gewicht** nieder. Ein klassisches Glas-Glas Modul wiegt ca. 25 kg, ein Glas-Folien Modul nur ca. 20 kg. Mittlerweile gibt es allerdings auch sehr stabiles 2 mm-Glas, sodass Glas-Glas Module nicht schwerer werden, als ein herkömmliches Glas-Folien-Modul, welches für die Stabilität auf eine 4 mm dicke Frontscheibe benötigt.

Weil die Glas-Glas Module robuster und langlebiger sind, gewähren Hersteller **Garantien** von bis zu 40 Jahren. Jedoch kosten die Glas-Glas Module ca. 20 % mehr, als die Glas-Folien-Variante. Die längere Lebensdauer relativiert die höheren Anschaffungskosten. Aktuell kommen Glas-Folien-Module noch am häufigsten zum Einsatz, es zeichnet sich aber ein Trend in Richtung Glas-Glas-Module ab.

Aufbau Glas-Folien Modul

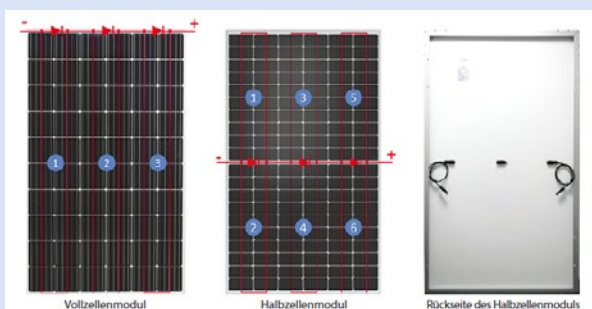


Vollzellen und Halbzellen-Module

Da der Trend bei Solarmodulen in Richtung größerer Zellen geht, dies aber mit größeren Verlusten einhergeht, werden bei vielen Modulen mittlerweile die Wafer in zwei Teile geteilt - aus Vollzellen werden Halbzellen (half-cut-cells). Statt 60 oder 72 Vollzellen kommen so doppelt so viele halbe Zellen zum Einsatz. Vollzellen und Halbzellen unterscheiden sich also hinsichtlich der Zellanordnung und Verschaltung – die Zelltechnologie (kristalline Siliziumzellen) verändert sich nicht.

Bei Vollzellenmodulen werden die Zellen in drei Zellstrings in Reihe geschaltet. Kommt es hier zu einer Verschattung durch Bäume oder Schornstein, kann es passieren, dass der gesamte String von einem Leistungsverlust der verschatteten Zelle betroffen ist. Halbzellenmodule bringen hier eine weitere Neuerung mit: Auch das Modul wird in zwei Hälften unterteilt und beide Segmente werden **parallel** miteinander verschaltet. Der Vorteil: Sollte eine Verschattung nur einen Teil des Moduls betreffen, kann die andere Hälfte noch ihre volle Leistung erbringen. Innerhalb der zwei parallel geschalteten Teile gibt es, wie bei den Vollzellenmodulen, drei in in Reihe geschaltete Strings.

Aufgrund des neuen Zellaufbaus haben Halbzellenmodule einen 2-4 % höheren Wirkungsgrad als Vollzellenmodule. Es gibt Prognosen, dass sich der Marktanteil von Halbzellenmodulen in Zukunft stark erhöhen wird.



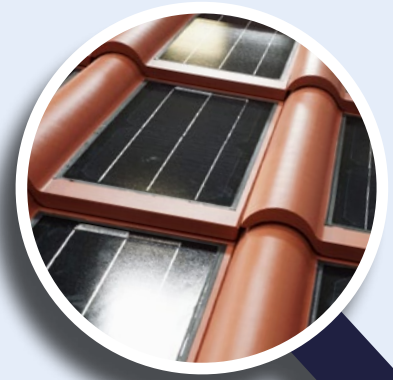
© Konrad Mertens, 2022

Bifaziale Module

Bifazial bedeutet "zwei Seiten" und verweist darauf, dass diese Module von beiden Seiten das Sonnenlicht aufnehmen können. Das direkte Sonnenlicht an der Oberseite sowie die reflektierte Strahlung an der Rückseite. Besonders bei freistehenden Anwendungen (z. B. Zäunen) oder stark reflektierenden Untergründen kann dies den Ertrag erhöhen. Bei Dachanlagen ist der Mehrwert jedoch geringer: Je kleiner der Abstand zwischen Dachhaut und Modul-Unterseite, desto geringer ist der Nutzen dieser Technologie.

Besondere PV-Module

Photovoltaik kommt heutzutage nicht mehr ausschließlich in der Form klassischer Dachmodule zum Einsatz. Es gibt eine Vielzahl von Modul-Arten, die der solaren Stromerzeugung viele neue Möglichkeiten bieten.



Farbige Solarmodule

Durch Einfärbung des Schutzglases oder einer veränderten Antireflexions-schicht auf der Solarzelle können PV-Module in allen Farben produziert werden. Allerdings geht die Modifikation der optimalen, dunklen Modulausführung meist mit einer geringeren Leistung einher. Weiterhin sind farbige Module teurer als herkömmliche. Trotzdem stellen rote oder kupferbraune Module einen Kompromiss dar, wenn das äußere Erscheinungsbild des Dachs erhalten bleiben soll - ob als Aufdach-Anlage oder im Dach integriert. Für denkmalgeschützte Häuser können die farbigen Module also die Genehmigung erleichtern.



© 3S Swiss Solar Solutions AG

Solardachziegel

Es gibt farbige Dachziegel mit integrierten monokristallinen oder amorphen Solarzellen. Sie können die Dachpfannen ersetzen und so insbesondere bei Neubauten oder Dachsanierungen interessant sein, um Dachziegel und Material einzusparen. Ebenso viel Potenzial haben sie darüber hinaus beim optischen Erhalt eines denkmalgeschützten Gebäudes. Der Nachteil: Jede Dachpfanne muss einzeln verschaltet werden – das erhöht Installationsaufwand und Kosten. Es gibt mittlerweile auch Solardachziegel, die größer sind und gleich 4 Dachpfannen ersetzen.



© Meyer Burger

Solarzäune und Geländer

Sicherheit und Stromproduktion lassen sich durch Solar-Geländer oder -gartenzäune kombinieren. Hier können sich bifaziale Module besonders lohnen, die auch reflektierende Strahlung von der Rückseite absorbieren. Aber ebenso können herkömmliche Glas-Glas Module hier zum Einsatz kommen, auch in semi-transparenter Ausführung.



© 3S Swiss Solar Solutions AG

Dünne und flexible Module

Es gibt semi-flexible und flexible Module ohne Alu-Rahmen. Semi-flexible Module bestehen meist aus monokristallinen Zellen auf Siliziumbasis, die in dickere Folien eingefasst werden. Sie werden oft im Campingbereich und bei Balkonkraftwerken eingesetzt, da sie ohne Glasscheibe und Alurahmen wesentlich leichter sind, bei gleichem Wirkungsgrad. Flexible Module können auf unterschiedlichste Oberflächen aufgeklebt werden. Die Flexibilität wird durch besonders dünne Zelltechnologien und Trägerfolien ermöglicht. Die Lebensdauer und Wirkungsgrade sind aber oftmals geringer. Verschiedene Technologien, die hier zum Einsatz kommen, werden auf Seite 17 vorgestellt.



Transparente Module

Ideal geeignet für Terrassendach, Carport, Veranda oder Wintergarten sind (Semi-) Transparente Solarmodule, die einen Teil des Sonnenlichts durchlassen. Sie bestehen meistens aus monokristallinen Zellen, deren Zwischenräume durch Glas oder Folie transparent ausgeführt sind. Als Glas-Glas Modul können sie die eigentliche Glasüberdachung ersetzen. Darüber hinaus gibt es noch organische Solarzellen, die vollständig transparent und für das menschliche Auge nicht sichtbar sind. Mit lediglich 4%-Wirkungsgrad besteht hier noch viel Forschungsbedarf.



© www.solarcarporte.de

Balkonsolar

Relativ einfach auch für Mieter:innen umzusetzen sind Balkon- oder Stecker-Solaranlagen, die durch Halterungen am vorhandenen Balkon befestigt werden. Es werden hauptsächlich monokristalline Module mit Alurahmen oder semi-flexibel eingesetzt. Meistens haben Steckersolargeräte den Wechselrichter direkt am Modul verbaut und können nach der Montage einfach in die Steckdose eingesteckt werden. Sollte sich unter dem Balkon ein Gehweg befinden, können besondere Vorschriften gelten. In jedem Fall sollte eine gute Absicherung des Modul gegen Stöße und Sturm sichergestellt werden.



© Ronald Biallas

Fassaden / Vertikale PV

Fassadenanlagen bringen 20-30 % weniger Ertrag als die gleich ausgerichtet Dachanlage. Aber es gibt auch Vorteile: Die Südfassade bringt bei tiefstehender Sonne im Winterhalbjahr einen höheren Ertrag als das Dach. Und Schnee haftet kaum. Zur Anbringung können herkömmliche Module mittels spezieller Halterungen an der Fassade befestigt werden.



Indach-Anlagen

Indach-Anlagen werden anstelle der Dachpfannen direkt in das Dach eingesetzt und bilden somit die Dachhaut. Nicht jeder Dachtyp ist hierfür geeignet. Bei Neubau, Sanierung oder Dächern mit geringer Traglast können sie (ähnlich wie Solarziegel) eine günstige Alternative sein, anstelle einer neuen Dacheindeckung mit Aufdach-PV. Wichtig ist eine gute Hinterlüftung, um die Leistung der Module nicht zu beeinträchtigen. Das ist bei Indach-Anlagen schwieriger zu bewerkstelligen als bei Aufdach-Anlagen, die mit etwa 10 cm Abstand zwischen Dach und Modulen gebaut werden.



© P. Kammerer

Welche Technik kommt aufs Dach: PV oder Solarthermie?

Mit Hilfe der Solarthermie wird die Strahlungsenergie der Sonne zur Erwärmung von Brauch- oder Heizungswasser genutzt. Ähnlich wie PV-Module werden auch die Solarthermie-Kollektoren meistens auf dem Dach installiert. Ist die Dachfläche aber begrenzt, stellt sich oft die Frage - was ist nun besser? Solarthermie oder Photovoltaik? Gar nicht so leicht zu entscheiden!

— Taalke Wolf

Solarthermie - aus Licht wird Wärme!

Eine thermische Solaranlage wandelt - wie ihr Name bereits verrät - die Sonnenenergie in Wärme um. Liegt etwa ein dunkler Wasserschlauch in der Sonne, wird das Wasser darin erwärmt. Mit Hilfe der Solarthermie können so auf einfache Art und Weise Luft oder Wasser erhitzt werden. Einfache Plastik-Absorber finden beispielsweise in Freibädern Anwendung, während auf Hausdächern meistens mit Glas abgedeckte Flachkollektoren- oder gläserne Röhrenkollektoren zum Einsatz kommen – wie in einem Wintergarten wird es hinter der Glasscheibe besonders warm. Insbesondere letztere besitzen durch die vakuumierten Röhren geringere Wärmeverluste und sind damit effizienter. In den üblicherweise genutzten Sonnenkollektoren wird eine Sole (beispielsweise Wasser mit Frostschutzmittel) durch einen der Sonne zugewandten Absorber gepumpt und erhitzt. Die Wärme wird durch einen Wärmetauscher an einen Warmwasserspeicher abgegeben und kann anschließend in der Küche oder Dusche sowie zum Heizen genutzt werden. Eine einfache Technologie!

Abb 1 —Typische Größenordnungen einer Solarthermie-Anlage für ein Einfamilienhaus. Darstellung auf Basis von Berechnungen der Verbraucherzentrale •

Art	Nur Warmwasser	Warmwasser und Heizung
Kollektorgröße	3 bis 6 m ²	9 bis 20 m ²
Speichergröße	250 bis 350 Liter	500 bis 1.500 Liter
Energieeinsparung	ca. 350 kWh je m ² Kollektor	ca. 250 kWh je m ² Kollektor
Kosten für nachträglichen Einbau in einen Altbau (Stand Februar 2022)	ca. 6.000 bis 10.000 Euro	ca. 9.000 bis 17.000 Euro

Sonne zum Heizen?

Die meiste Energie benötigen wir zum Heizen im Winter. So ist es naheliegend, die Solarthermieanlage zur Unterstützung der Heizung zu nutzen. Leider fällt der Ertrag solarthermischer Anlagen im Winter deutlich geringer aus als im Sommer. Wird die Solarthermieanlage alleine zur Brauchwassererwärmung eingesetzt, können etwa 60 % des Wärmebedarfs solar erzeugt werden. Dazu wird pro Person eine Kollektorfläche von etwa 1,5 m² benötigt (Vakuumkollektoren ca. 1 m²). Soll auch die Heizung mit der solaren Wärme unterstützt werden, werden pro Haushalt eher 10 bis 20 m² Kollektorfläche benötigt. Der Beitrag der Solarthermieanlage liegt dann meist dennoch bei deutlich unter 30 %. Eine autarke Versorgung durch Sonnenwärme ist in unseren Breitengraden, bedingt durch die geringe Sonneneinstrahlung im Winter, kaum möglich. Jedoch kann eine Solarthermieanlage - insbesondere in den Übergangsmonaten - den Energiebedarf des vorhandenen Heizsystems verringern und in den Sommermonaten ausreichend Wärme zur Brauchwassernutzung bereitstellen.

Solarthermie oder Photovoltaik - wofür soll ich mich entscheiden?

Da die verfügbaren Dachflächen zur Nutzung der solaren Strahlungsenergie begrenzt sind, stehen Viele nun vor der Entscheidung: Ist es besser, in Photovoltaik zu investieren oder in Solarthermie? Wenn auch die Nutzung der solaren Wärme sehr sinnvoll erscheint, birgt diese Technologie einige Herausforderungen. Solarthermieanlagen funktionieren am besten bei direkter Sonneneinstrahlung und daher am effektivsten auf freien Süddächern - eine Abweichung Richtung Osten oder Westen birgt etwa ein Viertel Ertragseinbußen. Da PV-Anlagen auch

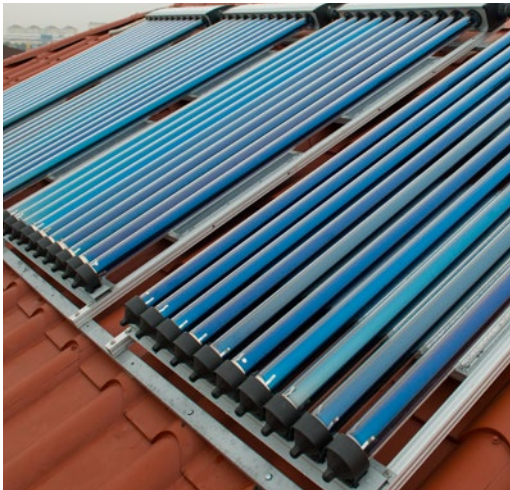


Abb 2 — Röhrenkollektoren einer Solarthermie-Anlage. Anders als bei der Photovoltaik nutzt die Solarthermie die Wärme der Sonnenenergie •



Abb 3 — Auf den ersten Blick optisch recht ähnlich: Solarthermie-Kollektoren und Photovoltaik-Module •

die indirekte Sonneneinstrahlung noch in Strom umwandeln können, sind diese auch für Ost-, West- und sogar Norddächer bestens geeignet.

Hinzu kommt die aufwändigere Installation einer Solarthermieanlage: Es wird ein Warmwasserspeicher benötigt und es müssen wasserführende, gedämmte Rohre vom Standort des Speichers (meistens im Keller) bis auf das Dach geführt werden. Das Nachrüsten einer Solarthermieanlage ist also durchaus aufwändiger, als das einer PV-Anlage, bei der im Normalfall nur wenige Kabel vom Dach bis zum Netzanschluss geführt werden müssen.

Einer der größten Vorteile der Photovoltaik ist dabei die Anbindung an das öffentliche Netz: Wird im Sommer mehr Strom erzeugt, als der Haushalt verbraucht, wird der Überschussstrom ins Netz gespeist, steht dort anderen Verbrauchern zur Verfügung und wird vergütet. Dies ist wichtig für den Klimaschutz und hilft gleichzeitig maßgeblich dabei, die Installationskosten der Anlage zu amortisieren. Da die Solarthermieanlage nur mit dem eigenen Warmwassersystem gekoppelt wird, können nicht nutzbare Überschüsse im Sommer "verpuffen".

Solarthermieanlagen für die Warmwasserbereitung werden mit zunehmender Zahl der Personen im Haushalt wirtschaftlicher. Die finanziellen Förderungen durch Bund, Länder und Gemeinden unterstützen hier zusätzlich. Beispiel: Eine 10 m² große Anlage spart unter günstigen Umständen jährlich etwa 2.500 kWh Erdgas ein. Bei einem Gaspreis von beispielsweise 13 Cent je Kilowattstunde (kWh) sind das etwa 325 Euro im Jahr. Bei niedrigen Betriebskosten von rund 150 Euro im Jahr beträgt die Einsparung innerhalb von 20 Jahren circa 3.500 Euro.

Es geht auch beides!

Wer nur kleine Dachflächen zur Verfügung hat und weder auf die Erzeugung von Strom noch Warmwasser verzichten möchte, kann auch kombinierte Lösungen nutzen. Bei sogenannten PV-T Modulen (kurz für "photovoltaisch-thermisch") werden PV-Module zur Stromerzeugung auf der Oberseite mit Solarthermie-Kollektoren auf der Unterseite kombiniert. Der Vorteil: Auf der gleichen Dachfläche kann neben Strom auch Wärme erzeugt werden. Gleichzeitig werden die PV-Module durch die Solarthermiekollektoren gekühlt, was die Effizienz steigert. Der Nachteil: Die Installation ist relativ aufwändig und es gibt noch nicht viele fachkundige Installationsbetriebe, die diese Technik anwenden. Außerdem kann der Wartungsaufwand der sonst recht wartungsarmen PV-Technologie durch die kombinierte Nutzung erhöht werden. Vielversprechend ist auch die Kombination einer Solarthermieanlage mit einer Wärmepumpe: Bereits geringe Temperaturerhöhungen des solarthermischen Wasserkreislaufs, dem die Wärmepumpe die Wärme entnimmt, können die Effizienz der Wärmepumpe steigern. Insbesondere in Kombination mit einer PV-Anlage kann diese auch in Bestandsgebäuden dazu beitragen, effizient zu heizen. Weitere Infos zum Thema PV und Wärmepumpe finden Sie auf der nächsten Seite.

Fazit

Ob Sie sich zur solarthermischen oder photovoltaischen Nutzung der Solarenergie entscheiden, ist nicht nur eine finanzielle Frage. Auch die Dachausrichtung und Ihr persönliches Verbrauchsverhalten spielen eine maßgebliche Rolle. Das Wichtigste ist jedoch, dass Sie Ihr Dachpotenzial nicht ungenutzt lassen!



Förderungen

Förderung für Solarthermie-Anlagen?

Die Installation und das Nachrüsten einer bestehenden Heizungsanlage durch Solarthermie wird mit 25 % der förderfähigen Kosten durch das BAFA bezuschusst.

Das gilt auch für die Kombination aus Wärmepumpe und Solarthermie-Anlage. Hier sind bis zu 40 % Förderung möglich.

Weitere Links und Infos:



www.verbraucherzentrale-energieberatung.de/erneuerbare-energien/solarthermie/

Wärmepumpen - ein geniales Prinzip!

Interview mit **Peter Klafka**

Interview von Februar 2023 — *Taalke Wolf & Kyra Schäfer*



Peter Klafka

ist promovierter Elektrotechniker und Mitglied von Scientists for Future. Er bietet seit Jahren Bildungsveranstaltungen zur Energiewende an.

Sein Ziel: die Fakten zum Klimawandel, zur Energiewende und zu Wärmepumpen so verständlich wie möglich zu erklären. Wärmepumpen bezeichnet Peter als „sein Hobby“. Schon vor 20 Jahren hat er die Installation von Wärmepumpen begleitet – und die laufen immer noch, ohne jegliche Schäden.

Viele der Energiewende-Technologien, die jetzt aktuell im Gespräch sind, gibt es schon seit etlichen Jahren. Sind Wärmepumpen nur wegen des Ukraine-Krieges gerade hoch im Kurs?

Ja, der Überfall auf die Ukraine hat sehr stark gefördert, dass die Menschen jetzt darauf schauen, wie man Energie und Geld sparen kann. Die Wärmepumpe ist eine Technik, die beides ermöglicht.

Wie funktioniert denn so eine Wärmepumpe?

Wärmepumpen sind ziemlich genial, weil man es heute mit modernen Wärmepumpen schafft, mit nur einer Kilowattstunde Strom bis zu fünf Kilowattstunden Wärme ins Haus zu bringen. Dabei wird die Wärme von außen ins Haus hineingepumpt. Im optimalen Fall werden vier Kilowattstunden Wärme von außen zum Beispiel der Luft entnommen und mit einer Kilowattstunde Strom ins Haus transportiert. Der eingesetzte Strom wird dabei auch zu Wärme. So erhält man fünf Kilowattstunden Wärme im Haus.

Und wofür wird der Strom benötigt?

Der Strom wird fürs Pumpen der Wärme benötigt. Jetzt fragt man sich natürlich: Wie pumpt man Wärme? Da gibt es ein geniales Konzept: Man nimmt ein sogenanntes Kältemittel, eine Flüssigkeit, die sogar bei Minus 10 Grad verdampft und dabei Wärme aufnimmt. Dieses Kältemittel pumpt man immer wieder durch den geschlossenen Kreislauf in der Wärmepumpe. Nun wird von außen Luft in das System der Wärmepumpe befördert, die eine gewisse Temperatur, zum Beispiel 8 Grad, hat. Von diesem Energieträger nimmt das Kältemittel die Wärme auf und verdampft dabei. In einem Kompressor (Verdichter) wird das gasförmige Kältemittel anschließend zusammengepresst, wodurch die Wärme auf eine höhere Temperatur gebracht wird. Abgegeben wird sie dann an das Wasser des Heizungskreislaufs im Haus. Dabei wird das Kältemittel wieder flüssig und kann wieder Wärme von außen aufnehmen (siehe Abb.). Die Kunst dabei ist, eine Flüssigkeit zu finden, die bei minus 10 Grad draußen verdampft und für diesen Kreislauf geeignet ist.

Damit es auch im Winter funktioniert.

Genau. So funktioniert die Wärmepumpe auch im richtig kalten Winter. Und so kann man halt eiskalter Luft, minus 10 Grad kalter Luft, immer noch Wärme, also Energie, entziehen. Die verlässt dann diesen äußeren Teil der Wärmepumpe mit minus 15 Grad.

Du hast jetzt die Luft-Wasser-Wärmepumpe genannt. Welche anderen Arten von Wärmepumpen gibt es denn noch?

Es gibt noch die Geothermie-Wärmepumpe oder Bodenkollektor-Wärmepumpe. Da nutzt man als Wärmequelle den Boden. Bei der Geothermie bohrt man etwa 100 Meter tief in die Erde. Dort werden zwei oder vier Rohre eingelassen durch die eine Flüssigkeit (Sole) nach unten und wieder hochgepumpt wird. Dabei nimmt sie Wärme aus dem Erdboden auf. In 100 Meter Tiefe hat diese „Wärme“ eine Temperatur von etwa acht Grad. Das ist nicht viel, aber der Vorteil ist, dass diese acht Grad die ganze Zeit zur Verfügung stehen. Auch wenn es draußen bitterkalt ist.

Bei der Bodenkollektor-Wärmepumpe werden Kunststoffleitungen horizontal wie „Schlangen“ im Garten verlegt. Nur leider nicht direkt unter dem Rasen, sondern in 1,5 bis zwei Meter Tiefe. Das ist also fürs Nachrüsten nicht besonders gut geeignet. Bei dieser Erdkolkollektor-Wärmepumpe wird auch eine Sole verwendet. Die kommt dann mit acht Grad ins Haus rein. Dort kühlt man damit das Kältemittel auf etwa drei Grad plus ab und pumpt die Sole wieder in den Boden, wo sie erneut erwärmt wird. Allerdings kühlt der Boden nach und nach aus, sodass am Ende der Heizperiode oft auch nur noch zwei Grad warme Sole aus dem Boden rauskommt.



Abb 1 — Luft-Wasser-Wärmepumpe. Als Wärmequelle dient hier die Außenluft, die durch einen Ventilator angesogen wird. Foto: Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V. •

Kältemittel - Fluch und Segen zugleich

An das Kältemittel der Wärmepumpe werden hohe Ansprüche gestellt. Wegen technischer Vorteile werden bisher viele synthetische Kältemittel verwendet, die sogenannten Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW). Diese weisen eine sehr hohe Klimaschädlichkeit auf, wenn sie in die Umwelt gelangen. Beim Bau und Betrieb einer Wärmepumpe ist also Vorsicht geboten, dass das Kältemittel nicht entweicht!

Doch es gibt auch natürliche Kältemittel, die deutlich umweltfreundlicher sind: Beispielsweise Propan (R290) oder CO₂. In Zukunft soll der Anteil natürlicher Kältemittel in Wärmepumpen immer weiter zunehmen. Mehrere Hersteller bieten schon heute Wärmepumpen mit Propan an.

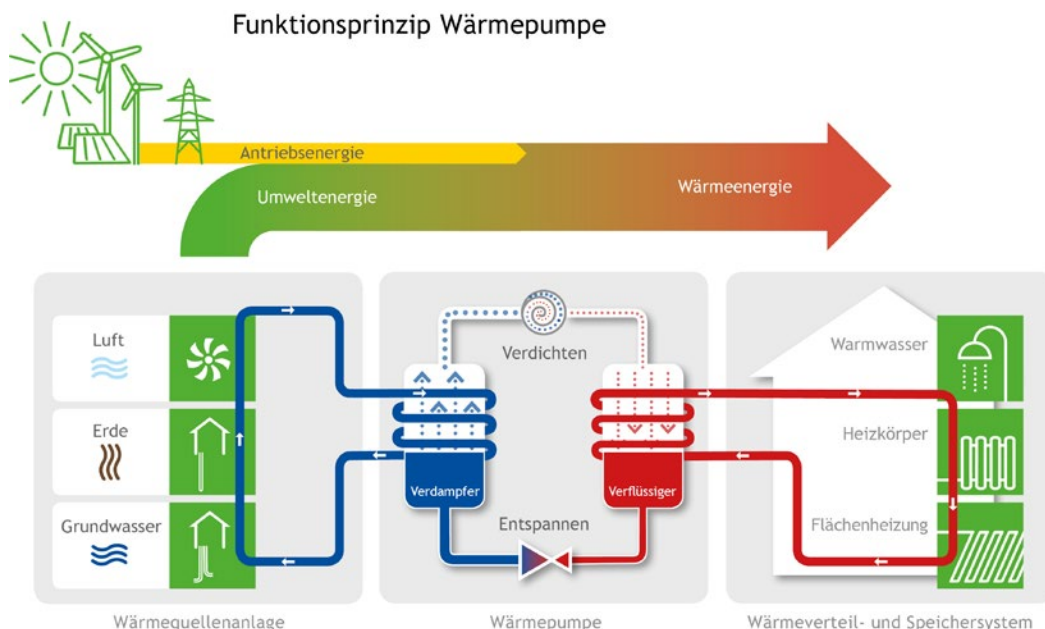


Abb 2 — Funktionsprinzip einer Wärmepumpe: Als Wärmequelle dient die Außenluft oder Sole, die im Erdreich erwärmt wird (links). In der Wärmepumpe (Mitte) wird die Wärme im Verdampfer an das Kältemittel übertragen. Durch Druckerhöhung wird das Kältemittel verflüssigt, welches die Wärme an den Heizungskreislauf des Hauses (rechts) abgibt. Grafik: Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V. •

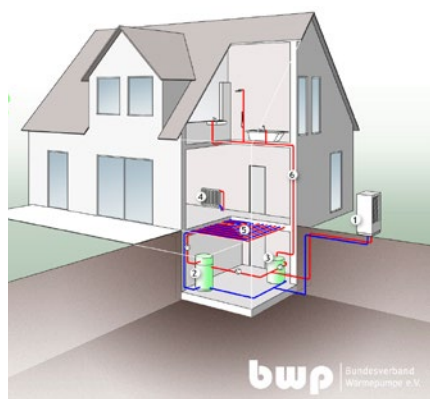


Abb 3 — Luft-Wasser-Wärmepumpe: Der Außenluft wird Wärme entnommen und so der Wasserkreislauf des Heizsystems aufgeheizt. Grafiken: Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V. •

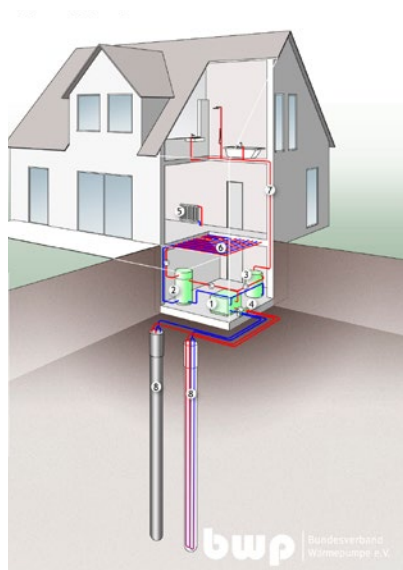


Abb 4 — Geothermie-Wärmepumpe: Über eine Tiefenbohrung von ca. 100m und Erdwärmesonden kann der Erde Wärme entnommen werden •

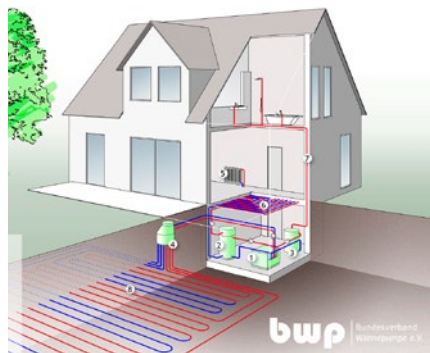


Abb 5 — Flächenkollektor - Wärmepumpe: Es gibt verschiedene Varianten, z.B. Graben-, Ringgraben-, oder Boden-Kollektoren. In ca. 2 m Tiefe werden schlangenförmig Rohre verlegt. Die Wärme wird der Erde entzogen. •

Das heißt, zum Nachrüsten sind die Luft-Wärmepumpen am geeignetsten?

Das ist am einfachsten. Das zweite ist die Geothermie, weil der Garten nur an einer Stelle kaputt gemacht wird. Die Graben-, Ringgraben-, oder Boden-Kollektoren sind da eher unpraktikabel. Bei Neubauten ist das wiederum einfach und preiswert.

Oft heißt es: Eine Wärmepumpe lohnt sich eh nur in Neubauten, stimmt das?

Die Frage ist: Wann ist eine Wärmepumpe geeignet? Man könnte meinen: sobald sie die Menge Wärme produziert, die das Haus braucht. Aber das ist nur richtig, wenn das Haus die bereitgestellte Wärme mit einer niedrigen Temperatur nutzen kann. Wenn das Heizungssystem im Haus aber eine sehr hohe Temperatur im Vorlaufsystem benötigt, funktioniert das mit einer Wärmepumpe nicht, oder ist zumindest sehr ineffizient. Neubauten zum Beispiel benötigen die Heizungswärme meist auf einer sehr niedrigen Temperatur. Hier kann eine Wärmepumpe sehr effizient arbeiten und tatsächlich den Faktor 5 erreichen, also mit einer Kilowattstunde Strom fünf Kilowattstunden Wärme erzeugen.

Je höher die Temperatur ist, auf der die Wärme benötigt wird, desto weniger effizient wird die Wärmepumpe. In Bestandshäusern muss man daher prüfen, ob der Vorlauf des Heizungssystems, also die heißeste Stelle des Wasserkreislaufs, mit Temperaturen möglichst unter 50 Grad auskommt. Wenn man an einem kalten Tag draußen mit Vorlauftemperaturen von 40 Grad auskommt, dann ist das Haus sehr gut für eine Wärmepumpe geeignet.

Machen wir mal ein Fallbeispiel: Ich bin Hauseigentümerin und möchte jetzt eine Wärmepumpe einbauen. Wie muss ich vorgehen, um zu prüfen, ob mein Haus geeignet ist?

Mein Tipp ist, zuallererst mal zu prüfen, wie hoch die Vorlauftemperatur des Heizungssystems sein muss, damit das Haus noch behaglich warm wird. Das macht man möglichst bei Außentemperaturen um oder unter Null Grad, während die Heizung läuft. Bei den meisten Heizungssystemen ist die Vorlauftemperatur übrigens viel zu hoch eingestellt. Im Heizungsmenü, also im Menü der Heizungssteuerung, kann die manuell nachjustiert werden. Die Temperatur senkt man auf so einen niedrigen Wert, dass das Haus gerade noch behaglich warm ist. Mit der Temperatur würde dann auch eine Wärmepumpe laufen. Und wenn man bei Null Grad Außentemperatur nicht unter die 50 Grad Vorlauftemperatur kommt, sollte man in jedem Fall Maßnahmen ergreifen, damit die Temperatur gesenkt werden kann.

Was wären das für Maßnahmen?

Es gibt eine Menge Maßnahmen, um das Haus mit niedrigeren Vorlauftemperaturen noch warm zu bekommen. Zum Beispiel die Dämmung verbessern. Oder die Heizkörperflächen vergrößern, über größere Heizkörper oder einen weiteren Heizkörper. Eine bessere Durchströmung der Heizkörper kann auch helfen, durch einen hydraulischen Abgleich zum Beispiel. Die preiswerteren Maßnahmen sind die Kellerdämmung und der Einbau dickerer Heizkörper, die auch bei niedrigen Heizungstemperaturen viel Wärme in den Raum abgeben können.

Der wesentliche Energieträger für eine Wärmepumpe ist Strom. Macht es überhaupt schon Sinn, eine Wärmepumpe nachzurüsten, wenn unser Strommix noch mit Gas und Kohlekraftwerken befeuert wird? Wäre es nicht effizienter, das Gas direkt in meiner Gasheizung zu verbrennen?

Das ist eine sehr berechtigte Frage. In der idealen Welt würde man jetzt erst die Regenerativen ausbauen, um danach Wärmepumpen einzubauen. Aber wir haben nicht die Zeit, die Schritte nacheinander zu machen, sondern müssen jetzt beides gleichzeitig tun. Und eine Wärmepumpe, die sehr effizient ist, ist heute schon auf keinen Fall schlechter, als Gas zu verbrennen. Selbst wenn der Strom für die Wärmepumpe zu 100 % aus Gas- und Kohlekraftwerken kommt.

Wie kann das sein?

Man braucht in einem effizienten Gaskraftwerk zwei Kilowattstunden Gas, um eine Kilo-

wattstunde Strom zu erzeugen. Und in einer effizienten Wärmepumpe macht man mit der einen Kilowattstunde Strom 3, 4, oder 5 Kilowattstunden Wärme, sodass hinterher aus zwei Kilowattstunden Gas, die in das Gaskraftwerk reingehen, hinten vier oder fünf, oder wenn es schlecht läuft, nur drei Kilowattstunden Wärme herauskommen. Das ist immer noch deutlich mehr als mit einer Gas-Heizung, wo aus einer Kilowattstunde Gas nur 0,9 Kilowattstunden Wärme rauskommt.

Bei Gaskraftwerken ist der Wirkungsgrad des Kraftwerks ungefähr 50 %, d.h. aus zwei Kilowattstunden Gas macht man eine Kilowattstunde Strom. Kohlekraftwerken sind meistens ineffizienter. Da braucht man schon zweieinhalb bis drei Kilowattstunden Kohle, um eine Kilowattstunde Strom zu erzeugen. Wenn man eine Wärmepumpe hat, die daraus dann nur drei Kilowattstunden Wärme schafft, ist man so gerade bei Null. Das wäre aber auch noch okay. Das ist der Grund dafür, warum es berechtigt ist, schon heute Wärmepumpen einzubauen. Je mehr wir die Windkraft und die Photovoltaik ausbauen, desto besser wird die Umweltbilanz der Wärmepumpe, da dann ein immer höherer Stromanteil aus regenerativen Quellen kommt.

Stimmt es, dass ich überall Fußbodenheizung brauche, wenn ich eine Wärmepumpe einbaue?

Das ist so ein Mythos, der um die Wärmepumpe herum rankt, aber das ist nicht wahr. Was man braucht, ist ein Heizsystem, das mit möglichst niedrigen Vorlauftemperaturen die Wärme abgeben kann, die man braucht. Die Fußbodenheizung kann das gut, weil sie eine große Fläche hat. Und wenn man eine große Fläche zur Wärmeabgabe hat, braucht man natürlich auch eine geringere Temperatur, als wenn man einen ganz kleinen Heizkörper hat. Aber in vielen Gebäuden sind die Heizkörper stark überdimensioniert für den Wärmebedarf der Räume. Und das ist gut für den Einsatz einer Wärmepumpe, denn die großen Heizkörper ermöglichen es, mit niedrigen Heizungstemperaturen die Räume warm zu bekommen.

Dass die Heizkörper eher groß sind, ist teilweise historisch begründet, z.B. wenn das Haus früher schlecht isolierte Fenster hatte, oder es mittlerweile eine Außendämmung gibt und so weiter. Der andere Grund ist, dass die meisten Heizungsinstallateure die Heizkörper lieber etwas zu groß als zu klein einbauen, weil eine potenzielle Nacharbeit viel Ärger macht. Und deswegen sind die meisten Heizkörper eher überdimensioniert.

Das klingt nach guten Voraussetzungen, um eine Wärmepumpe nachträglich einzubauen.

In den meisten Häusern und den meisten Räumen gibt es gute Voraussetzungen. Oft gibt es einen einzelnen Raum, der ein Problem macht. Das ist vielleicht das Badezimmer, wo man es gern schnuckelig warm hätte und das oft nur einen relativ kleinen Heizkörper hat - der auch noch mit Handtüchern voll belegt ist, so dass die Wärmeabgabemenge im Raum dann zu niedrig ist. (lacht)

Wenn so ein Raum nicht warm genug wird, sobald man die Vorlauftemperatur senkt, muss man nicht gleich die gesamte Wärmepumpe abschreiben, sondern überlegen, wie man in dem Raum das Problem löst. Das kann ein zweiter Heizkörper sein. Oder man rüstet an der Decke einen Deckenheizkörper nach. Da gibt es so Kassetten zum Nachrüsten, die die ganze Decke dazu bringen, Wärme abzustrahlen. Und damit kommt man auf ganz niedrige Vorlauftemperaturen.

Machen in solchen Räumen auch Infrarotheizungen Sinn? Diese Module, die man einfach so an die Wand hängt.

Das sind die Elektro-Direkt-Heizungs-Infrarotstrahler. Das darf man jetzt nicht verwechseln. Die Deckenheizung, die ich genannt habe, das ist eine wasserdurchströmte Deckenheizung, die das normale Heizsystem nutzt und damit auch dafür sorgt, dass man diese super Effizienz der Wärmepumpe von einer Kilowattstunde Strom zu vier oder fünf Kilowattstunden Wärme hinbekommt. Die Strom-Direktheizungs-Flächenstrahler machen aus einer Kilowattstunde Strom nur eine Kilowattstunde Wärme, sind also um den Faktor 4 bis 5 ineffizienter.



Nützliche Links

Eine Liste der förderfähigen Wärmepumpen des BAFA (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle) ist hier zu finden:



https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/beg_waermepumpen_pruef_effizienznachweis.pdf?blob=publicationFile&v=3



Literaturtipp



Wärmepumpen in Bestandsgebäuden

Sie sind überzeugt und möchten sich umfassender über die Anschaffung einer Wärmepumpe informieren? Im Buch "Wärmepumpen in Bestandsgebäuden" werden Ihnen die Chancen und Herausforderungen dieser Technologie anschaulich vorgeführt. Wüstenrot-Stiftung, kostenfrei.

www.wuestenrot-stiftung.de/publikationen/waermepumpen-in-bestandsgebaeuden-download/





Abb 7 — Wärmwasserspeicher im Heizungskeller zur Speicherung der Wärme.
Foto: Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V. •

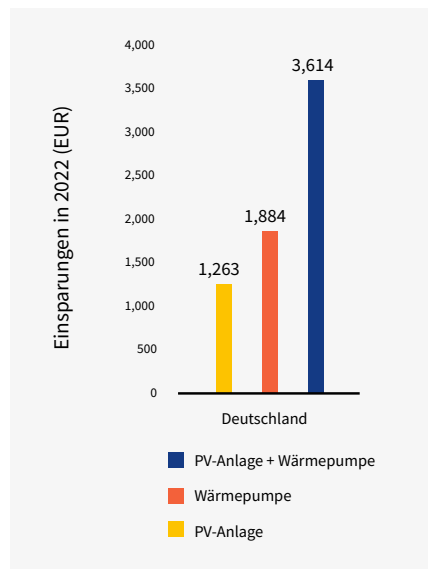


Abb 8 — Laut Solarpower Europe sind die jährlichen Einsparungen in der Wärme- und Stromversorgung durch den kombinierten Einsatz von PV-Anlage und Wärmepumpe am größten •

Was würdest du denn den Haushalten raten, deren Haus für eine Wärmepumpe zum Beispiel wegen fehlender Dämmung nicht geeignet ist?

Den Typ Luft-Luft-Wärmepumpe kann man relativ leicht zusätzlich einbauen. Der hilft, um die Menge des benötigten Gas oder Öl der Heizung zu reduzieren. Man kann ausgewählte Räume mit so einer Luft-Luft-Wärmepumpe beheizen. Für eine Übergangsphase ist das wesentlich billiger, als das vorhandene Heizungssystem umzustellen, wenn man eine sehr effiziente Luft-Luft-Wärmepumpe kauft.

Wie funktioniert die Luft-Luft-Wärmepumpe?

Bei der Luft-Luft-Wärmepumpe wird die Außenluft verwendet, um Wärme zu bekommen. Im Haus werden damit ein oder mehrere Räume über eine Art Luftventilator erwärmt, der die Luft in dem Raum umwälzt. Es wird also Luft aufgewärmt, nicht das Wasser im Heizungssystem. Das kann eine gute Option sein, um einen Schritt voranzukommen. Um in einem Einfamilienhaus die oft genutzte untere Etage zu erwärmen, zum Beispiel. Wenn das nicht reicht, schaltet man die Heizung halt mit an.

Der zweite Tipp ist, eine separat laufende Warmwasser-Wärmepumpe zu installieren. Diese Wärmepumpe kann man in den nicht isolierten Keller stellen, und die nutzt die Wärme aus der Kellerluft, sodass der Keller so ungefähr vier Grad kälter wird, als er normalerweise ist. Damit hat aber die Wärmepumpe eine relativ hohe Temperatur, etwa zehn Grad dauerhaft. Daraus macht sie dann 55 Grad für das Warmwasser. Das ist sehr leicht nachrüstbar und mit Kosten von ca. 2000 Euro für das Gerät inklusive Wärmwasserspeicher plus Installation auch relativ preiswert. Man erreicht eine Effizienz von ca. 3, also aus einer Kilowattstunde elektrischer Energie bekommt man drei kWh Wärme. Die dem Keller entnommene Wärme zieht selbstständig durch den Kellerboden und Kellerwänden aus dem Erdreich nach.

Die Wärmepumpe ist vor allem in den Wintermonaten relevant. Das sind genau die Monate, wo der Ertrag einer eigenen PV-Anlage gering ist. Ist es trotzdem möglich, den eigenen Strombedarf durch die Wärmepumpe von einer PV Anlage zu decken?

Man kann mit der Kombination von Photovoltaik und Wärmepumpe nicht autark werden. Das gelingt nicht, weil wir etwa zehn Wochen im Jahr haben, in denen die Stromerzeugung durch die PV-Anlage an den allermeisten Tagen sehr gering ist, und damit es schon schwierig genug ist, den normalen Strombedarf eines Hauses zu decken. Das ist ungefähr von Mitte November bis Anfang Februar. Der zusätzliche Strombedarf durch die Wärmepumpe kann da meist nicht erzeugt werden. Dafür brauchen wir dann andere Energieträger - z. B. Windenergie.

Aber die Heizperiode selber ist ja viel länger! Je nachdem wie das Wetter ist, fängt die Ende September an und geht bis in den Mai. Und in diesen Zeiten, also im September, Oktober, März, April, Mai, hat man durch die eigene Photovoltaikanlage normalerweise schon Überschüsse. Damit kriegt man schon höhere Eigendeckungsanteile.

Wie hoch die eigene Deckung des durch die Wärmepumpe benötigten Stroms letztlich ist, hängt aber sehr stark davon ab, wie effizient die Wärmepumpe ist und auch wie hoch der Warmwasserbedarf ist. Der Wasserbedarf besteht ja das gesamte Jahr und kann natürlich auch im Sommer von der Wärmepumpe mit PV-Strom komplett gedeckt werden.

Gerade in diesen Übergangszeiten, wenn es draußen schon schön warm ist und man tagsüber vielleicht sogar schon im Garten sitzen kann und man abends, wenn die Sonne weg ist und es kalt wird, reingeht und die Heizung anmacht. Bin ich da nicht auch auf einen Speicher angewiesen, um den Strom der Solaranlage für meine Wärmepumpe nutzen zu können?

Das Beispiel zeigt genau die Problematik: Der Bedarf an Wärme besteht oft nicht dann, wenn die Photovoltaikanlage den Strom erzeugt. Relativ preiswert entkoppeln kann man das durch einen Wärmespeicher. Einmal fürs Warmwasser und für die Heizung. Diese Speicher umfassen 100 bis 2000 Liter. Das Wasser erwärmt man tagsüber, während die Sonne scheint und nutzt es abends zum Heizen und Warmwasser.

Ist so ein Warmwasserspeicher sinnvoller als ein Batteriespeicher, mit dem Strom die Wärmepumpe auch direkt betrieben werden könnte?

Im Moment ist die Kilowattstunde Energie im Warmwasserspeicher wesentlich billiger als im Batteriespeicher. Man kann so eine Faustformel nehmen: Um 30 Liter Wasser um 30 Grad wärmer zu machen, braucht man eine Kilowattstunde. Nehmen wir mal an, das Wasser kommt mit 20 Grad ins Haus und ich muss es auf 50 Grad bringen, um Warmwasser zu haben. Dafür habe ich einen 300 Liter-Tank. Dann mache ich zehnmal 30 Liter um 30 Grad wärmer, d.h. mein Warmwasserspeicher hat 10 Kilowattstunden Speicherkapazität. Ein 10-kWh-Batteriespeicher kostet richtig Geld. Dieser 300-Liter-Speicher kostet dagegen vielleicht 1.000 - 2000 €. Aber jetzt wird es komplizierter (lacht). Muss man nämlich eigentlich so rechnen: Um die gleiche Menge Warmwasser zu machen, brauche ich ja nur 1/3 der Kilowattstunden aus der Batterie. Weil die Wärmepumpe bei den Warmwasserspeichern einen Effizienzfaktor von Drei erreicht, sodass der Unterschied gar nicht mehr so riesengroß ist.

Und braucht man zwingend einen Warmwasserspeicher oder kann man eine Wärmepumpe auch ohne Warmwasserspeicher betreiben?

Die Wärmepumpe schafft es nicht, das Warmwasser kurzfristig zu erhitzen, wenn ich zum Beispiel duschen will. Um das Wasser zum Beispiel per Durchlauferhitzer warm zu machen, braucht es eine Leistung von 20 kW. Die Wärmepumpe selber legt man aber gar nicht so groß aus, die hat vielleicht 10 kW. Daher braucht man den Warmwasserspeicher auf jeden Fall. Den kann man auch ein bisschen größer dimensionieren.

Und ressourcenschonender ist so ein Warmwasserspeicher im Vergleich zu einem Batteriespeicher auf jeden Fall.

Ja. Das ist ein bisschen Stahl und ein bisschen Isolierung.

Und sollte man den Batteriespeicher dann kleiner dimensionieren?

Warum will man überhaupt einen Batteriespeicher kaufen, wäre die Frage! Aus wirtschaftlichen Gründen lohnt sich das momentan nicht. Die Mehrkosten für den Batteriespeicher fressen den finanziellen Nutzen des erhöhten Eigenverbrauchs vollständig auf. Aus wirtschaftlichen Gründen wäre die empfohlene Dimensionierung des Speichers also Null Kilowattstunden. (lacht).

Jetzt gibt es noch den Grund, dass man autark sein will. Dafür muss man einen Batteriespeicher bauen, der vom Netz unabhängig laufen kann. Das nennt sich Inselsystem. Für ein Einfamilienhaus sollte man Kapazitäten von sicherlich 10 Kilowattstunden haben, damit man wenigstens in acht Monaten im Jahr das Gefühl hat, durch die Nacht - genauer gesagt maximal ein bis zwei Nächte zu kommen, auch wenn das Netz ausfällt. Aber ökologischer wird es dadurch nicht.

Also als ökologische Anleitung: als erstes die Handtücher von der Heizung nehmen (lacht), als zweites Vorlaufemperatur runterdrehen, und dann in eine Wärmepumpe mit Warmwasserspeicher und PV-Anlage investieren.

Genau. Und die PV-Anlage immer möglichst groß bauen. Weil man den Strom für die Wärmepumpe mitdenken sollte und die Elektro-Ladesäule fürs Auto.

Viele warten ja gerade auf ihre Wärmepumpen. Gibt es irgendwelche Anzeichen, dass der Markt hinterherkommt mit der erhöhten Nachfrage?

Es gibt einen starken Ausbau der Fertigungskapazitäten. Ein großer Hersteller von eigentlich Gaskesseln investiert jetzt z.B. über drei Jahre jedes Jahr dreihundert Millionen Euro, um Fertigungskapazität aufzubauen. Also da passiert schon viel und das gilt auch für andere Hersteller. Also der Markt kommt ganz sicher ins Rollen.

Wir danken dir für das Gespräch!

! Wichtig: Kennzahlen

Auf welche Kenngrößen sollten Sie beim Kauf einer Wärmepumpe achten?

Die Leistungszahl (COP):

Beschreibt den Faktor, aus wie viel Strom wie viel Wärme unter bestimmten Bedingungen bereitgestellt werden kann. Je größer der COP, desto effizienter die Wärmepumpe. Typische Werte liegen zwischen 3,5-5,5.

Die Saisonale Leistungszahl (SCOP):

Gibt die im Jahresverlauf gemittelte Effizienz unter Berücksichtigung des Heizstabeinsatz und Abtau-Verlusten an. der SCOP wird üblicherweise für Nieder- und Mitteltemperaturverwendung (Vorlauftemperatur von 35 bzw. 55°C) angegeben.

Die Jahresarbeitszahl (JAZ):

gibt die im Jahresdurchschnitt erbrachte Effizienz der Wärmepumpe an. Sie ist also repräsentativer für den ganzjährigen Betrieb der Anlage. Typische Werte liegen zwischen 2,5-4,5.



Vorträge & Infos



Peter Klafka hält regelmäßige Vorträge über Wärmepumpen. In Kooperation mit dem SFV findet der nächste Vortrag online am 21. Juni statt. Anmeldung und weitere Infos, sowie die Aufzeichnung des letzten Vortrags:



www.sfv.de/aktuelles/termine



<https://cloud.sfv.de/s/jRSbQoHZtwPfpSb>



[www.sfv.de/
waermepumpen-
ein-geniales-prinzip](http://www.sfv.de/waermepumpen-ein-geniales-prinzip)

Stromspeicher Ja oder Nein?

Der Wunsch, PV-Strom zu speichern und später selbst zu verbrauchen, ist bei vielen Anlagenbetreiber:innen groß. Mit einem Speicher kann die Eigenverbrauchsquote von ca. 30 % auf ca. 60-70 % erhöht werden. Auf den folgenden Seiten möchten wir auf die wichtigsten Punkte bei Batteriespeichern eingehen. Batterietechnologien, der Unterschied zwischen AC- und DC-geführten Systemen, Kosten & Dimensionierung sowie die Notstromfähigkeit.



Speicher nicht immer sinnvoll

Nicht immer lohnt sich ein Speicher auch finanziell. Durch die zusätzlichen Kosten beeinflusst er die Wirtschaftlichkeit der PV-Anlage. Weiterhin sollte die geringere Lebensdauer des Speichers von 10-15 Jahren mitgedacht werden. Schauen Sie sich die Wirtschaftlichkeitsberechnung genau an.

Grundsätzlich ist ein Batteriespeicher im Eigenheim nicht sofort ökologisch, denn mehr Grünstrom wird durch ihn nicht erzeugt, und er benötigt Ressourcen. Speicher können jedoch die Stromnetze lokal entlasten, so dass mehr PV-Anlagen angeschlossen werden können. Wenn die Batteriespeicher über die "Solarstromoptimierung in den eigenen vier Wänden" hinaus auch Netzdienstleistungen übernehmen oder als Quartierspeicher die Nachbarschaft beliefern können, steigt ihr Beitrag zur Energiewende.

Zelltechnologien

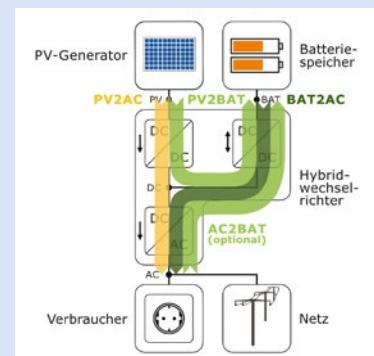
Es gibt verschiedene Zelltechnologien am Markt. Am weitesten verbreitet sind jedoch Lithium-Ionen-Speicher. Aufgrund ihrer hohen Energiedichte und der hohen Lade- und Entladeleistung werden sie aktuell für die meisten Anwendungen eingesetzt. Lithium-Batterien lassen sich weiter unterteilen in NMC (Li-Nickel-Mangan-Kobalt), NCA (Li-Nickel-Kobalt-Alu-Oxid) und LFP-Zellen (Lithium-Eisenphosphat). NMC und NCA wurden vor allem in mobilen Anwendungen eingesetzt. Mittlerweile setzen sich bei E-Autos und Hausspeichern aufgrund der Temperaturstabilität und weniger benötigten seltenen Erden (z.B. Kobalt) immer mehr LFP-Speicher (auch LiFePO4 genannt) durch.

Weitere interessante Zelltechnologien sind Natrium-Ionen-Speicher. Ihr großer Vorteil: Natrium muss nicht wie Lithium in aufwendigen Verfahren im Bergbau abgebaut werden. Sie sind, verglichen mit Lithium, aktuell noch teurer und haben eine geringere Energiedichte und geringere Leistungsdaten, wie kürzlich auch die Speicher-Inspektion 2023 der HTW-Berlin feststellte.

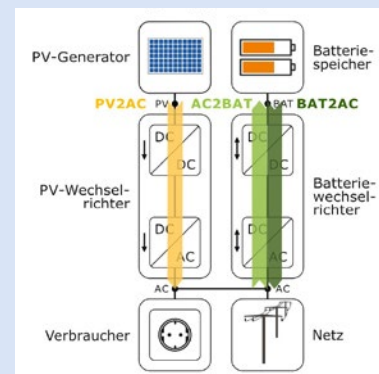
AC- oder DC-Speicher

Batteriezellen speichern in der Regel Gleichstrom. Ein Wechselrichter muss den Strom in Wechselstrom umwandeln, um ihn im Hausnetz nutzbar zu machen. Wenn Batterie und PV gleichzei-

tig installiert werden, wird heute meist ein Hybridwechselrichter (siehe Infoseite zu Wechselrichtern auf S.51) eingesetzt, der beide Komponenten steuern kann. Man spricht von einem **DC-geführten oder -gekoppelten System**, da PV-Module und Batterie gleichstromseitig (DC) an den Hybridwechselrichter angeschlossen werden.



Ein **AC-geführtes oder -gekoppeltes System** besitzt getrennte Wechselrichter für PV und Speicher. Wenn bereits eine PV-Anlage mit PV-Wechselrichter existiert, kann somit ein Batteriewechselrichter mit Speicher nachgerüstet werden. Batteriewechselrichter und Speichermodule können "in einem Gehäuse" geliefert werden, es gibt sie aber auch als separate Komponenten. Der PV-Wechselrichter und der Batteriewechselrichter werden wechselstromseitig (AC) miteinander verbunden und daher als AC-gekoppelt bezeichnet. Beim Einspeichern wird der Strom zwischen PV- und Batteriewechselrichter systembedingt doppelt umgerichtet. Deshalb sind die Umwandlungsverluste höher und der Wirkungsgrad etwas niedriger als bei DC-geführten Systemen.



Heimspeicher - weitere Infos

Die Speicher-Inspektion der HTW-Berlin vergleicht jährlich sowohl AC- als auch DC-geführte Speichersysteme. Ein Blick lohnt sich!



www.solar.htw-berlin.de/studien/stromspeicher-inspektion-2023/





Notstrom, Ersatzstrom, Inselnetz – Was sind die Unterschiede?

Nicht jedes PV-System ist automatisch in der Lage, bei Netzausfall weiter das Haus zu versorgen. Wenn ein solches System gewünscht ist, sollte dies bei der Planung mitgedacht werden. Der Wechselrichter muss ein eigenes Netz aufbauen und bei weniger Strombedarf die PV-Leistung abregeln. Mit einem Batteriespeicher kann der Strom auch zwischengespeichert werden. In diesem Zusammenhang sind die Begriffe Notstrom, Ersatzstrom und Inselnetz üblich. In ihrer Bedeutung unterscheiden sie sich jedoch:



Ein **notstromfähiger Wechselrichter** kann bei Netzausfall entweder eine separate Steckdose mit Strom versorgen (die häufig direkt am Hybridwechselrichter ist), oder es wird ein bestimmter Stromkreis (z.B. Kühlschrank oder andere wichtige Verbraucher) 1-phasig versorgt. Diese Lösung ist mit wenig Aufwand und geringen Kosten umsetzbar. Der Nachteil ist jedoch, dass nicht das gesamte Haus versorgt wird, sondern nur ausgewählte Verbraucher, die an der separaten Notstromleitung des Wechselrichters hängen.



Eine vollständige Versorgung des Gebäudes über alle 3 Phasen wird **Ersatzstromsystem** genannt. Es muss zusätzlich eine Umschalteneinrichtung installiert werden, die das System bei Ausfall vollständig vom öffentlichen Netz trennt. Anschließend startet der Wechselrichter neu und versorgt das Gebäude mit Strom - allerdings nur so lange, wie die Solaranlage genug Strom liefert oder der Speicher gefüllt ist. Sobald das Netz wieder verfügbar ist, wird wieder umgeschaltet. Der größere Installationsaufwand und die zusätzliche Technik belaufen sich auf ca. 1500 bis 3000 €.



Inselnetze werden eingesetzt, wenn kein öffentlicher Netzanschluss vorhanden ist (z.B. Gebirgshütten etc.). Ein Parallelbetrieb zum öffentlichen Stromnetz ist nicht vorgesehen und die Technik wird auch nicht dafür ausgelegt. Die PV-Anlage, Wechselrichter und Batterien müssen so dimensioniert werden, dass die Stromversorgung bedarfsgerecht sichergestellt werden kann.



Worauf muss ich bei der Speicherwahl achten?

○ Kapazität/Dimensionierung

Zu große Speicher kosten viel Geld und benötigen unnötige Ressourcen. Einige Firmen verkaufen gerne etwas größere Speicher, als eigentlich benötigt wird. Wirklich ausnutzen können Sie die Kapazität aber selten. Es gibt zwei Faustregeln zur Dimensionierung: 1 kWh Speicherkapazität pro 1000 kWh Jahresstromverbrauch. Und 1 kWh Kapazität pro 1 kWp PV-Leistung. Zwischen diesen beiden Werten ist ein Speicher sinnvoll dimensioniert. Beispiel: 3000 kWh Jahresverbrauch, 8 kWp PV-Anlage ergibt einen Speicherkapazität zwischen 3 und 8 kWh. Abhängig vom Preis und ggf. Anschaffung einer Wärmepumpe etc. können Sie sich eher am unteren oder oberen Ende bewegen. Einige Hersteller ermöglichen auch eine spätere modulare Aufrüstung der Speicherkapazität innerhalb bestimmter Zeiträume.

○ Lebensdauer, Ladezyklen & Garantie

Batterien verlieren mit der Zeit und zunehmender Anzahl an Ladezyklen allmählich ihre Kapazität. Viele Hersteller geben Leistungsgarantien, z.B. 80 % der Kapazität nach 5000 Vollladezyklen oder 10 Jahren. Studien zeigen, dass LFP-Zellen eine höhere Zyklenfestigkeit und Entladetiefe aufweisen als NMC- und NCA-Zellen. Grundsätzlich geht man bei Batterien von einer Lebensdauer von etwa 10-15 Jahren aus. Die Zellen sind dann weiterhin nutz-

bar, jedoch sinkt ihre Kapazität mit jedem Betriebsjahr weiter. Auch der Batteriewechselrichter hat eine begrenzte Lebensdauer. Hersteller bieten oftmals eine Garantie von 5 bis 10 Jahren, die ggf. auch gegen Aufpreis verlängert werden kann.

○ Laderegulierung, Entladetiefe

Der Batteriespeicher besitzt ein Lademanagement, das automatisch dafür sorgt, dass schädliche Tiefentladungen vermieden werden. In Kombination mit einem Energiemanagement (das Stromverbraucher im Haus erfassen und ggf. steuern kann) ist es bspw. auch möglich, die Reihenfolge der Belieferung zu regeln: Erst der Haushalt, dann die Wärmepumpe, das E-Auto oder andere Geräte. Auch der Batterie-Ladezustand und die PV-Erzeugung kann berücksichtigt werden.

○ Preis

Abhängig von Zelltechnologie, Herstellungsland und AC- oder DC-geführten Systemen liegen die Marktpreise aktuell zwischen 600-1100 €/kWh. Langfristig geht man von sinkenden Preisen aus, durch Inflation oder andere Krisen können die Preise kurzfristig jedoch auch steigen - Beispiel Angriffskrieg auf die Ukraine und Gasmangel. Betrachten Sie die Speicherkosten in einer Wirtschaftlichkeitsberechnung genau und wägen Sie ab, ob sich das Investment aktuell lohnt oder nicht. Sie können den Speicher auch später zur PV nachrüsten.



Das kleine Solaranlagen 1x1

Organisatorische und rechtliche Aufgaben

Wer eine Investition in Solartechnik plant, ist im Vorfeld gut beraten, einen Überblick über Rechte und Pflichten als Anlagenbetreiber:in zu bekommen. Das ist bei der Vielzahl der Bestimmungen gar nicht so einfach. Die folgende Zusammenstellung kann Ihnen zunächst einen ersten Überblick über wichtige Gesetze und Normen verschaffen.

— Susanne Jung



Es fängt an mit dem EEG

Was ist das und warum ist es wichtig?

Das erste Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) stammt aus dem Jahr 2000 und wurde seitdem mehrfach novelliert und erweitert. Es regelt den Ausbau aller Erneuerbarer Energien (EE) - Solarenergie, Windenergie, Wasserkraft, Geothermie und Bioenergie. Neben Ausbaupfaden und Zielsetzungen werden Netzanschluss- und Netzausbaupflichten, technische Vorgaben, Vergütungsregelungen, Meldepflichten und vieles mehr definiert. Das aktuelle EEG 2023 enthält 104 Paragraphen, die sich in verzweigten Strukturen zahlreicher Regelungen aufblättern lassen. Viele Paragraphen verweisen auf andere Gesetze und weiterführende Verordnungen. Die Energiewende ist immer komplexer geworden. Viele Engagierte setzen sich deshalb für Vereinfachungen und den Bürokratieabbau ein - auch der SFV.

www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014



Fördermöglichkeiten

Wie funktioniert die Förderung von PV-Anlagen?

Alle Anlagenbetreiber:innen können für die Dauer von 20 Jahren (plus die Monate des Inbetriebnahmejahres) auf einen gesetzlichen Anspruch für eine festgelegte Vergütung pro eingespeiste Kilowattstunde Strom ins öffentliche Netz zurückgreifen. Die Höhe der Einspeisevergütung richtet sich nach der Leistung der Anlage, dem jeweiligen Standort, der Betriebsart (Volleinspeisung oder Eigenverbrauch) und dem Inbetriebnahmedatum.

Die Vergütungen sind bis Juli 2022 stetig gesunken. Nun wurde die Vergütung nochmal angehoben. Für Solaranlagen gelten vom 1.1.2023 - 31.1.2024 feste Vergütungssätze, die nach Anlagengröße gestaffelt sind. Wenn der Solarstrom vollständig in das öffentliche Stromnetz eingespeist wird, gibt es Zuschläge. Erst ab 1.2.2024 soll die Vergütung halbjährlich um 1 % gesenkt werden. (§§ 21, 25, 48 EEG 2023). Alle Vergütungen finden Sie hier:

www.sfv.de/solaranlagenberatung/eeg-verguetungen

Außerdem gibt es in manchen Städten zusätzlich noch kommunale Förderungen von PV-Anlagen und Speicher. Auf unserer Homepage gibt es eine (unvollständige) Liste.

www.sfv.de/solaranlagenberatung/foerderprogramme



Vergütungsrechner

Vergütungsrechner:

Auf unserer Homepage bieten wir eine Excel-Tabelle zum Download an, mit der Sie eine Berechnung Ihrer Vergütungen vornehmen können.

www.sfv.de/media/4763/download/SFV_EEG_23_Tool.xlsx?v=1

Alle EEG-Vergütungen im Überblick

Eine Übersicht aller Vergütungen nach Anlagenleistung und Betriebsmodell finden Sie hier:

www.sfv.de/solaranlagenberatung/eeg-verguetungen

Wer zahlt die Einspeisevergütung?

Der örtliche Netzbetreiber ist laut EEG verpflichtet, die Einspeisevergütung auszusahlen. Für Anlagen bis 30 Kilowatt wird die Vergütung in aller Regel als Nettobetrag ausbezahlt. Ausnahmen gelten für Anlagenbetreiber:innen, deren Bestandsanlagen am Umsatzsteuerverfahren teilnehmen. Wann dies der Fall ist, richtet sich nach der steuerlichen Einordnung, der wir uns später widmen (siehe Seite 42).

Wann erhalte ich die Vergütung?

Im EEG ist ein Recht auf Abschlagszahlung festgeschrieben. Zum 15. des Monats müssen zwölfmal im Jahr Abschläge überwiesen werden. Nach Ablauf des Jahres erfolgt eine Jahresendabrechnung entsprechend der tatsächlichen Stromeinspeisung. Wichtig ist, dass dem Netzbetreiber spätestens am 28. Februar des Folgejahres der Zählerstand der eingespeisten und eigenverbrauchten Kilowattstunden (bei einem Anspruch auf Eigenverbrauchsvergütungen aus den Jahren 2009 - 2012) des Vorjahres vorliegt. (§ 26 EEG 2023). Der Zählerstand wird entweder vom Zähler digital übertragen oder man liest die Zähler selbst ab und meldet den Stand per Post oder online dem Netzbetreiber.

Muss ich für die Einspeisevergütung einen Vertrag abschließen?

Viele Anlagenbetreiber:innen schließen nach Installation der Solaranlage einen Vertrag mit dem Netzbetreiber ab, weil sie diesen vom Netzbetreiber vorgelegt bekommen. Das ist allerdings gesetzlich gar nicht notwendig. Die Einspeisevergütung ist ein gesetzliches Schuldverhältnis und wird in jedem Fall gezahlt. Wenn Sie einen Vertrag erhalten, fragen Sie den Netzbetreiber am besten, ob im Vertrag etwas geregelt ist, was so nicht im EEG steht, bevor Sie unterschreiben.



Netzanschluss

Was muss ich beachten?

Was muss ich tun, damit meine Anlage an das öffentliche Netz angeschlossen wird?

Wer eine Solaranlage betreiben möchte, muss ein sogenanntes Netzanschlussbegehren beim Netzbetreiber eingereichen. Hier hilft in aller Regel der Installateurbetrieb weiter, da technische Daten übermittelt werden müssen. Der Netzbetreiber prüft, ob der Anschlusspunkt und das Stromnetz (meistens das Niederspannungsnetz) geeignet ist, den Strom aus der neu geplanten Solaranlage aufzunehmen. Für die Bearbeitung der Anträge gibt es zeitliche Fristen. Bei Anlagen bis 10,8 kW gilt: Wenn sich der Netzbetreiber nicht innerhalb von 4 Wochen zurückmeldet, gilt das als Zusage zum möglichen Netzanschluss. Bei Balkonkraftwerken bis 600 W muss man kein Netzanschlussbegehren stellen. Hier reicht eine vereinfachte Meldung beim Netzbetreiber. (§ 8 EEG 2023)

Wo wird meine Solaranlage angeschlossen?

Für eine oder mehrere Anlagen bis einschließlich 30 kW ist seit vielen Jahren im EEG festgeschrieben, dass der auf dem Grundstück bestehende Netzanschluss den günstigsten Verknüpfungspunkt (der vorhandene Hausanschluss) darstellt (30-Kilowatt-Netzanschluss-Freigabe). Hier muss der Anschluss erfolgen. Für größere Anlagen muss der Netzbetreiber den technisch und wirtschaftlich günstigsten Punkt vorschlagen. Anlagenbetreiber:innen können jedoch auch von diesem Punkt abweichen, wenn sie einen anderen geeigneten Anschlusspunkt nutzen wollen. Die Kosten für den Anschluss müssen die Betreiber:innen dann allerdings selbst übernehmen. (§ 8 Abs. 1 EEG 2023)



Wussten Sie schon?

Der SFV hat die kostendeckende Einspeisevergütung entwickelt, auf die das EEG beruht.

Die kostendeckende Vergütung als Grundidee der Finanzierung einer Solaranlage unterschied sich von allen bis 1989 bekannten Förderprogrammen. Nicht der Bau der Anlage sondern die Einspeisung in das öffentliche Netz sollte vergütet werden. Betreiber sollten eine so hohe Einspeisevergütung für ihren Solarstrom erhalten, dass die Anlage über einen Zeitraum von 20 Jahren betriebswirtschaftlich kostendeckend arbeiten konnte. Die Grundidee der kV wurde in das spätere Erneuerbare-Energien-Gesetz aufgenommen und fand weltweit Verbreitung.



www.sfv.de/verein/historie



SFV Beratung im Web

Wir aktualisieren zurzeit die Solaranlagen-Beratungsseiten auf unserer Homepage. Dort finden Sie auch alle gesetzlichen Änderungen, die sich aus der neuen PV-Strategie ergeben.

www.sfv.de/solarberatung

Kann der Anschluss meiner Solaranlage verweigert werden?

Tatsächlich ist eine Ablehnung möglich - allerdings nur in Ausnahmefällen: Wenn der Netzbetreiber nachweist, dass der zum Anschluss der Anlage erforderliche Netzausbau wirtschaftlich unzumutbar wird, kann der Anschluss verweigert werden. Der SFV hat hierzu bereits mehrfach Vorschläge eingereicht, um die Berechnungsgrundlagen zur wirtschaftlichen Unzumutbarkeit an die Herausforderungen der Energiewende anzupassen und zu modernisieren (§ 12 EEG 2023)

 <https://www.sfv.de/eeg-2023-forderungen-4-netzanschluesse-beschleunigen>

Welche technischen Vorgaben sind einzuhalten?

Die meisten technischen Vorgaben werden von dem Installateursbetrieb umgesetzt und geregelt. Dennoch gilt: Der Netzbetreiber wird eine Anlage nicht ans Netz anschließen, wenn die technischen Vorgaben aus dem EEG nicht erfüllt sind. Dazu gehören zum Beispiel:

- Für Anlagen von 7 - 25 kW muss die technische Einbindung für die spätere Einrichtung eines intelligenten Messsystems (iMSys) im Zählerschrank vorbereitet werden. Das erfordert Platz im Zählerschrank. Das gilt auch für größere Anlagen.
- Solange keine iMSys (= Smart Meter Gateway) vorliegen müssen folgende Vorgaben beachtet werden: Für Anlagen über 25 kW bis 100 kW braucht es Rundsteuerempfänger, mit denen der Netzbetreiber jederzeit die Einspeiseleistung ganz oder teilweise ferngesteuert reduzieren kann.
- Über 100 kW muss der Netzbetreiber jederzeit die Ist-Einspeisung abrufen und die Einspeiseleistung ganz oder teilweise ferngesteuert reduzieren können. (§ 9 EEG 2023)

Wer trägt die Kosten für den Anschluss der Anlage?

Die Kosten für den Anschluss der Anlage am wirtschaftlich und technisch günstigsten Verknüpfungspunkt trägt der / die Anlagenbetreiber:in. Sollte das Netz bis zu diesem Punkt noch ausgebaut, optimiert oder verstärkt werden, trägt der Netzbetreiber die Kosten. (§ 16 u. 17 EEG 2023)

Wer darf die Solaranlage an das öffentliche Netz anschließen?

Der Anschluss der Anlagen darf vom Netzbetreiber oder einer fachkundigen dritten Person unter Einhaltung der sicherheitstechnischen Vorgaben vorgenommen werden. Die Rechnung zahlt der/die Anlagenbetreiber:in (Kosten ca. 150 €)



Die Messeinrichtung

Zählmiete, Zählerschrank und Ertragsmessung

Gibt es Vorgaben zur Messeinrichtung? Darf ich einen eigenen Zähler nutzen?

Im EEG 2023 ist nur geregelt, dass Anlagenbetreiber:innen alle notwendigen Kosten für die Strommessung und Abrechnung tragen müssen. Die Detailregelungen zum Messstellenbetrieb findet man im Messstellenbetriebsgesetz. Dort ist festgeschrieben, dass nur der Netzbetreiber oder ein fachkundiger Dritter die Messung durchführen darf. Private gekaufte Zähler sind demnach nicht erlaubt - Zähler werden daher vom Netzbetreiber



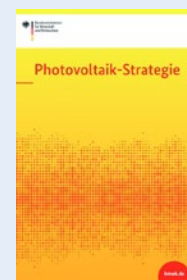
Wichtig

Neues Strategiepapier der Bundesregierung!

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) hat Mitte März ein „Strategiepapier Photovoltaik“ mit verschiedenen Maßnahmen zur Ausbau-Beschleunigung von Solaranlagen veröffentlicht. Nach einem öffentlichen Diskussionsprozess sollen die Maßnahmen in zwei Gesetzespaketen (Solarpaket I und II) umgesetzt werden.

Was können wir erwarten?

Es geht um baurechtliche Erleichterungen für Freiflächenanlagen, um Vereinfachungen bei der Direktvermarktung und bei Investitionen von mehreren Anlagen im Quartier, um die Reduzierung von Abstandsflächen für Dach-PV auf Reihenhäusern, Vereinfachungen bei Balkon-Solar, Mieterstrom und gemeinschaftliche Gebäudeversorgung und die Beschleunigung von Netzanschlüssen.



Alle Infos unter:



<https://tinyurl.com/yc6ckw2u>

vermietet. Je nach Größe der Anlage sind unterschiedliche Zähler erforderlich - bis 7 kW reicht ein einfacher digitaler Zähler (moderne Messeinrichtung). Die Höhe der Zählermiete ist bundesweit einheitlich über Preisobergrenzen geregelt. Sie beträgt maximal 20 € brutto pro Jahr. Anlagen über 7 kW müssen mit intelligenten Messsystemen (Smart-Meter mit Gateway zur Regelbarkeit) ausgestattet werden. Hier werden je nach Größe der Anlage Jahresgebühren ab 100 € brutto pro Jahr fällig. In der Zählermiete sind der Einbau, der Betrieb, die Wartung, die Messung und die Abrechnung der Stromerträge enthalten. Wenn ein neuer Zählerschrank erforderlich ist, muss dieser leider von den Anlagenbetreiber:innen gekauft werden (Kosten von ca. 1000 €) (§ 3, 4, 31 und 33 Messstellenbetriebsgesetz).



Strom an Nachbar:innen weitergeben? Von Mieterstrom und kollektiver Selbstversorgung

Wenn die Nachbarschaft auf dem gleichen Grundstück wohnt (z.B. im Mehrfamilienhaus), dann kann man den vor Ort erzeugten Solarstrom gemeinsam nutzen. Hier gibt es verschiedene Betriebskonzepte. Ob gefördertes oder ungefordertes Mieterstromkonzept, kollektive Selbstversorgung oder Allgemeinstromversorgung - hier gibt es Lösungsmöglichkeiten.

Wenn die Nachbarschaft allerdings auf Nachbargrundstücken wohnt, ist die direkte Weitergabe des Stroms über private Leitungen oder das öffentliche Stromnetz in aller Regel nicht oder nur mit einem größeren Bilanzierungsaufwand möglich.

 <https://www.sfv.de/eeg-2023-forderungen-4-netzanschluesse-beschleunigen>



Wenn die PV-Anlage verändert wird Auswirkung von Erweiterung oder Reparatur

Wie sieht es aus, wenn ich meine Anlage erweitern möchte?

Solaranlagen können erweitert werden. Jeder Zubau wird vergütungsrechtlich als Neuanlage eingestuft. Die Einspeisevergütung richtet sich nach dem Monat bzw. Jahr der Inbetriebnahme. Mehrere Anlagen können über gemeinsame Messeinrichtungen abgerechnet werden. Die Mischvergütung errechnet sich anteilig zur Leistung der Einzelanlagen (§ 24 EEG 2023).

Was passiert mit der Einspeisevergütung, wenn Module defekt sind?

Wenn einzelne Module oder die gesamte Anlage aufgrund eines technischen Defekts, einer Beschädigung oder eines Diebstahls an demselben Standort ersetzt werden müssen, bleibt die vorab festgeschriebene Vergütungshöhe bestehen. (§ 48 (4) EEG 2023)

Auf was muss ich achten, wenn ich meine Anlage verkaufen möchte?

Wenn eine Solaranlage verkauft wird, ändert sich nichts an der Vergütungshöhe. Wenn die Anlage an einen anderen Ort umzieht, ist es wichtig, dass die Vergütungsgrundlagen identisch bleiben: Wird eine Dachanlage auf einem anderen Dach aufgebaut, bleibt die Vergütung erhalten. Wechselt die vorher auf einem Dach installierte Anlage allerdings auf eine Freifläche, wird am neuen Standort nur noch die Vergütung für Freiflächenanlagen gewährt, die zum Zeitpunkt der Erstinbetriebnahme der Solarmodule gegolten hat.



Mieterstromkonzepte

Photovoltaik für Mehrfamilienhäuser: Welche Optionen gibt es?

Es gibt verschiedene Betriebskonzepte um eine PV-Anlage eines Mehrfamilienhauses zu nutzen:

Kollektive Selbstversorgung

Hier werden die Stromzähler verschiedener Parteien zusammengelegt. Alle Wohneinheiten können den Solarstrom nutzen.

Allgemeinstromversorgung

Die PV-Anlage versorgt gemeinschaftlich genutzte Verbraucher, wie z.B. einen Aufzug oder eine Wärmepumpe.

Einzelanlagen

Einzelne Wohneinheiten betreiben jeweils eigene PV-Anlagen. Dafür braucht es dann mehrere Wechselrichter und Stromzähler.

Volleinspeisung

Der PV-Strom wird vollständig ins öffentliche Netz gespeist.



 www.sfv.de/pv-auf-mehrfamilienhaeusern

 www.energieagentur-regio-freiburg.eu/pv-mehrfamilienhaus



Solaranlage und Steuern

Was muss ich steuerlich beachten?

Hier muss zwischen der Umsatzsteuer beim Kauf einer Anlage und der Einkommenssteuer unterschieden werden:

Umsatzsteuer

Für PV-Anlagen plus Speicher sinkt die Mehrwertsteuer ab 01.01.2023 auf Null. Dabei gilt: die Lieferungen von Solarmodulen an Betreiber und Betreiberinnen einschließlich der für den Betrieb einer Photovoltaikanlage wesentlichen Komponenten und der Speicher ist immer dann steuerfrei, wenn die Anlagen auf oder in der Nähe von Privathäusern, Wohnungen sowie öffentlichen und anderen Gebäuden, die für dem Gemeinwohl dienende Tätigkeiten genutzt werden, installiert werden. Die Voraussetzungen sind grundsätzlich erfüllt, wenn die installierte Bruttoleistung der Photovoltaikanlage laut Marktstammdatenregister nicht mehr als 30 kWp beträgt oder betragen wird. Bei größeren Anlagen muss ein Nachweis erbracht werden. Wichtig ist außerdem, dass mehr als 90 % des erzeugten Stroms für private oder dem Gemeinwohl dienende Zwecke verwendet wird (also keine Gewerbe-Anlagen).

Einkommenssteuer

Alle PV-Anlagen bis 30 kWp sind ab 2022 von der Steuerpflicht befreit – unabhängig von der Verwendung des erzeugten Stroms. Sowohl der geldwerte Vorteil der solaren Eigenversorgung als auch die Einnahmen aus der Einspeisevergütung müssen nicht mehr in der Jahressteuererklärung ausgewiesen werden. Die Ermittlung des Gewinns fällt weg und die Anlage EÜR der Steuererklärung muss nicht mehr ausgefüllt werden. Das Betreiben einer Solarstromanlage gilt als Liebhaberei, als Hobby. Das heißt im Gegenzug aber auch: Anlagen können steuerlich nicht mehr abgeschrieben werden.

Die Steuerbefreiung gilt pro Steuerpflichtigen auch für den Betrieb von mehreren Anlagen von je 30 kWp bis zu einer summierten Gesamtleistung von 100 kWp. Die Anlagen müssen sich auf, an oder in Einfamilienhäusern (einschließlich Nebengebäuden) oder nicht Wohnzwecken dienenden Gebäuden befinden. Ebenso sollen PV-Anlagenbetreiber:innen in Mehrfamilienhäusern von dieser steuerlichen Vereinfachung profitieren. In Gebäuden, die überwiegend zu Wohnzwecken genutzt werden, sollen pro Wohn- und Gewerbeeinheit 15 kWp steuerfrei betrieben werden können. Das ist ein Vorteil für Vermieter, Wohnungseigentümergeinschaften und Genossenschaften.

Vor dem 1.1.2023 konnten Anlagenbetreiber:innen entscheiden, ob sie ihre Anlage umsatzsteuerpflichtig betreiben wollen. Das hatte den Vorteil, dass man die 19 % beim Kauf der Anlage einsparen konnte. Im Gegenzug musste man die Umsatzsteuer, die zur Einspeisevergütung ausgezahlt wurde, an das Finanzamt monatlich weiterreichen. Was viele nicht wissen: Nach 5 Jahren können Sie dieses Umsatzsteuerverfahren beenden.



FAQ des BMF zur Umsatzsteuerbefreiung im Internet

- www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/FAQ/foerderung-photovoltaikanlagen.html



Mehr Steuerinfos

Der SFV hält Sie auf dem neuesten Stand, was steuerliche und rechtliche Notwendigkeiten angeht. Abonnieren Sie unseren Newsletter oder lesen Sie online weiter:

Newsletter:

www.sfv.de/mitmachen/newsletter

Weitere Infos zu Steuererleichterungen:

www.sfv.de/solaranlagenberatung/steuer-und-pv

www.sfv.de/photovoltaik-steuergeschenk-der-bundesregierung



Wir helfen Ihnen gerne

Sie haben weitere Fragen und brauchen Unterstützung?

Wir helfen Ihnen gerne weiter. Schreiben Sie uns gerne eine Mail an oder rufen Sie an. Unsere Telefonberatungszeiten sind täglich zwischen 9 und 13 Uhr. Aufgrund der großen Anzahl an Anfragen werden Mitglieder vorrangig beraten.

✉ zentrale@sfv.de

☎ 0241 / 511616

Susanne Jung

ist Vorstand und Geschäftsführerin des SFV seit 2019, studierte Agrarwissenschaft an der HU Berlin mit Zusatz Umweltmanagement und -consulting. Seit 1994 ist sie für den SFV tätig.



Die wichtigsten Normen für PV-Anlagen

Für alle, die es genau wissen wollen.

— Matthias Diehl

Ich habe lange darüber nachgedacht, ob ich mal einen Artikel über die wichtigsten Normen schreiben sollte, die für den Bau von Photovoltaikanlagen relevant sind. Bei Normen teilt sich ja bekanntlich die Welt der Techniker in zwei Lager. Die einen, denen sich schon die Nackenhaare stellen, wenn sie das Wort Norm nur hören, für die das Wort Norm ein Synonym für das Ende jeglicher kreativen Freiheit ist. Der Ort also, an dem jedes Tüftler- und Erfindertum erstickt wird und in eine gesetzegleiche Regel gepackt und durchnummeriert wird. Für die anderen hingegen ist die Norm das notwendige Grundgerüst jeglichen technischen Handelns und die notwendige Grundlage dafür, eine brillante technische Idee auch massentauglich zu machen. Ich gebe offen zu, mich in der Vergangenheit eher der ersten Gruppe zugehörig gefühlt zu haben, bin inzwischen – nach einigen Jahren Arbeit als Sachverständiger – allerdings mittlerweile geläutert und zu der Einsicht gelangt, dass die Normen eine wichtige Funktion haben und keineswegs jegliche handwerkliche Kreativität ersticken. Nachdem bereits viele Photovoltaikanlagen gebaut waren, von denen die ersten dann aber auch mal vom Dach geweht wurden oder – zum Glück nur extrem selten – aufgrund z.B. ungeschützter Leitungsverlegung sogar abgebrannt waren, erschien es als „gute

Idee“, auch für diese neue Technik ein Regelwerk zu schaffen, um solche Vorfälle zukünftig zu vermeiden. Normen sind letztlich auch zu Papier gebrachte Erfahrungen über Jahre, die jungen und neuen Installateuren und Planern helfen sollen, die Fehler der Vergangenheit nicht noch einmal zu wiederholen, und für die alten Hasen stellen sie sozusagen den Kompromiss der Regeln dar, auf deren Einhaltung man sich aus vielerlei Gründen geeinigt hat. Dass auch weitergehende Normierung sehr hilfreich sein könnte, kann man in der Photovoltaik zum Beispiel an der leidigen Diskussion über die Zulässigkeit sogenannter Kreuzverbindungen verschiedener Modulsteckverbinder beobachten. Man stelle sich mal vor, der normale 230V Stecker wäre nicht genormt worden und man könnte in eine Steckdose nur Geräte einstecken, deren Stecker von einem bestimmten Hersteller stammen, ohne Gefahr zu laufen, Garantieansprüche für ein eingestecktes Gerät zu verlieren. Eigentlich undenkbar, in der Photovoltaik allerdings immer noch Realität.

Klar kann man an Normen auch Kritik üben und es ist sicher ein offenes Geheimnis, dass in den Normgremien immer Vertreter der Firmen drin sitzen, deren Produkte nach erfolgreich verabschiedeter Norm dann zum Einsatz kommen „müssen“. Aber alles in allem überwiegen aus meiner Sicht die positiven Aspekte und die nachfolgend aufgelisteten Normen werden, ihre Einhaltung vorausgesetzt, zu besseren und sicheren Photovoltaikanlagen führen.

? photovoltaikbuero.de

Weil Matthias Diehl und Tina Ternus vom photovoltaikbuero **keinen Beratungsservice für kleine Hausdach-Anlagenbesitzer anbieten können**, schreiben sie seit 14 Jahren den PV-Know-How-Blog, damit das gesammelte Wissen etwas gestreut wird und in allen Leistungssegmenten ankommt. Den vollständigen Artikel mit allgemeinen Infos zu Normen und weiteren Norm-Beispielen können Sie online nachlesen.



www.photovoltaikbuero.de/pv-know-how-blog/normen-fuer-den-bau-von-photovoltaikanlagen/

Einige Normen im Überblick

Hinweis: Die vollständigen Normtexte sind beim VDE Verlag käuflich erwerbbar.

DIN VDE 0100-712:Oktober 2016

Erichen von Niederspannungsanlagen- Teil 7-712 Anforderungen für Betriebsstätten Räume und Anlagen besonderer Art – Photovoltaik (PV)-Stromversorgungssysteme.

Hier wird alles behandelt, was mit der DC Seite von PV-Anlagen zu tun hat. Stichworte sind: Kabel, Steckverbinder, Schalter, Sicherungen, RCDs (FI Schutzschalter), Überspannungsableiter, Potenzialausgleich und Erdung.

DIN EN 62305-3 Beiblatt 5:Feb 2014

Blitzschutz Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen; Beiblatt 5: Blitz- und Überspannungsschutz für PV-Stromversorgungssysteme.

Hier geht es um alles, was man in Bezug auf

das Thema „Blitz- und Überspannungsschutz“ im Zusammenhang mit Photovoltaikanlagen wissen muss. Da hier sehr oft Fehler gemacht werden, empfehle ich die Lektüre dieser Norm allen Praktikern und zwar nicht nur den Photovoltaikleuten, sondern auch den Blitzschutzbauern.

DIN EN 62446-1:April 2019

Netzgekoppelte Photovoltaiksysteme – Mindestanforderungen an Systemdokumentation, Inbetriebnahmeprüfung und wiederkehrende Prüfungen.

Hier geht es um die normgerechte Dokumentation und Überprüfung von Photovoltaikanlagen. In dieser Norm ist alles haarfeln aufgelistet, was eine Dokumentation einer PV Anlage enthalten muss.

VDI Richtlinie VDI 6012

Regenerative und dezentrale Energiesysteme für Gebäude. Grundlagen, Befestigung von Solarmodulen und -kollektoren auf Gebäuden.

Hier geht es um alles, was mit Statik und Unterkonstruktion zu tun hat.





Das kleine Solaranlagen 1x1

Checkliste: Die wichtigsten Schritte zu Ihrer Solaranlage

1.

Erst-Informationen einholen:

Wie groß soll die Solaranlage werden - welche Dach- oder Fassadenflächen möchten Sie belegen? Haben Sie sich genügend Informationen über die Wirtschaftlichkeit von PV und Speicher eingeholt? Ist Ihnen eine Notstromversorgung wichtig? Informieren Sie sich in Ihrer Nachbarschaft, auf einer Solarparty, bei der SFV-Erstberatung oder bei einem der vielen anderen Beratungsangebote.

2.

Nutzbare Dachflächen bestimmen:

Welche Dach- oder Fassadenflächen möchten Sie belegen? Vergessen Sie nicht die Nebengebäude oder ggf. auch das Norddach - je größer die Anlage ist, desto geringer werden die spezifischen Kosten. Besonders im Winter können Sie so einen größeren Teil Ihres Eigenbedarfs decken! Dadurch lohnen sich eventuell auch weniger sonnige Flächen.

3.

Angebote einholen:

Im Optimalfall holen Sie sich 2-3 Angebote ein, die Sie miteinander vergleichen können. Wählen Sie am besten lokale Fachfirmen. Fragen Sie doch mal in der Nachbarschaft, mit welchen Anbietern bereits gute Erfahrungen gemacht wurden. Planen Sie hier etwas Geduld und längere Wartezeit ein - aber keine Sorge: Ihre Anlage kommt ganz bestimmt!

4.

Über Förderungen informieren:

Manche Kreise oder Städte bieten Förderungen für Investitionen in Solaranlagen an. Informieren Sie sich frühzeitig bei Ihrer Kommune, damit Sie nicht mögliche Fristen verpassen.

5.

Solarinstallationsbetrieb beauftragen:

Vergleichen Sie die erhaltenen Angebote und entscheiden Sie sich für das Angebot, welches a) Ihren Vorstellungen in Ausstattung und Größe entspricht, b) einen guten Preis bietet und c) Ihr Vertrauen in die Handwerksfirma weckt. Wenn Sie Zweifel haben, helfen wir Ihnen auch mit einer Angebotsprüfung.

6.

Netzanschluss-Voranfrage abwarten:

Dies übernimmt der Solarteur für Sie, da technische Daten übermittelt werden. Für Anlagen bis 30 kWp ist es meist nur eine Formalität. Für Anlagen bis 10,8 kWp gilt eine Frist von 4 Wochen, um auf die Anfrage zu reagieren. Wenn sich der Netzbetreiber nicht meldet, kann die Anlage angeschlossen werden.

7.

Steuerfragen und Versicherung klären:

Bis 30 kWp können Sie Ihre PV-Anlage steuerfrei betreiben. Außerdem entfällt die Mehrwertsteuer auf den Kauf von Anlage und Komponenten. Sollten noch Fragen offenbleiben, klären Sie das mit Ihrer Steuerberatung. Manchmal ist die PV-Anlage schon durch eine bestehende Gebäude- oder Haftpflichtversicherung versichert. Informieren Sie sich bei Ihrer Versicherung dazu.

8.

Installation und Anmeldung:

Vergessen Sie nicht, sich und Ihre Anlage innerhalb von vier Wochen nach Inbetriebnahme im Marktstammdatenregister anzumelden (online unter www.marktstammdatenregister.de). Oftmals übernimmt der Installateur dies auch für Sie - klären Sie hier die Zuständigkeiten.



Diese Fehler sollten Sie lieber vermeiden!



Auf Lockangebote hereinfallen:

Leider ist nicht auszuschließen, dass sich durch die hohe Nachfrage auch unseriöse Firmen auf dem Markt tummeln, die schnellen Profit wittern. Lassen Sie sich nicht von reizvollen Versprechungen per Telefon oder an der Haustür locken, die Ihnen die Installation der Anlage in Rekordzeit versprechen. Achten Sie auf regionale Handwerksbetriebe und Zahlungsbedingungen, die Sie nicht zu 100 % Vorkasse zwingen.



Vollständige Bezahlung vor der Inbetriebnahme:

Durch Lieferengpässe und Koordination der Montagetermine kann es vorkommen, dass sich die Installation Ihrer Anlage um einige Wochen verzögert. Achten Sie beim Vertragsabschluss mit dem Installationsbetrieb darauf, dass die vollständige Bezahlung erst nach abgeschlossener Installation und Inbetriebnahme erfolgt - sonst haben Sie wenig in der Hand, um die fristgerechte und vollständige Umsetzung Ihrer Solaranlage einzufordern.



Wartungsgänge vergessen:

Insbesondere bei größeren Anlagen kann es sinnvoll sein, Wartungsgänge zwischen den Modulreihen für mögliche Dacharbeiten frei zu lassen. Ansonsten ist eine Wartung der Anlage oder Tausch einzelner Module schwerer möglich. Ideal sind die Module so angeordnet, dass die Modulanschlussdosen immer zu einem Wartungsgang hin ausgerichtet sind. Der Wartungsgang muss nicht breiter als 20 cm sein.



Solaranlage beauftragen, ohne, dass der Netzanschluss geklärt ist:

In wenigen Einzelfällen kann es passieren, dass der Anschluss von neuen Solaranlagen vom Netzbetreiber verwehrt wird, wenn das öffentliche Stromnetz bereits zu stark ausgelastet ist. Warten Sie die Antwort auf das Netzansuchsbegehren ab, bevor Sie die Anlage beauftragen und in Vorkasse gehen. Die Netzansuchsanfrage wird in aller Regel vom Installationsbetrieb an den Netzbetreiber geschickt.



Unbedacht in die Speicher-Falle tappen:

Viele denken, dass die Solaranlage nur in Kombination mit einem Speicher Sinn ergibt. Sollten Sie sich dennoch für diese Technik interessieren, achten Sie auf die Dimensionierung des Speichers: Oft werden die Speicher zu groß dimensioniert. Hohe Kosten, geringere Ausnutzung und Verschwendung von wichtigen Ressourcen wie Lithium, Graphit, Nickel, Mangan oder Cobalt sind die Folge. Als Richtwert können Sie folgende Faustformeln zur Dimensionierung des Speichers nutzen: 1 kWh je 1000 kWh/a Stromverbrauch, oder 1 kWh je 1 kWp PV-Leistung. Zwischen diesen beiden Werten ist die Batteriekapazität sinnvoll dimensioniert. Wenn Sie zu Beginn Ihre Installationskosten gering halten wollen, können Sie Ihre Anlage auch ohne Speicher bauen und bei Bedarf nachrüsten.



Auf Siegel hereinfallen:

Nicht alles ist Gold, was glänzt: Um sich von anderen Herstellern abzugrenzen, verwenden Firmen manchmal auch Siegel oder Zertifikate, die bestimmte Herausstellungsmerkmale unterstreichen. Recherchieren Sie online über eine Suchmaschine, was sich hinter diesen schillernden Siegeln versteckt.



Verbraucherschutz bei PV-Investitionen. 5 Fragen an Christina Bönning-Huber

Interview — Susanne Jung



Frau Dr. Christina Bönning-Huber wurde vom SFV für die Photovoltaik begeistert und ist seit mehr als 20 Jahren juristische Ansprechpartnerin des Vereins. Ihre Anwaltskanzlei berät und vertritt Mandanten im Bereich des Bau-,Energie-, Immobilien- und Verwaltungsrechts. Aber auch auf ihrer Homepage unter www.kanzlei-boenning.de wird man fündig und erhält wertvolle Rechtsinfos zur Photovoltaik. Wir haben Frau Bönning-Huber einige Fragen zum PV-Verbraucherschutz gestellt.

Viele Solarinstallationsbetriebe verlangen bereits vor Fertigstellung der Anlage eine Vorkasse. Welche Höhe ist angemessen und welche Zahlungszeitpunkte sind sinnvoll (Lieferung, Inbetriebnahme, finale Übergabe)?

Faustformel: Man sollte immer noch so viel Geld von der Vertragssumme einbehalten, dass man notfalls den Vertrag von einem anderen Unternehmen erfüllen lassen kann. Wer also einen Vertrag für eine Photovoltaikanlage geschlossen hat, sollte nach der Lieferung der Module (Vor-Ort Lieferung oder zum Solarteursbetrieb) möglichst nicht mehr als 50 % der Gesamtkosten als Vorkasse zahlen. Selbst wenn das ganze Material geliefert wurde, sollte man bis zur Fertigstellung der Komplettanlage möglichst noch 30 % einbehalten. Denn wenn es im Sorgenfall (z.B. Konkurs des Installateurs) notwendig wird, mit einem anderen Unternehmen einen Vertrag für die reine Montage zu schließen, wird die reine Montage mit großer Wahrscheinlichkeit teurer kalkuliert.

In vielen Angeboten lesen wir: "Lieferung von Modul Xyz oder vergleichbare Module". Muss man hinnehmen, dass der Installationsbetriebe andere, vergleichbare Ware liefert? Was wäre aus Ihrer Sicht ein vergleichbares Modul (Leistung / Herkunft / Wirkungsgrad)?

Meines Erachtens ist das im Hinblick auf die aktuellen Liefer-schwierigkeiten, mit denen auch die Installationsunternehmen zu kämpfen haben, akzeptabel. In vielen Bereichen ist es Usus, dass man auch Änderungen hinnehmen muss, wenn diese keinen Nachteil darstellen, also vergleichbar sind. Man kann es auch konkreter fassen, indem man vorgibt, in welcher Hinsicht die Vergleichbarkeit gegeben sein muss, also z.B. hinsichtlich der Qualität oder sonstiger Gesichtspunkte, auf die man Wert legt. Manchen geht es vielleicht um die Optik des Moduls, das zu bereits installierten Modulen passen soll, andere möchten eine:n Servicepartner:in für die Garantieansprüche in Deutschland haben. Sprechen Sie Ihren Solarteursbetrieb dazu an.

Wir erleben es in Einzelfällen leider immer wieder, dass Anlagen vom Installateursbetrieb nicht fertiggestellt wurden bzw. nicht betriebsbereit sind. Schwierig wird es, wenn die Rechnung bereits vollständig bezahlt wurde. Was kann man tun?

Wenn die Rechnung bereits vollständig bezahlt wurde, hat man tatsächlich nicht mehr das Druckmittel der offenen Zahlung. Dennoch hat man weiterhin einen Anspruch auf Fertigstellung, also Erfüllung der Leistungspflichten. Man sollte den Installationsbetrieb zur dringenden Erledigung auffordern und eine Frist setzen - das natürlich

” Für die Lieferung der Module sollte möglichst nicht mehr als 50 % als Vorkasse gezahlt werden

am besten auch so, dass der Zugang des Schreibens nachweisbar ist. Wichtig: Die Übergabe der schriftlichen Nachforderung sollte durch einen Boten quittiert oder durch ein Einwurf-Einschreiben nachweisbar sein. Im Schreiben könnte man auf den entstehenden Schaden und der Beanspruchung eines entsprechenden Ausgleichs, ggfs. sogar auch die Beauftragung eines Anwalts, hinweisen.

Ist noch ein Teil der Rechnung offen, kann man ein sogenanntes Zurückbehaltungsrecht geltend machen. Im Übrigen kann man - wie oben beschrieben - die Erfüllung mit Fristsetzung fordern. Sollte sich hier nichts tun, hat man insofern bessere Karten, als man dann auch durchaus – am besten nach anwaltlicher Beratung – nicht unbedingt auf Erfüllung klagen muss, sondern dann auch einen Dritten beauftragen kann und aus der offenen Summe den Dritten bezahlt.

Was kann man machen, wenn nach der Installation der Anlage Mängel festgestellt wurden? Muss der Mangel von einem Gutachter / einer Gutachterin nachgewiesen werden? Wie sieht es mit den Fristen zur Reparatur aus?

Rechtlich stehen den Anlagenbetreiber:innen auch dann Ansprüche zu, wenn der erkannte Mangel (juristisch: Mangelsymptom) verständlich und konkret angezeigt wurde. Es reicht also, dass der erwartete Ertrag der Anlage nicht eintritt. Hierzu kann man die Vergleichswerte aus anderen Anlagen nutzen, die in der Ertragsdatenbank des SFV in der jeweiligen PLZ-Region aufgeführt werden. Es muss also nicht erklärt werden, ob der Mangel durch die Module, schlechte Montage oder andere Gründe verursacht wird.

Ein Gutachten kann natürlich helfen einzuschätzen, ob die Annahme eines Mangels richtig ist. Vielleicht finden die Gutachter:innen noch mehr Mängel. Wenn man sich also ohnehin mit dem Installationsbetrieb auseinandersetzen muss, ist es sinnvoll, dann auch alles anzusprechen. Die Kosten des Gutachtens wie auch der Anwaltskanzlei muss der Installationsbetrieb bei mangelhafter Leistung ausgleichen.

Natürlich darf der Anlagenbetreiber / die Anlagenbetreiberin Fristen zur Reparatur setzen und es ist auch zu empfehlen. Allerdings ist es seit dem neuen Verbraucherrecht beim Kauf von Verbrauchsgütern nicht mehr verpflichtend, eine Frist zu setzen. Das Installationsunternehmen kommt bei Mangelanzeige nach einem für die Mangelbeseitigung angemessenen Zeitraum automatisch in Verzug. Von dem Verbrauchsgüterkauf können wir stets dann ausgehen, wenn der Eigentümer / die Eigentümerin eines Hauses eine Anlage in der Größenordnung von bis zu 20 kWp für das Haus installieren lässt.

Die Angemessenheit einer Frist richtet sich immer nach dem Einzelfall. Sie sollte so lange sein, dass der Unternehmer in der Zeit die Arbeiten ausführen kann. Das kann ein Zeitraum von 10 Tagen sein, das können ggfs auch 3 Monate sein. Die "Angemessenheit" ist also ein Dauerbrenner, um auf Seiten des Unternehmers Schwierigkeiten zu machen. Lieferschwierigkeiten sind nur dann ein Grund für eine lange Frist, wenn man als Unternehmer auch nachweislich rechtzeitig bestellt hat.

Kann ich den Ertragsausfall geltend machen?

Wenn sich der Installationsbetrieb mit der Nachbesserung in Verzug befindet (wie im Übrigen auch mit der Vertragserfüllung), dann muss er auch für den Ertragsausfall zahlen. Für die Feststellung der Höhe des Ertragsausfalles muss man nicht unbedingt einen Gutachter:in beauftragen. Auch in dem Fall kann man auf die Ertragsdatenbank vom SFV zurückgreifen. Man kalkuliert die entgangenen Kilowattstunden des Zeitraumes mit dem Vergütungsanspruch nach EEG bzw. entgangenen Eigenverbrauch-Vorteils, weil Strom zugekauft werden musste.

Leider kann der Zeitpunkt des Verzugs nicht so einfach bestimmt werden. Denn Verzug ist Nichtleistung trotz Fälligkeit und Ablauf der Frist bzw. einer nach dem Kalender bestimmten Frist. Hierzu ein Beispiel: Im Vertrag steht, dass der Installateur bis zum 30.06.2022 die Anlage an das Netz angeschlossen haben muss. Dann entsteht ab dem 01.07.2022 Verzug, es sei denn, der Installateur kann ausnahmsweise begründen, dass er an der Verzögerung kein Verschulden trifft (z. B. konnte er nicht auf das Haus, weil der Dachdecker das Dach noch nicht fertiggestellt hatte).

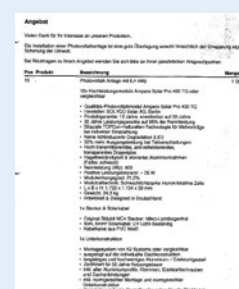
Aber leider steht ja selten im Vertrag, dass die Anlage bis zu einem festen Datum auch am Netz angeschlossen sein muss. Entweder gibt es im Kaufvertrag ca.-Angaben oder gar keine Angabe. Somit kann es im Einzelfall schwierig sein, den Zeitpunkt zu bestimmen, ab dem - mit einer entsprechenden Aufforderung – ein Verzug begründet werden kann. Aber auch hier helfen die gesetzlichen Regelungen des Verbraucherrechts, wenn die Solaranlage als „Verbraucher“ gekauft wird.

[www.sfv.de/
verbraucherschutz-
bei-pv-investitionen](http://www.sfv.de/verbraucherschutz-bei-pv-investitionen)



Tipp: Wir prüfen Ihre Angebote

Wenn Sie Schwierigkeiten haben, das Angebot eines Solarteurs / einer Solarteurin richtig einzuschätzen, helfen wir Ihnen gerne weiter. Schicken Sie uns das Angebot mit Bitte um Prüfung an unsere E-Mail-Adresse: zentrale@sfv.de. Wir melden uns bei Ihnen.





Das kleine Solaranlagen 1x1

Die Anlage ist auf dem Dach - Was steht nun an?

Die Solaranlage ist angeschlossen und im Marktstammdatenregister eingetragen. Die ersten Erträge wurden abgelesen und jeder Sonnenstrahl macht Ihnen nun doppelt gute Laune. Jetzt können Sie die Beine hochlegen und entspannt Ihren erneuerbaren Strom "ernten". Solaranlagen sind sehr wartungsarm, und viele Anlagen tun ohne weiteres seit 25 Jahren ihren Dienst. Worauf sie dennoch achten können, wenn die Solaranlage auf dem Dach ist, haben wir Ihnen hier zusammengestellt.

— Susanne Jung & Tobias Otto

Reinigung

Dauerhafte Verschmutzungen auf Solarmodulen führen zur Ertragsminderung. Wir empfehlen deshalb, die Anlage im Blick zu behalten und Erträge regelmäßig zu kontrollieren.

Die gute Nachricht: Bei einer Dachneigung von mindestens 15 ° und leichten Staubbelastungen aus der Luft ist es in aller Regel nicht erforderlich, die Anlage zu reinigen. Die Glasflächen der Module werden durch Regen und Wind hinreichend gesäubert. Einige Hersteller werben sogar mit einem schmutzabweisenden Lotuseffekt ihrer Module.

Dennoch spritzen einige Betreiber:innen die Solarmodule regelmäßig mit Wasser ab, wenn die Module gut erreichbar und das Haus nicht mehrgeschossig ist. Gefahr für die Module besteht nicht. Es ist aber anzuraten, die Solarmodule nicht in der Mittagshitze abzuwaschen, um mögliche Risse durch thermische Spannungen zu vermeiden. Nutzen Sie dafür möglichst kalkarmes Wasser ohne Reinigungszusätze. Das beste Reinigungsmittel bleibt immer noch der Regen.

Wenn sich Ihre Solaranlage in der Nähe von In-

dustrieansiedlungen (Industrieabgase und Stäube), einer Bahnlinie (Eisenabrieb), von Antennenmasten (eingetrockneter Vogelkot) oder Kirschbäumen sowie anderen Bäumen befindet, die im Frühjahr ihre klebrigen Pollen abwerfen, brauchen Sie unter Umständen von Fachunternehmen Unterstützung. Das gleiche gilt, wenn sich Moos oder Flechten am Rahmen der Module ansiedeln. Hier sollten Sie handeln. Schon ein kleiner, für das Auge nicht sichtbarer Spalt zwischen Modulrahmen und Solarglas könnte mikroskopisch kleine Sporen auf die Oberflächen der Wafer absetzen und bis tief in das Innere des Moduls wachsen.

Bitte versuchen Sie nicht, den Grünbewuchs selbst zu entfernen. Grundsätzlich sollten Sie es vermeiden, die Module auf eigene Faust zu bürsten, zu schrubben oder mit zu hohem Wassersdruck zu bearbeiten. Bei nicht fachgerechter Anwendung kann das Modulglas zerkratzen oder Dichtungen und Kabel beschädigt werden. Ertragsminderungen und eine schnellere Verschmutzung sind die Folge. Außerdem könnten Sie weitere Schäden am Modul verursachen und möglicherweise einen Garantiefall gefährden.

Abb 1 — Solarmodule können zum Beispiel durch Pollenstaub verschmutzt werden. Der meiste Dreck geht durch den Regen wieder weg •



Bäume in der Nachbarschaft: Gibt es ein Recht auf Verschattungsfreiheit?

Bäume sind multifunktional, denn sie sind wichtige Sauerstofflieferanten, bieten Lebensraum für Tiere und Pflanzen, dienen der Naherholung und leisten einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz. Denn je nach Art und Größe können sie im Laufe ihres Lebens mehrere Tonnen CO₂ speichern. Aus diesen vielen Gründen sind Bäume aus Städten und Gemeinden genauso wenig wegzudenken wie Wohngebäude, Straßen, Radwege und soziale Einrichtungen. Und trotzdem gibt es vielzählige kommunale und

nachbarschaftliche Auseinandersetzungen. Besonders sensibel reagieren Solaranlagenbetreiber, wenn durch bestehende oder neu hinzukommende Anpflanzungen Solarmodule verschattet werden. Auch, wenn nur ein kleiner Teil der Solaranlage im Schatten liegt, können signifikante Mindereinnahmen die Folge sein. Jeder Investor ist also gut beraten, schon vor der Installation der Solaranlage genau das Umfeld anzuschauen. Junge Anpflanzungen auf dem Nachbargrundstück können je nach Wuchsgeschwindigkeit recht rasch zu stattlichen Bäumen heranwachsen. Bei Teilverschattungen kann die Trennung der Modulreihen in einzelne Strings die Ertragseinbußen gering halten. Auch Teil-Module können Verschattungsverluste für die Gesamtanlage reduzieren.

Ansonsten hat sich der Nachbar an das geltende Baurecht des Bundeslandes und der Kommune zu halten. Wenn größere Bäume ohne den festgelegten Mindestabstand bis zur Grundstücksgrenze gepflanzt wurden, kann ein Rückschnitt verlangt werden. In NRW gilt z.B. für die meisten Baumarten ein Grenzabstand von zwei Metern und bei besonders stark wachsenden Bäumen (z.B. Eichen oder Platanen) von bis zu vier Metern.

Ertragskontrolle

Eine regelmäßige Überprüfung Ihrer Stromerträge ist wichtig, um eventuelle Ausfälle und Ertragseinbußen frühzeitig zu erkennen. Nichts ist ärgerlicher als eine PV-Anlage, die nicht zuverlässig Strom liefert. Viele moderne Wechselrichter bringen eine herstellereigene Ertragsauswertung mit. Diese kann entweder per App oder über eine Internetseite aufgerufen werden. Dort können Sie den erzeugten Strom mit Prognosedaten vergleichen. Voraussetzung ist meistens, dass der Wechselrichter an das Internet angebunden ist.

Eine weitere Möglichkeit ist die SFV-Ertragsdatenbank. Vielleicht haben Sie ja schon in unserer Rundmail oder im Solarbrief davon gehört? Sie bietet die Möglichkeit, Ihre Solarstromerträge mit anderen Anlagen regional und bundesweit zu vergleichen. Dafür müssen Sie ein Konto mit Ihren PV-Anlagendaten erstellen. Seit dem letzten Update sind auch Daten von Anlagen mit mehreren Ausrichtungen und Neigungen abfragbar (z.B. Ost-West).

Anschließend können Sie immer am Ende des Monats Ihre Monatserträge eingeben. Dies geht auch rückwirkend für vergangene Monate oder Jahre. Durch die regelmäßige Teilnahme, zusammen mit anderen tausenden Anlagenbetreiber:innen wird eine belastbare Vergleichsstatistik geschaffen. So können Sie die Performance Ihrer Anlage gut einschätzen und ggf. auch Fehler und Ertragsrückgänge aufspüren.



Abb 2 — Photovoltaik-Anlage mit horizontalem Wartungsgang. Bei nötigen Kontrollen oder Reparaturen können Solarteure:innen so alle Paneele gut erreichen. Bei den meisten Anlagen werden Wartungsgänge nicht berücksichtigt. •

Die Ertragsdatenbank wird vom SFV kostenfrei zur Verfügung gestellt. Jedoch verursachen Betrieb und Wartung regelmäßige Kosten. Über Spenden und Vereinsmitgliedschaften freuen wir uns, um den Betrieb der Ertragsdatenbank auch weiterhin sicherstellen zu können.

Wartung

PV-Anlagen können im Vergleich zu anderen Maschinen und Anlagen relativ wartungsarm betrieben werden. Trotzdem sollten Sie regelmäßige Kontrollen einplanen, um einen möglichst langen und sicheren Betrieb Ihrer Anlage garantieren zu können.

Für private PV-Anlagen gibt es keine gesetzliche Wartungspflicht. Bei gewerblichen PV-Anlagen hingegen schon. Von der Versicherung kann eine regelmäßige Wartung gefordert werden, um den Versicherungsschutz aufrechtzuerhalten. Prüfen Sie deshalb Ihre Versicherungsbedingungen und halten ggf. Rücksprache.

Die DIN VDE 0105-100 (Norm für den Betrieb elektrischer Anlagen) empfiehlt eine Wartung alle 4 Jahre. Abhängig von Standort, Verschmutzungsgrad und Beanspruchung der Komponenten können auch kürzere oder längere Intervalle sinnvoll sein. Halten Sie hier auch Rücksprache mit dem Fachbetrieb vor Ort, der die Wartung letztlich durchführt. Sofern nicht anders vereinbart, haben Sie die Kosten für die Wartung selbst zu tragen.

Bei der Wartung empfiehlt es sich, folgende Komponenten zu prüfen: Module, Dachkonstruktion, Leitungen und Verbindungen, Wechselrichter, Überspannungsschutz, Software, ggf. Speicher.

Vom Boden aus können Sie auch selbstständig einen regelmäßigen Blick auf die Module werfen, um Verfärbungen, Schmutz und Schäden zu er-



Ertragsdaten

Weitere Infos zur SFV Ertragsdatenbank finden Sie auf Seite 69 oder online unter:



www.ertragsdatenbank.de

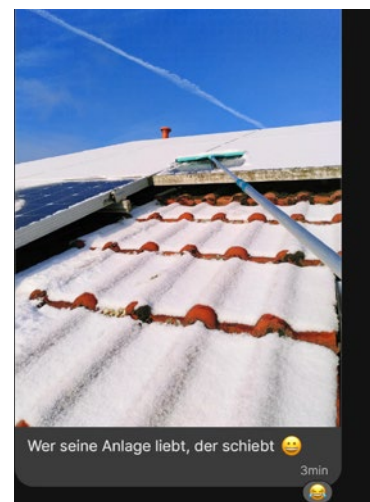


Abb 3 — "Wer seine Anlage liebt, der schiebt". Aber Vorsicht: Nicht, dass die Module zerkratzen und natürlich nur unter der Bedingung, sich selbst nicht zu gefährden. •



Abb 4 — Die Gewährleistung einer Solaranlage dauert beim Neukauf in der Regel 2 Jahre. Die zwei Jahre starten mit dem Tag, an dem die Sache laut Kaufvertrag montiert und übergeben wurde •

kennen, z.B. im Frühjahr vor der “Strom-Erntezeit”. Begeben Sie sich jedoch nicht ohne Absicherung und ohne professionelle Kenntnis auf das Dach, dies sollten Sie unbedingt Fachleuten überlassen.

Garantie und Gewährleistung: Was ist der Unterschied?

Garantien sind immer freiwillige Angebote der Hersteller. Welche genauen Versprechen in den Garantiekunden zu Solarmodulen, Montagegestellen, Speichern und Wechselrichtern verbrieft werden, liegt weitestgehend in der Entscheidung der Hersteller. Achten Sie deshalb auf den zugesicherten Service (Wartung, Austausch defekter Teile), denn im Garantiefall könnte der Nachweis, wie der Schaden zustande kam, ansonsten schwieriger werden. Sind Module defekt, könnte in den Garantiebestimmungen für den Fehlernachweis ein Gutachter festgeschrieben sein. Auch der Abbau und der Modulversand geht auch nicht selten zulasten der Betreiber:innen. Wichtig ist deshalb zu prüfen, ob die Garantiegeber mindestens den Großteil der Kosten für die Garantieabwicklung tragen und nicht auf die Käufer abwälzen. Der Gerichtsort sollte Deutschland sein, denn im Streitfall könnte es schwer werden, mit ausländischen Herstellern zu verhandeln.

Verlangen Sie deshalb eine schriftliche Garantieurkunde und prüfen Sie die Vertragsbedingungen. In der Urkunde sollte der Garantiegeber, die Dauer und alle Details zur Garantie aufgelistet sein. Bevor der Garantieanspruch verankert ist, fordern manche Hersteller die Registrierung der gekauften Produkte mit Seriennummern. Es gibt zwei Arten von Garantien:

- **Produktgarantie:** Diese Garantie deckt Materialfehler ab und verlängert im Prinzip die gesetzlich vorgeschriebene Gewährleistung bei Mängeln.

Meistens werden bei Modulen 20 Jahre gewährt. Es gibt aber auch Hersteller, die 25 bis unglaubliche 40-jährige Garantie anbieten. Das ist eine geschickte Kaufwerbung, aber auch ein klares Statement für ein langlebiges, solides Produkt. Auch Hersteller von Wechselrichter, Batterien und Gestelle bieten Produktgarantien.

- Die **Leistungsgarantie** bietet für eine festgelegte Zeit eine Garantie auf eine festgelegte Modul-Nennleistung oder Batteriekapazität. Bei Solarmodulen locken die Hersteller meist mit 20 oder 25 Jahren, manche sogar mit 40 Jahren. In den ersten 10 Jahren werden bei Modulen in aller Regel 90 % der Leistung garantiert, danach 80 Prozent. Mess- und Leistungstoleranzen sind dabei häufig auch festgeschrieben. Bei Batterien sind 10-15 Jahre Kapazitäts-Garantien - häufig gekoppelt an Ladezyklen - üblich.

Gesetzliche Gewährleistung

Jeder Verkäufer von Waren muss in Deutschland eine Gewährleistung (auch Mängelhaftung genannt) anbieten. Dazu ist er gesetzlich verpflichtet. Die Gewährleistung bietet die Sicherheit, dass die Kaufsache frei von sogenannten Mängeln ist.

Die **Gewährleistung** dauert bei einem Neukauf einer Solaranlage in der Regel 2 Jahre. Die zwei Jahre starten mit dem Tag, an dem die Sache laut Kaufvertrag montiert und übergeben wurde. Wird ein separater Werkvertrag über die Planung und Montage abgeschlossen, gilt eine Verjährungsfrist von 5 Jahren. Dies ist allerdings eine Ausnahme.

Wenn während dieser Zeit Mängel entstehen, müssen sie beseitigt werden. Dies betrifft allerdings nur die Mängel bei der Installation. Der Handwerksbetrieb muss die Reparaturkosten und die Kosten für Transport, Arbeit und Material tragen. Wenn sich die Solarmodule oder Batterien innerhalb der 2 Jahre als schadhaft darstellen und/oder Materialfehler erkannt werden, ist der Hersteller haftbar zu machen. Der Installateur kann seine eigenen Ansprüche, die sich aus der Reparatur (Abbau der Module und Ausbau der Batterie, Transportkosten etc.) ergeben, an den Hersteller weiterreichen.

Treten bereits Mängel in den ersten sechs Monaten auf, muss der Installateur im Streitfall beweisen, ob der Kunde sie selbst verursacht hat. Nach sechs Monaten kommt es zu einer Beweislastumkehr. Wir empfehlen jedem Anlagenbetreiber, vor Ablauf der 2-jährigen Frist zu prüfen, ob die Anlage mängelfrei installiert ist und die erwartete Leistungsfähigkeit besitzt. Auch hier kann ein Ertragsvergleich mithilfe der Ertragsdatenbank nützlich sein.



Abb 5 — Auf die Maxison-Module bietet die Firma Sunpower mittlerweile eine 40-jährige Garantie •

Wechselrichter

Der Wechselrichter ist das zentrale Bauteil einer PV-Anlage. Die PV-Module erzeugen Gleichstrom (DC - Direct Current). Um den Strom im Hausnetz und im öffentlichen Stromnetz nutzbar zu machen, muss der Gleichstrom in Wechselstrom (AC - Alternating Current) umgerichtet werden. Dabei versucht der Wechselrichter stets die maximale Leistung der Module nutzbar zu machen (MPP-Tracking).



Welche Unterschiede gibt es?

Modul und Stringwechselrichter

Bei Dachanlagen werden meist **Stringwechselrichter** eingesetzt. Diese können mehrere Modulreihen (Strings) parallel verarbeiten. Ein Stringeingang am Wechselrichter entspricht einem **MPP-Tracker** (s.o.). Somit können auch Dächer mit mehreren Seiten und Ausrichtungen belegt und die PV-Module in ihrem optimalen Betriebspunkt genutzt werden. Für jede Ausrichtung wird im Optimalfall ein MPP-Tracker genutzt. Haushaltsübliche Wechselrichter haben 2-3 MPP-Tracker. Bei größeren Dächern können auch mehrere Stringwechselrichter eingesetzt werden.

Modulwechselrichter sind besonders kompakte Wechselrichter, die hinter das PV-Modul geklemmt werden können. Sie sind meist für die Leistung von 1 bis 3 PV-Modulen ausgelegt und werden wegen ihrer geringen Größe und niedrigen Kosten vor allem bei Balkonkraftwerken eingesetzt. Weiterhin können viele auch über eine Schuko-Steckdose Strom direkt einspeisen.

1- oder 3-phasig:

Das Hausnetz hat in der Regel 3 Phasen bzw. 3 Stromkreise. 1-phasige Wechselrichter speisen nur in eine Phase ein. Bei hohen Leistungen kann dies zu einer ungleichmäßigen Belastung des Netzes führen. Deshalb sind bei mehr als 4,6 kVA bzw. kWp Leistung dreiphasige Wechselrichter vorgeschrieben. Sie speisen auf allen drei Phasen gleichmäßig ein. Modul-

wechselrichter sind in der Regel immer 1-phasig. Stringwechselrichter abhängig von der Leistung 1- oder 3-phasig

Mit Trafo oder Trafolos:

Die meisten Wechselrichter für Dachanlagen werden heutzutage ohne Transformator gebaut. Der Vorteil: Sie sind kompakter, leichter und günstiger, das bringt Vorteile bei der Montage und beim Aufstellort. Bei einem Trafo-Wechselrichter sind die DC- und AC-Seite galvanisch getrennt, bei Überspannungen sind die Bauteile somit besser geschützt. Moderne trafolose Wechselrichter erfüllen durch verstärkte Isolierung die Schutzklasse 2 und sind somit auch ausreichend vor Überspannungen geschützt.

Der Hybridwechselrichter

ist nicht nur für die Umrichtung des PV-Stroms zuständig, sondern auch für die Steuerung eines Batteriespeichers. Die Batteriezellen geben Gleichstrom ab, beim Ausspeichern ins Hausnetz wird der Gleichstrom durch den Hybridwechselrichter in Wechselstrom umgerichtet. Wenn PV und Batteriespeicher gleichzeitig installiert werden, wird oftmals ein Hybridwechselrichter eingesetzt. Man spricht dann auch von DC-geführten Systemen, weil der PV-Strom direkt in den Batteriespeicher geladen wird. Ein Hybridwechselrichter ist aber nicht automatisch Not- oder Ersatzstromfähig.



Worauf muss ich bei der Wechselrichterwahl achten?

○ Notstrom oder Ersatzstrom

In Kombination mit einem Batteriespeicher kann die Anlage auch bei Netzausfall weiter Strom liefern. Jedoch muss das System dafür ausgelegt und ein Netztrennschalter installiert werden. Nicht jeder Wechselrichter kann dies "von Haus aus". Mehr Infos auf Seite 36.

○ Herstellungsland

Die Herkunft des Wechselrichters kann für viele Betreiber:innen eine größere Rolle spielen. Denn heutige Geräte sind oft an das Internet angebunden, damit der Hersteller Updates einspielen und die Stromerträge in einer Oberfläche darstellen kann. Namhafte Hersteller von Wechselrichter stammen aus Deutschland.

○ Kompatibilität

Die meisten Wechselrichter sind kompatibel mit allen PV-Modulen. Einige Systeme funktionieren jedoch nur bzw. reibungsloser in Kombination mit Komponenten des gleichen Herstellers, bspw. Solaredge und Huawei.

○ Dimensionierung

Selbstverständlich müssen bei der Planung stets Leistung, Spannung und Ströme zwischen den PV-Strings und dem Wechselrichter abgestimmt werden. Ein zu klein oder zu groß dimensionierter Wechselrichter kann bei Überlast abschalten oder läuft weniger effizient. Wünschen Sie eine spätere Anlagenerweiterung, können Sie dafür ggf. bereits einen größeren Wechselrichter vorsehen. Es ist jedoch genauso möglich, bei einer Erweiterung der Solaranlage einen zusätzlichen Wechselrichter zu installieren.

Die 7 häufigsten Fehler an Photovoltaikanlagen

Matthias Diehl vom photovoltaikburo hat sich auf Fehlersuche bei PV-Anlagen spezialisiert und unterstützt Serviceteams und Betreiber:innen von großen PV-Anlagen zwischen 500 kWp und 10 MWp bei technischen Problemen. Auf unsere Anfrage hat er die 7 häufigsten Fehler und Probleme bei Photovoltaikanlagen, die ihm als Sachverständigen bei seiner Arbeit begegnen, für uns zusammengestellt. Expert:innen werden auf ihre Kosten kommen! Aber keine Sorge: Defekte bei PV-Anlagen betreffen nur die Minderheit der Systeme. Ein Großteil der PV-Anlagen läuft über Jahrzehnte fehlerfrei.

— Matthias Diehl

Es versteht sich von selbst, dass in einem Überblicksartikel nicht auf jedes der angesprochenen Probleme in der normalerweise für uns üblichen Detailtiefe eingegangen werden kann. Ich habe mich aber bemüht, die entsprechenden Artikel zu verlinken, so dass interessierte Leser:innen jederzeit die ausführlicheren Beschreibungen des jeweiligen Problems erreichen können. Die Reihenfolge der Fehler ist subjektiv und hängt damit zusammen, was uns beim pvBuro am häufigsten an Problemen begegnet. Wechselrichterdefekte, die in Photovoltaikanlagen ebenfalls auftreten können, sind in der Übersicht nicht mit aufgeführt, da sie in der Praxis unkompliziert durch einen Wechselrichtertausch behoben werden.

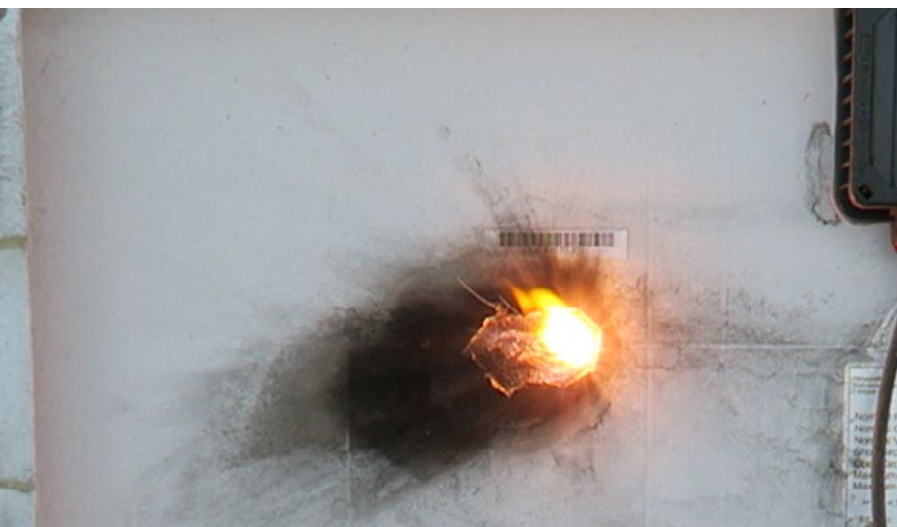
1. Offene Zellverbinder, sich ablösende Frontkontakte, offene Substrings

Die Überschrift zeigt schon, dass es sich um eine Vielzahl von Erscheinungsformen ein und desselben Grundproblems handelt. Es geht um versagende Löt- oder Klemmverbindungen innerhalb des Solarmoduls. Das bedeutet, dass eine ursprünglich niederohmige Verbindung zwischen zwei Solarzellen oder zwischen der Modulanschlussdose und den Solar-

zellen im Laufe der Zeit hochohmig wird. Hochohmig bedeutet dabei, dass die Übergangswiderstände zwischen den Bauelementen höher werden und dass dadurch an diesen Übergangswiderständen Wärme entsteht, die wiederum das weitere Fortschreiten des Prozesses begünstigt. Begleitet wird diese Wärmeentwicklung oft mit einer Verfärbung der Einbettungsfolien der Solarmodule oder mit einer Verformung der Modulanschlussdose. Im Extremfall kommt es sogar zu kleinen Lichtbögen zwischen zwei Zellen, die so heiß werden können, dass sich die Rückseitenfolie entzünden kann. Die dabei entstehende Hitze genügt dann auch meistens, um die Frontglasscheiben der Module zum Zerbersten zu bringen. Fühlt man über die defekte Modulglasscheibe, so ist sie in der Regel ganz glatt, ganz im Gegenteil zu ihrer Beschaffenheit, wenn sie durch die Einwirkung dicker Hagelkörner zerstört wurde und durch die Hagelkörner Einschlagmulden zu fühlen sind. Man sieht an diesem Beispiel, dass ganz verschiedene Fehlerbilder (braune Flecken an der Einbettungsfolie, Ausbeulungen an der Modulanschlussdose, defekte Frontglasscheibe) letztlich auf ein und dasselbe Problem zurückgeführt werden können.

Wenn die Verbindung zwischen zwei Zellen schließlich komplett unterbrochen wurde, geht ein Substring in den Leerlauf und der Strom des Modulstranges fließt künftig dauerhaft über die Bypassdiode des betroffenen Substrings. Dies resultiert dann lediglich in einer leicht geminderten Strangspannung und bleibt von vielen Betreibern von PV-Anlagen für lange Zeit unbemerkt. Erst wenn dann mal wieder jemand nach der Anlage schaut – und das passiert oft nach einem schweren Sturm oder einem Gewitter – werden die Schäden entdeckt und dann mit den äußeren Einwirkungen des Sturmes in Verbindung gebracht. Als Sachverständiger hat man dann oft die

Abb 1 — Problem: versagende Löt- oder Klemmverbindungen innerhalb des Solarmoduls. Das Bild zeigt, wie sich an einem offenen Zellverbinder Mikrolichtbögen bilden, die zur Entzündung der Rückseitenfolie führen.



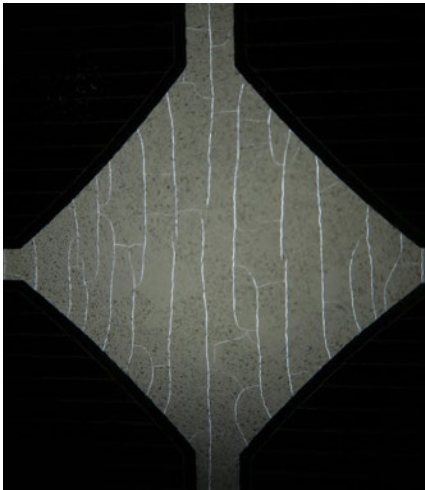


Abb 2 — In einem frühen Stadium lassen sich Isolationsfehler durch die Beleuchtung des Moduls mit einer hellen LED-Lampe erkennen. •

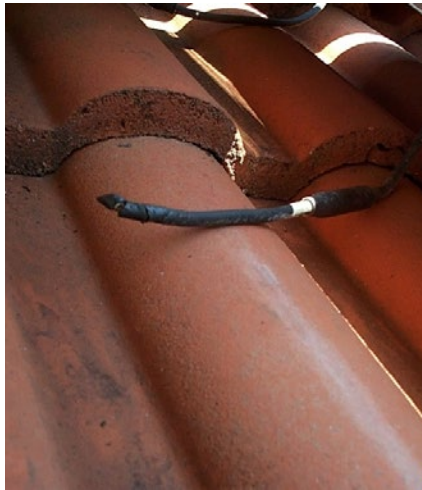


Abb 3 — Strangunterbrechungen können durch Tierbisse vorkommen oder durch nicht fachgerecht verschlossene Steckverbindungen. •

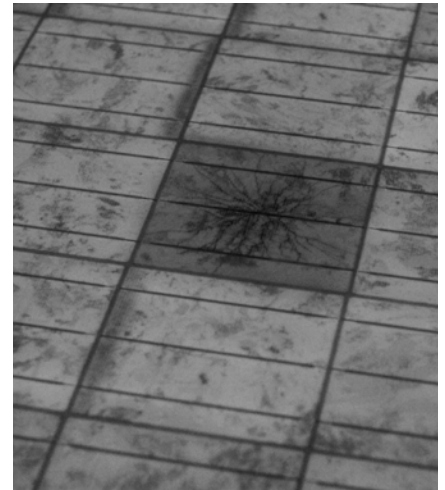


Abb 4 — Das Bild zeigt die Elektrolumineszenzaufnahme eines Solarmoduls mit einem für Hagelschäden typischen Spinnenriss. •

undankbare Aufgabe, die Betreiber:innen darüber zu informieren, dass es sich bei solchen Schäden um Allmählichkeitsschäden handelt, die in der Regel nicht von den Versicherungen getragen werden. Hier sind viel mehr die Modulhersteller am Zug, Stichwort „Leistungsgarantie“.

Der beschriebene Fehler ist aus meiner Wahrnehmung der mit Abstand am häufigsten auftretende Defekt, der an älteren Solarstromanlagen vorgefunden werden kann. Wie man ihn analysieren und finden kann, wurde in unserem Blog in weiteren Artikeln ausführlich beschrieben:



Alle Links zum Artikel

Alle Links zu diesem und weiteren Artikeln sind hier abrufbar:

<https://photovoltaikbuero.de/pv-know-how-blog/die-7-haeufigsten-fehler-an-photovoltaikanlagen/>



2. Isolationsfehler

Ein weiteres, sehr oft auftretendes Problem sind sogenannte Isolationsfehler (Abb 2). Wenn einzelne Wechselrichter in einer Anlage morgens später zuschalten als andere und dieses späte Zuschalten insbesondere dann auftritt, wenn es zuvor geregnet hat, dann handelt es sich mit großer Wahrscheinlichkeit um Isolationsfehler. Da dieses Problem auf unserem Blog bereits in vielen Artikeln ausführlich behandelt wurde, möchte ich mich an dieser Stelle auf eine Linkliste zu den einzelnen Artikeln zum Thema ISO-Fehler beschränken und insbesondere auf den ersten Artikel der nachfolgenden Liste verweisen:



<https://photovoltaikbuero.de/pv-know-how-blog/isolationsfehler-an-pv-anlagen-systematisch-finden/>

3. Strangunterbrechungen

Ebenfalls ein Fehler, der öfter mal vorkommt, sind Strangunterbrechungen (Abb 3). Dies kann durch Tierbiss vorkommen oder durch nicht fachgerecht verschlossene Steckverbindungen. Festgestellt werden diese Probleme in der Regel dadurch, dass man bei der Wiederholungsprüfung an einem Modulstrang eine Leerlaufspannung von 0 Volt misst. Bei einem guten Online-Monitoring fällt es selbstverständlich ebenfalls auf, wenn an einem MPP Tracker eines Wechselrichters plötzlich eine kleinere spezifische Leistung gemessen wird als am Nachbareingang.

Das Auftreten von Strangunterbrechungen hat bei uns sogar mal zur Entwicklung eines kleinen Werkzeugs geführt, um diese schnell und effizient zu finden. Insbesondere, wenn die Strangunterbrechung in einer Anschlussdose passiert, ist die Anwendung des pvTectors (so heißt das Gerät) sehr hilfreich, da man die Unterbrechung damit finden kann, ohne jede einzelne Moduldose öffnen zu müssen. Wenn es vor dem Wechselrichter noch einen GAK gibt (Gleichstromanschlusskasten) oder wenn sich im Eingang des Wechselrichters noch DC Sicherungen befinden, kann der Fehler eines fehlenden Stranges auch daran liegen, dass sich eine Strangsicherung verabschiedet hat. Die sollten im Rahmen einer Funktionsprüfung in jedem Fall immer mit überprüft werden.



Abb 5 — Messgerät zum Aufspüren von Leitungsunterbrechungen an Solargeneratoren. •

In diesem Artikel steht, wie man am besten vorgeht, um Kabelunterbrechungen im Modulstrang zu finden:

<https://photovoltaikbuero.de/pv-know-how-blog/kabelunterbrechungen-solarstromanlagen-finden/>



Abb 6 — "Schneckenspuren" weisen auf Zellbrüche hin.

Outdoor-Elektrolumineszenz

Durch spezielle Kameras mit Nah-Infrarot-Sensorik können Fehler in Photovoltaikzellen entdeckt werden, die für unsere Augen nicht sichtbar sind. Die Technik kam lange nur im industriellen Bereich im Labor zum Einsatz. Es ist aber auch möglich Spiegelreflexkameras (DSLR) so umzubauen, dass sie den nahen Infrarotbereich abbilden können, sodass auch ein Außeneinsatz zur Prüfung von PV-Zellen umsetzbar ist.

3. Zellbrüche

Zellbrüche gehören zu den meist unerkannt bleibenden Fehlern an Solarmodulen, da man winzige Brüche in den Zellen, sogenannte Microcracks in aller Regel mit dem bloßen Auge nicht sehen kann. Wenn sich an der Stelle des Bruches nicht gerade sogenannte Schnecken Spuren bilden, die man sehen kann, werden Zellbrüche erst dann gefunden, wenn die Mindererträge der PV-Anlage so gravierend geworden sind, dass eine Elektrolumineszenz-Untersuchung durchgeführt wird, um den Problemen auf die Spur zu kommen.

Zellbrüche treten oft beim Transport und bei der Montage auf, ganz oft werden diese aber auch erst verursacht nachdem die PV-Anlage schon in Betrieb ist, zum Beispiel durch Begehen der Module zu Reinigungszwecken. Ein weiterer Grund für Zellbrüche sind Hagelschäden (siehe Abb 4). Nach schweren Hagelunwettern sieht man oft nur wenige Glasschäden, während bei benachbarten Modulen zwar die Gläser in Ordnung sind, dafür aber die Zellen erhebliche Bruchmuster aufweisen. Es führt zwar nicht jeder Zellbruch direkt zu einer gravierenden Leistungsminderung, wenn jedoch ganze Zellteile vom Rest der Zelle abgetrennt wurden und dies in großem Umfang, kann die Restzelle nur noch einen Bruchteil des ursprünglichen Stromes liefern. In der Folge ist der gesamte Substring, in dem sich die Zelle befindet, in seiner Leistung gemindert. Einzelne Mikrorisse ohne Zellabrisse hingegen wirken sich auf den Ertrag einer Photovoltaikanlage nicht aus. Der Ertragsver-

lust durch stehende Wechselrichter oder ausgefallene Stränge fällt da viel mehr ins Gewicht als ein leichter Hagelschaden. Zur Untersuchung von Zellbrüchen eignet sich besonders die Methode der Outdoor-Elektrolumineszenz.

5. Kurzgeschlossene Bypassdioden

Einer der typischen Fehler an Photovoltaikanlagen nach schweren Gewittern sind kurzgeschlossene Bypassdioden (Abb 7). Bypassdioden dienen in Solarmodulen dazu, die Solarzellen im Falle einer Teilverschattung vor einer Überhitzung zu bewahren. Eingesetzt werden in modernen Solarmodulen in der Regel 3 sogenannte Schottky Dioden, die jeweils einen Substring überbrücken.



Begrifflichkeiten

Wem die Begriffe Substring, Bypassdioden und Modularchitektur noch nichts sagen, der sei auf den Grundlagenteil eines unserer Fehlersuche Seminare verwiesen. Dort werden diese Begriffe ausführlich erläutert.

www.photovoltaikbuero.de/pvtraining

Wie jede Diode haben auch die Bypassdioden in Solarmodulen eine maximal zulässige Sperrspannung. Diese liegt in aller Regel um die 80V. Steigt die Spannung über der Diode mal auf höhere Werte, oder bekommt sie einen zu großen Strom ab, so ist der Halbleiter durchkontaktiert und verhält sich wie eine Drahtbrücke. In der Folge fließt in dem betroffenen Substring dauerhaft ein Kurzschlussstrom, der zu einer ungleichmäßigen Erwärmung der Zellen des Substrings führt. Diese ungleichmäßige Wärmeentwicklung führt dann auch gleich zur Diagnosemethode der Wahl bei diesem Fehler, nämlich zur Ther-

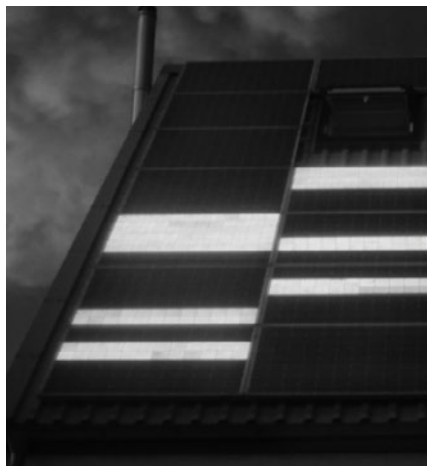


Abb 7 — Das Bild zeigt eine Elektrolumineszenzaufnahme einer Photovoltaikanlage nach einem Überspannungsereignis. Ein Großteil der Bypassdioden sind kurzgeschlossen.



Abb 8 — Das Bild zeigt ein Modul, bei dem die mittlere Bypassdiode nicht korrekt verlötet war. Das Modul war Teilverschattung ausgesetzt.

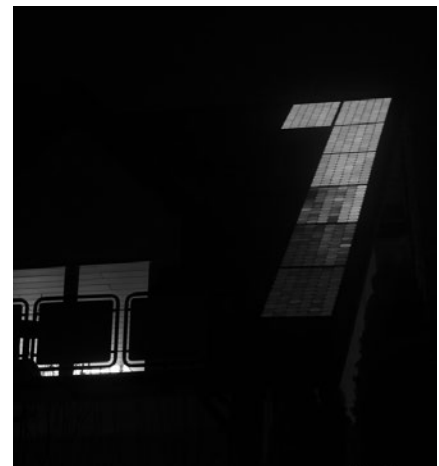


Abb 9 — Das Bild zeigt eine Elektrolumineszenzaufnahme einer PV-Anlage, die vom PID Effekt betroffen ist.

mographie. Kurzgeschlossene Bypassdioden und die Methoden der Diagnose waren immer mal wieder Thema im Blog.

6. Offene Bypassdioden

Vor einigen Jahren zählten die offenen Bypassdiodenstrecken noch zu den eher seltenen Phänomenen (Abb 8). Mal hatte man eine Charge mit B-Ware-Modulen untersucht, bei der skurrilerweise überhaupt keine Bypassdioden eingebaut waren (es gibt nichts, was es nicht gibt). Manchmal hat man bei einem schweren Überspannungsschaden mit sehr vielen kurzgeschlossenen Bypassdioden auch die ein oder andere offene Bypassdiode gefunden. Gerade in letzter Zeit (Stand Anfang 2023) häuft sich das Problem allerdings. Alleine im letzten Jahr haben wir einige offenen Bypassdiodenstrecken an nagelneuen Solarmodulen gefunden. Hier gab/gibt es offenbar bei einigen Herstellern ein Qualitätsproblem mit dem Verlöten der Bypassdioden, so dass diese in manchen Fällen nicht kontaktiert werden.

Das Problem darf man nicht auf die leichte Schulter nehmen. Wie bereits beschrieben, dienen die Bypassdioden als Überhitzungsschutz für die Zellen. Insbesondere die modernen PERC-Zellen erreichen im Verschattungsfall noch höhere Temperaturen als die konventionellen älteren Zellen, so dass diese so heiß werden können, dass sich die Folie entzünden kann. Der nachfolgende Artikel beschäftigt sich mit dem Aufspüren von offenen Bypassdiodenstrecken.

<https://photovoltaikbuero.de/pv-know-how-blog/bypassdiodencheck-1/>

7. PID – Potenzial Induzierte Degradation

Zu Glück können wir das Problem der PID mittlerweile in unserer Rangliste der häufigsten Probleme an Photovoltaikanlagen an der letzten Stelle aufführen. Die "Potenzial Induzierte Degradation" hat die Solarbranche in den letzten 10 Jahren sehr beschäftigt und bei vielen PV-Anlagen zu immensen Ertragsminderungen geführt. Inzwischen tritt der Effekt seltener auf und die Modulhersteller werben mit PID-freien Modulen. Der Effekt macht sich durch stark nachlassende Energieerträge bemerkbar und verändert je nach Zelltyp (P-Type oder N-Type) das negative bzw. das positive Strangende, so dass die Solarmodule am jeweils betroffenen Strangende eine stark geminderte Spannung (sowohl im Leerlauf als auch im MPP) aufweisen (Abb 9). Diagnostiziert wird die PID in aller Regel mit der Methode der Outdoor-Elektrolumineszenz, aber auch erfahrene Drohnenthermographen können PID mit Hilfe der Thermographie diagnostizieren.

Fazit

Ich hoffe sehr, dieser Überblick hilft Ihnen bei der täglichen Fehlersuche an PV-Anlagen ein wenig weiter und macht die ein oder andere Fehlersuche etwas weniger quälend und langatmig. Für alle die Lust haben, sich etwas intensiver mit diesem Themengebiet zu beschäftigen, möchte ich noch den Hinweis zu unseren regelmäßig stattfindenden Fehlersuche-Seminaren geben, die seit neustem auch zweimal im Jahr als Webinarreihe angeboten werden.

Ich wünsche allen PV-Kollegen aus dem Service-Bereich eine effiziente, schnelle Fehlersuche und allen PV-Betreibern gut laufende PV-Anlagen mit hohen Energieerträgen.

? **photovoltaikbuero.de**

Das photovoltaikbüro bietet Fortbildung für Serviceteams an und unterstützt gelegentlich größere Servicefirmen und Anlagenbetreiber bei der Fehlersuche von großen PV-Anlagen.

Weil Matthias Diehl und Tina Ternus keinen Beratungsservice für kleine Hausdach-Anlagenbesitzer anbieten können, schreiben sie seit 14 Jahren den PV-Know-How-Blog, damit das gesammelte Wissen etwas gestreut wird und in allen Leistungssegmenten ankommt

www.photovoltaikbuero.de/pv-know-how-blog/



Alle Links und viele weitere Infos:



<https://photovoltaikbuero.de/pv-know-how-blog/die-7-haeufigsten-fehler-an-photovoltaikanlagen/>



Matthias Diehl

Elektrotechniker mit Spezialisierung auf Leistungselektronik für solare Energiesysteme, Gutachter und vereidigter Sachverständiger für Photovoltaik und Photovoltaische Anlagentechnik. Betreiber der Seite www.photovoltaikbuero.de

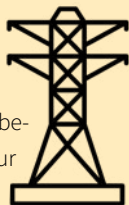


11 Vorurteile gegenüber Photovoltaik

— Taalke Wolf

Eine Solaranlage macht mich unabhängig vom Stromnetz

• Stimmt nicht ganz. Zwar macht Sie Ihre Solaranlage unabhängiger von der Strompreisentwicklung, wenn Sie die Anlage als Eigenverbrauchsanlage betreiben. Dann beziehen Sie weniger Strom aus dem Netz - vollkommen unabhängig werden Sie damit jedoch nicht. Insbesondere bei Spitzenlasten (z. B. Durchlauferhitzer, E-Auto o. ä.) aber auch nachts und im Winter, wenn kein oder weniger Sonnenlicht zur Verfügung steht, werden Sie froh sein, weiterhin Strom aus dem Netz beziehen zu können. Eine hoher Autarkiegrad ist nur mit einem sehr großen Batteriespeicher zu erreichen und macht weder wirtschaftlich noch resourcentechnisch Sinn. Der Vorteil einer Netzanbindung: Den Stromüberschuss im Sommer können Sie ins Netz einspeisen, bekommen ihn vergütet und steht anderen zur Nutzung zur Verfügung.



Solaranlagen lohnen sich nur in Kombination mit einem Speicher

• Das stimmt nicht - denn Solaranlagen rentieren sich auch ohne Speicher. Selbst Volleinspeiseanlagen sind innerhalb von 20 Jahren wirtschaftlich zu betreiben. Mit einem Batteriespeicher können Sie allerdings mehr Solarstrom selbst nutzen und Ihren Eigenverbrauchsanteil erhöhen. Ob der gespeicherte Solarstrom aber günstiger ist als der Strom, den Sie aus dem Netz beziehen, hängt von den Strompreisen sowie den Kosten für den Speicher ab. Oft verringern Speicher die Wirtschaftlichkeit, als sie zu verbessern. Wenn Sie flexible Stromverbraucher (z. B. Wasch- und Spülmaschine) in der Mittagszeit nutzen, können Sie Ihren Eigenstromverbrauch auch ohne Speicher erhöhen.



Eine Solaranlage zu installieren ist ein steiniger und langer Weg

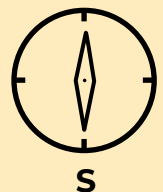
• Naja. Zwar dauert es sicherlich einige Monate vom ersten Gedanken bis zur fertigen Installation - dafür haben Sie anschließend eine Solarstromanlage, die Ihnen die nächsten 20-30 Jahre kaum Arbeit machen wird. Viele Neuwagen haben im Vergleich dazu längere Lieferzeiten und bedürfen mehr Wartungsaufwand als Ihre Solaranlage. Der Weg lohnt sich! Bürokratie-Stolpersteine lassen sich in den allermeisten Fällen beseitigen. Wir helfen gern dabei, alle Informationen zu bekommen.

Solaranlagen verbrauchen bei ihrer Herstellung mehr Strom als sie später erzeugen

• Falsch! Die zur Herstellung benötigte Energie hat die Solaranlage innerhalb von knapp zwei Jahren Betriebszeit wieder erzeugt. Bei einer durchschnittlichen Lebenserwartung von 20-30 Jahren bleibt der Anlage also noch viel Zeit, sauberen Strom zu erzeugen: ganz ohne zusätzlichen Ausstoß von CO₂!

Nur Richtung Süden ausgerichtete Solaranlagen machen Sinn

• Den höchsten Ertrag erzielen Sie, wenn die Solaranlage Richtung Süden ausgerichtet ist. Deshalb ist es eine gute Idee, das Süddach zu belegen. Wenn es darum geht, über das ganze Jahr möglichst viel Solarstrom für die Eigenversorgung zu erzeugen, sind Ost-West-Anlagen, die die Stromerzeugung etwas in die Morgen- und Abendstunden verschieben, ebenso lohnenswert wie Südanlagen. Auf Flachdächern können Ost-West-Anlagen durch bessere Platzausnutzung oft sogar mehr Strom erzeugen als Südanlagen, weil mehr Module untergebracht werden können. Auch Norddächer oder Fassadenanlagen können nennenswert zur Stromerzeugung beitragen!



Die Feuerwehr löscht keine Häuser mit PV auf dem Dach, da zu gefährlich

- Nein. Die Feuerwehr wird Ihr Haus nicht unkontrolliert abbrennen lassen, nur weil eine Solaranlage installiert ist. Fortbildungen und Leitlinien stellen sicher, dass Fachkräfte im Umgang mit Solaranlagen geschult sind. Es gibt auch die Möglichkeit, einen zentralen Not-Aus-Schalter installieren zu lassen, mit dem die gesamte Anlage vom Netz getrennt werden kann. Mögliche Spannungsbögen zwischen den Modulen, die auch ohne Netz bestehen bleiben, können von der Feuerwehr fachkundig verhindert werden. Übrigens: Eine Studie hat herausgefunden, dass nur in 0,006% aller Brandfälle eine PV-Anlage die Ursache des Brandes war.



PV Anlagen erzeugen einen bedenklichen Anteil an Elektrosmog

- Nicht in relevanten Anteilen. Jedes Elektrogerät und jedes Stromkabel im Haus erzeugt Elektrosmog - die Solaranlage ist hier also keine Ausnahme. Er tritt bei Wechselstromquellen auf und nimmt mit der Distanz zum Gerät signifikant ab. Da der Wechselrichter, der den größten Anteil Elektrosmog erzeugen, könnte im Normalfall im Keller installiert wird, müssen Sie sich keine allzu großen Sorgen machen. Die Ausbreitung von Elektrosmog von haushaltsüblichen Geräte sowie von Funk- und WLAN-Netzen ist weitaus höher als die mögliche Belastung durch Ihre Solaranlage.

Solaranlagen sind schlecht recycelbar und stellen nach Lebensende eine Menge Sondermüll dar

- PV-Module sind kein Sondermüll, sondern können gut recycelt werden. Bevor sie jedoch ihrem Lebensende nahen, sollte geprüft werden, ob sie noch funktionstüchtig sind - denn viele Module bieten sich auch nach über 20 Jahren noch als funktionsfähige Second-Life-Solaranlage an. Müssen die Module auf Grund von Beschädigungen final doch entsorgt werden, können haushaltsübliche Mengen am Wertstoffhof abgegeben und dem Recyclingkreislauf zugeführt werden. Mit den Hauptbestandteilen Glas, Aluminium und Silizium können bei den Standard-Modulen über 95 % der Modulteile wiederverwendet werden.



PV-Strom überlastet das Netz

- Hier werden Problem und Ursache verdreht: Denn wir brauchen jede Kilowattstunde erneuerbaren Strom im Netz, um unsere Klimaziele zu erreichen! Dass das Netz beispielsweise in der Mittagszeit stark ausgelastet ist, darf nicht den Solaranlagen angehängt werden, sondern liegt primär an einem unflexiblen Netz- und Strommarkt, der sich an die fluktuierenden Erneuerbaren Energien anpassen muss. Durch den weiteren Ausbau unserer Netze, kluge Managementsysteme, netzdienlich betriebene Speicher sowie flexible Strompreise können diese kurzzeitigen Spitzen in Zukunft jedoch vermieden werden. Und noch mehr: Bei Erzeugungsspitzen im Netz können Sie in Zukunft z.B. Kosten sparen, wenn Sie Ihre Wärmepumpe oder Wallbox bei günstigen Strompreisen nutzen.



PV-Module benötigen viele seltene Erden

- Das stimmt nicht. Die Standard-Solarzellen bestehen primär aus Silizium - dem zweithäufigsten Element der Erdkruste. Weiterhin sind Glas, Aluminium, Zinn, Kupfer und Silber in den Modulen verbaut - bei vielen Modulen machen Aluminium und Glas über 80 % der Gesamtmasse aus. Seltene Erden werden eher in Magneten, zum Beispiel für Elektromotoren verwendet (genauer in permanent-erregten Synchronmaschinen).



Deutsche Module sind besser als chinesische

- Bezogen auf die Leistungsfähigkeit von Solarmodulen gibt es keine länderspezifischen Qualitätsunterschiede. Dazu kommt: Es gibt eigentlich gar keine "deutschen" Module. Auch wenn ein gewisser Trend hin zur europäischen Modulproduktion wieder erkennbar ist, stammen viele der verbauten Elemente aus asiatischen Ländern (insbesondere die Wafer, aus denen die Solarzellen hergestellt werden). Ein 100 % "deutsches" Modul zu erhalten ist also quasi nicht möglich. Oft werden die in Asien produzierten Einzelteile nur in Deutschland zusammengebaut. Möchten Sie aber den Aufbau einer heimischen Industrie in Deutschland oder Europa fördern, ist die Investition in Produkte aus europäischen Firmen eine gute Idee.



Das kleine Solaranlagen 1x1

Alternativen zur Haus-Dachanlage

Wer über ein eigenes Dach verfügt, kann rasch entscheiden. Ist das Dach solar geeignet, sind die Planungen relativ einfach. Ein Erfahrungsaustausch in der Nachbarschaft inspiriert und hilft weiter. Gern wird die Fassade für die solare Nutzung gleich mitgedacht. Alle anderen, die weder Dach noch Fassade ihr Eigen nennen können, müssen aber nicht auf eine Investition in Solaranlagen verzichten. Es gibt zahlreiche Möglichkeiten... auch über die Solargartenlampe hinaus!

— Susanne Jung & Taalke Wolf



Solardachbörsen

PV-Anlage auf einer fremden Fläche installieren

Im Internet gibt es einige Solardachbörsen, die regional oder überregional inserieren. Hier finden sich Investor:innen und Flächeneigentümer:innen, denen entweder der geeignete Platz oder das Geld für eine PV-Anlage fehlt. Achten Sie bei der Investition darauf, dass das Haus bzw. das Dach nicht sanierungsbedürftig, möglichst unverschattet und optimal ausgerichtet ist (Süd, Südwest, Südost). Die Fläche sollte gut erreichbar sein, um die Installation einfach umzusetzen. Auch eine Voranfrage beim Netzbetreiber kann eine erste Auskunft bringen, ob der vorhandenen Netzanschluss für die Solaranlage geeignet ist. Übrigens sind besonders große Flächen, z.B. auf Mehrfamilienhäusern, öffentlichen Einrichtungen und gewerblichen Bauten zu empfehlen, da hier viele Gestaltungsmöglichkeiten (Größe der Anlage, genutzte Fläche) existieren.

Wenn Sie eine geeignete Fläche finden, schließen Sie einen Pachtvertrag mit den Eigentümer:innen ab. Hier gibt es Musterverträge, die unbedingt den örtlichen Bedingungen angepasst werden sollten. Auch der Eintrag ins Grundbuch als erstrangige Dienstbarkeit ist sinnvoll. Beim Pachtpreis gibt es verschiedene Optionen, z.B. Miete pro qm (z.B. 2 - 5€/qm), prozentualer Anteil am Solarertrag (z.B. 4 Prozent), oder eine Einmalzahlung.

Sie können sich auch entscheiden, den Solarstrom an die Stromkund:innen vor Ort zu verkaufen. Hierzu gibt es verschiedene Betriebskonzepte für Mehrfamilienhäuser (siehe nächster Abschnitt). Im Einfamilienhaus bietet sich an, die Anlage zu vermieten. Wir empfehlen, hierfür einen Vertrag mit dem Mieter / der Mieterin abzuschließen. In ihm wird nicht nur die Höhe der Miete geregelt. Ebenso wichtig ist, wer die Verantwortung für den vollständigen oder Teil-Betrieb der Anlage trägt.



Solardachbörsen

Es unterscheidet sich verschiedene regionale und überregionale Solardachbörsen. Schauen Sie doch mal rein:



www.solardachboerse.de/marktplatz/



www.solarwende-berlin.de/solardachboerse



www.energieatlas.bayern.de/thema-sonne/solarflaechenboerse



www.energieatlas-bw.de/sonne/dachflachen

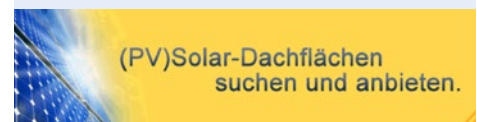


Foto — www.solardachboerse.de •



Weitere Infos

Musterverträge für Mieter:Innen



www.dgs-franken.de/bestellungen

Weitere Informationen finden Sie hier:



www.solardachmiete.de/dachvermietung-photovoltaik-info

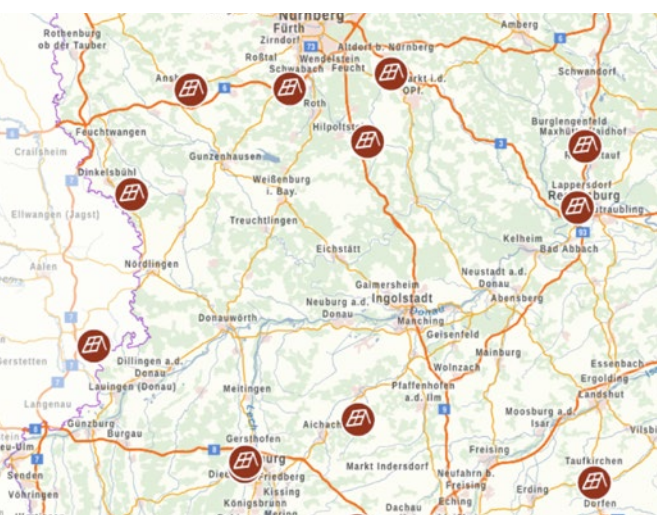


Abb 1 — In der interaktiven Karte des Energieatlas Bayern kann auch nach Dachangeboten gefiltert werden. •



Solaranlagen auf Mehrfamilienhäuser

Geht das auch?

In Deutschland gibt es über 6,5 Millionen Mehrfamilienhäuser, die nur in den wenigsten Fällen mit Solaranlagen ausgerüstet sind. Das ist schade, denn die Mehrfamilienhäuser haben ein enormes Potenzial. Die großen Dachflächen können mit PV-Modulen belegt und Bewohner:innen oder Gewerbebetriebe im Quartier mit Solarstrom vom Dach versorgt werden. Häufig erzeugen und liefern Vermieter:innen oder Eigentümergemeinschaften den Strom dann nicht selbst, sondern betrauen Dritte z.B. Energiedienstleister mit der Aufgabe, da es mit einem großen Verwaltungs- und Abrechnungsaufwand verbunden ist. Bei der Umsetzung von Solaranlagen auf Mehrfamilienhäusern gibt es verschiedene Betriebskonzepte:

- Mieterstrom mit und ohne Förderung
- Kollektive Selbstversorgung
- Solare Allgemeinstromversorgung des Hauses
- Einzelanlagen pro Wohneinheit, vom Dach oder als Balkon-PV
- Volleinspeisung
- PV-Anlagenmiete

Um zu entscheiden, welches Modell passt, sind im Vorfeld eine Vielzahl von Faktoren abzuwägen. Einen sehr guten Überblick zu allen Betriebskonzepten bietet die Energieagentur Regio Freiburg in einem interaktiven Leitfaden (siehe Link oder S.41 in diesem Heft). Wenn Sie Fragen haben, sprechen Sie die Freiburger Energieberater:innen oder gern auch uns an. Wir können Sie bei Ihrem Projekt unterstützen.

 www.energieagentur-regio-freiburg.eu/pv-mehrfamilienhaus



Solare Gemeinschaftsanlagen

Kleine Einzelbeträge – große Wirkung!

Es gibt sie schon seit vielen Jahren, aber immer noch viel zu wenig: kommunale Gemeinschaftsanlagen. Sie sind enorm wichtig, um möglichst alle Bürgerinnen und Bürgern an der Energiewende teilhaben zu lassen und die Wertschöpfung in der Region zu halten. In einer Bürgerenergiegemeinschaft (BEG) sind die Bürgerinnen und Bürger Miteigentümer an einer Erneuerbaren-Energien-Anlage. Die Bürgerenergiegenossenschaft als Rechtsform bietet eine möglichst breite Bürgerbeteiligung, die sich nach dem Genossenschaftsgesetz organisieren.

Die Organisation von gemeinschaftlichen Investitionen ist ohne die Leidenschaft für die Energiewende kaum zu meistern. Häufig werden Gemeinschaftsprojekte unter großem zeitlichen Aufwand und im Ehrenamt organisiert. Von der Planung der Solaranlage, der Werbung um Beteiligung, der Vertragsgestaltung, der Solarinstallation bis zur Abrechnung - es gibt viel zu tun. Umso wichtiger ist es, dass sich viele Menschen zusammenschließen, um die Arbeit auf mehrere Schultern zu verteilen. Und glücklicherweise gibt es professionelle Hilfe beim Einstieg und ein bundesweites Netzwerk von Bürgerenergie-Gemeinschaften. So kann man sich vernetzen und Erfahrungen austauschen. Zum Beispiel mit Präsenz- und Online-Kursen: "Bürgerenergie-Genossenschaften gründen" vom *Netzwerk Energiewende Jetzt* oder der vom *Bündnis Bürgerenergie*:

 www.energiegenossenschaften-gruenden.de

 www.buendnis-buergerenergie.de/buergerenergie/gemeinschaften-gruenden



Neu: Solarpaket 2023

Bald alles einfacher?

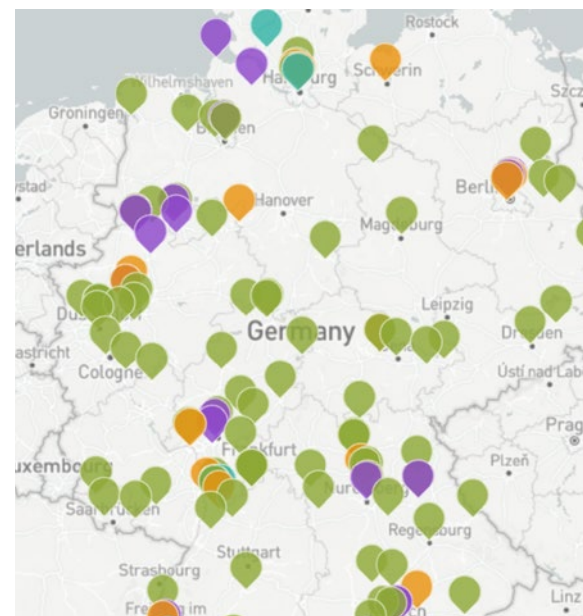
Das Bundeswirtschaftsministerium hat Anfang März 2023 den Entwurf einer "PV-Strategie" vorgelegt, die den Ausbau der Solarenergie auf EFH und MFH noch weiter ankurbeln soll. Es gibt viele Vorschläge, die zu einer deutlichen Verbesserung führen können. Ende Mai soll die endgültige Fassung der PV-Strategie vorliegen, danach Gesetzesänderungen in den Ausschüssen diskutiert und im Bundestag beschlossen werden.

Unsere Stellungnahme inkl. einer Zusammenfassung zu geplanten Änderungen kann abgerufen werden unter:

www.sfv.de/pv-strategie-2023



Abb 2 — Übersicht aller Bürgerenergie-Gemeinschaften in Deutschland.
Karte: Bündnis Bürgerenergie •



Wenn Bürgerenergie-Gemeinschaften Solarstromanlagen über 1 Megawatt auf Gebäuden oder Freiflächen bauen möchten, müssen sie - anders als andere Investor:innen - nicht an Ausschreibungen teilnehmen (De-Minimis-Regelung) und können dennoch die EEG-Förderung beanspruchen. Leider wurden hierfür enge Vorgaben an regionale Verankerung und Mindestanzahl der Beteiligten gesetzt. Wir befürchten, dass die Neugründung und die Verwaltung dadurch erschwert wird und haben uns deshalb im letzten September an das BMWK gewandt, um Vorschläge zum Bürokratieabbau zu unterbreiten.

 www.sfv.de/eeq2023-forderungen-buergerenergiegesellschaften

Alternativ zu den oben genannten Möglichkeiten ist es übrigens auch möglich, Genossenschaftsanteile von bestehenden BEGs zu kaufen oder den Strom von Bürgerenergie-Genossenschaften zu beziehen. Die Bürgerwerke eG ist z.B. ein Zusammenschluss mehrerer BEGs. Sie übernehmen gebündelt die organisatorisch aufwändige Stromvermarktung und beliefern als Energieversorger Kund:innen. Neben den Bürgerwerken gibt es auch weitere BEGs, bei denen man Strom direkt beziehen kann. So unterstützt man die dezentrale Energiewende ebenfalls.



Alternativen zur Dachanlage

Gartenzaun, Terrassen, Balkon und Freifläche

Solar-Wintergarten oder -Terrassendach

Auch wenn das Dach schon voll - oder unter Umständen nicht geeignet - ist, gibt es Möglichkeiten zur eigenen Solarstromerzeugung. Solare Wintergärten oder Terrassen-Überdachungen bieten dabei einen praktischen Doppelnutzen: So kann die Überdach-Verglasung gleichzeitig zur Produktion von Solarstrom dienen. Zum Einsatz kommen hier Glas-Glas Module, die einen Teil des Sonnenlichts in Strom umwandeln, den anderen Teil als Licht durch das Glas hindurchlassen. Besonders im Sommer ergibt sich dadurch ein angenehmer Halbschatten. Auf Seite 76 in diesem Heft stellen wir eine Terrassen-Solaranlage vor.

Solarzaun

Einen ähnlichen Doppelnutzen bieten Solarzäune: So kann auch die Grundstücksumfriederung zur Stromproduktion beitragen. Durch die senkrecht stehenden Module wird insbesondere im Winter bei tief stehender Sonne ein hoher Stromertrag generiert, der helfen kann, den in der dunklen Jahreszeit hohen Stromverbrauch zu decken. Bifaziale Module können den Ertrag nochmals erhöhen, da sie auch die reflektierenden Lichtstrahlen von der Rückseite absorbieren können. Am besten eignen sich hier freie Flächen in Süd-, Ost- oder Westausrichtung. Wichtiger ist jedoch, dass sie nicht von hohen Gräsern, Büschen oder Bäumen verschattet sind.

Solaranlage in den Garten bauen

Wenn Sie eine Solaranlage in den Garten stellen möchten, benötigen Sie in den meisten Bundesländern bis zu einer festgelegten Größe keine Baugenehmigung. Laut Musterbauordnung sind gebäudeunabhängige Solaranlagen mit einer Höhe bis zu 3 m und einer Gesamtlänge bis zu 9 m baugenehmigungsfrei. Fragen Sie sicherheitshalber noch mal in Ihrer Kommune nach.

Nun können Sie loslegen und die Anlage auf einem Dach des Gartenhauses oder auf einer Rasenfläche aufbauen. Für den Betrieb gibt es zwei Möglichkeiten:

- Gleichstromanlage ohne Netzanbindung, um Gleichstromgeräte (Beleuchtung,

BEG in Ihrer Nähe

Sie suchen Kontakte zu anderen Bürgerenergie-gemeinschaften? Zum Beispiel hier:

 www.buendnis-buergerenergie.de/karte

 www.buergerwerke.de/strom-beziehen/die-buergerwerke/die-genossenschaften/

 www.laneg.de/laneg-ev/mitglieder

 www.energiegenossenschaften-gruenden.de/energiegenossenschaften-und-projektentwickler-suchen.html



Abb 3 — Gemeinschaftliche Windkraftanlage.
Quelle: Bündnis Bürgerenergie e.V., Jörg Farys •



Abb 4 — Noch gibt es für Freiflächen-Anlagen im Garten keine Einspeisevergütung •

Gartenpumpe oder Rasensprenger) mit Strom zu versorgen. (Prüfen Sie vorab sorgfältig, ob die technischen Geräte geeignet sind!).

- Solarstromanlage mit Anbindung an das Hausnetz und das öffentliche Stromnetz. Hier benötigen Sie die Zustimmung des örtlichen Netzbetreibers. Ob zukünftig eine Einspeisevergütung gewährt wird, soll eine künftige Verordnung regeln. Bitte informieren Sie sich auf unserer Homepage über den Stand der Dinge.

Balkonkraftwerke oder auch Stecker-PV: unterschätzter Riese

Balkonkraftwerke bzw. Stecker-PV-Anlagen sind kleine Solaranlagen, die über eine Steckverbindung direkt ins Hausnetz einspeisen können. Damit können Viele zur Energiewende beitragen, selbst wenn sie keine Möglichkeit haben, eine PV-Anlage auf dem eigenen Dach zu installieren. Laut aktueller VDE-Norm sind max. 600 W Wechselrichterleistung erlaubt. Es gibt jedoch Überlegungen, diese Grenze auf 800 W anzuheben. Offiziellen Zahlen zufolge wurden bisher 200.000 Balkonmodule verkauft, die Verbraucherzentrale sieht jedoch Potential für mindestens 1 Millionen Geräte, welche zusammen über 290 GWh Strom liefern könnten.

Steckersolargeräte bestehen aus einzelnen PV-Modulen sowie kleinen Modulwechselrichtern. Die Modulwechselrichter sind meist so kompakt, dass sie hinter das PV-Modul geklemmt werden. Die Anlagen können relativ einfach auf dem Balkon, der Terrasse, an der Fassade oder auch auf dem Dach oder der Garage in Betrieb genommen werden. Viele Netzbetreiber haben ein vereinfachtes Anmeldeverfahren für Stecker-PV eingeführt. Manche Netzbetreiber fordern aber leider einen Anschluss über die sogenannte "Wieland-Energiesteckdose" oder eine Installation durch Elektrofachkräfte, was erhebliche Mehrkosten verursacht. Jedoch befürworten der Normenverband VDE und auch das Bundeswirtschaftsministerium mittlerweile eine einfache Lösung: Steckersolargeräte sollen über den handelsüblichen Schuko-Stecker angeschlossen werden dürfen, auch durch Laien. Ein entsprechendes Gesetz oder eine Norm wird in diesem Jahr erwartet.

Weitere Infos zu Steckersolar finden Sie hier:

 www.sfv.de/steckersolar



Echten Ökostrom beziehen Denn: Ökostrom ist nicht gleich Ökostrom!

Wenn man auf den gängigen Vergleichsportalen schaut, findet man viele Ökostromtarife. Doch es gibt große qualitative Unterschiede zwischen den Tarifen. So ist es z.B. erlaubt, fossilen Strom auf der Strombörse zu erwerben und diesen mit Grünstromzertifikaten aus Norwegen zu Ökostrom "zu veredeln".

Ökostrom aus Pumpspeicherkraftwerken aus der Schweiz und Österreich und ausgeforderte deutsche Laufwasserkraftwerke helfen genauso wenig, den weiteren Ausbau der Erneuerbaren anzuregen. Einige "reine Ökostromanbieter" sind auch Tochterunternehmen von fossilen Energieversorgern.

Das Ökostromlabel "Grüner Strom" soll garantieren, dass in den weiteren Ausbau von EE-Kraftwerken investiert wird und weitere Mindeststandards eingehalten werden. Weiterhin lohnt sich ein Blick in den "Robin Wood-Ökostromreport" und Vergleichslisten von Utopia oder Öko-Test.

 www.robinwood.de/oekostromreport



Abb 5 — Balkon-Solar wird gerade in Städten immer beliebter. •



VDE Norm Stecker-PV

Sowohl das BMWK, als auch der VDE und weitere Verbände inklusive dem SFV befürworten eine Erhöhung der erlaubten Leistungsgrenze von 600 auf 800 W für Steckersolaranlagen.

Weiterhin soll ein einfacher Anschluss über Schuko-Steckdosen auch durch Laien offiziell erlaubt werden.

Einige Hersteller haben bereits angekündigt, auf 600 W begrenzte Wechselrichter über ein Software-Update auf 800 W zu entsperren, sobald der Anschluss gesetzlich erlaubt ist. Schauen Sie in das Datenblatt oder fragen Sie beim Händler nach, ob ein nachträgliches Update geplant ist.

Nachhaltigkeit und Recycling von PV-Modulen

Viele Solarpioniere werden sich in den nächsten Jahren mit dem Abbau und dem Thema Recycling ihrer PV-Anlagen beschäftigen müssen. Erfreulicherweise ist die Umweltverträglichkeit und Recyclingfähigkeit von PV-Modulen auch für viele neue Investor:innen ein zunehmend wichtiges Entscheidungskriterium. Dabei ist die ökologische Bewertung von Modulen gar nicht so einfach. Wir zeigen, was ein umweltfreundliches Modul ausmacht und wie das Recycling von Solarmodulen in Deutschland abläuft.

— Kyra Schäfer

Die Umweltverträglichkeit und Recyclingfähigkeit von Photovoltaikmodulen ist für die Energiewende von großer Bedeutung. Möchten wir den Großteil unserer Energieversorgung auf Strom aus Photovoltaik und Windkraft aufbauen, benötigen wir eine entsprechende Steigerung der installierten PV-Leistung. Bei einem jährlichen Ausbau von 50 GW müssten allein in Deutschland pro Jahr 125 Millionen 400 Wp Module verbaut werden. Dafür brauchen wir enorme Mengen an Ressourcen, und obwohl sich die Lebensdauer von PV-Modulen stetig erhöht, müssen nach einigen Jahrzehnten dennoch Millionen Solarmodule wieder abgebaut werden. Die Europäische Umweltagentur rechnet mit jährlich 1,5 Millionen Tonnen Abfall durch Photovoltaikmodule ab 2030.

Es ist also wichtig, einen Blick auf die Umweltverträglichkeit der Solartechnik zu werfen. Wie erkenne ich ein besonders umweltfreundliches Modul? Wie geht das Recycling von Modulen aktuell vonstatten? Was wird benötigt, um durch erfolgreiches Recycling Ressourcen zu sparen und einen starken Anstieg der Abfallströme zu vermeiden? Und wie unterscheiden sich Module in Sachen ökologischer Nachhaltigkeit?

Abbau und Beschaffung der Ressourcen

In den gängigen poly- und monokristallinen Solarmodulen kommen vorwiegend Silizium, Aluminium, Glas, Silber, Kupfer, Blei, Zinn und verschiedene Kunststoffe zum Einsatz. Glas und Silizium werden

aus Quarzsand gewonnen, dessen globale Reserven als unerschöpflich gelten. Die Vorkommen sind weltweit verteilt, der Abbau erfolgt auch in Europa. Vorkommen von Silber, Kupfer, Blei oder Zinn gibt es ebenfalls weltweit, wenngleich in deutlich geringerer Menge. Der Abbau der Metalle geht mit bergbau-typischen Problemen einher, insbesondere im globalen Süden. Transparente Lieferketten der Ressourcen für die Module zu erhalten, ist gar nicht so einfach. Aber es gibt Unternehmen, wie z.B. *Meyer-Burger*, die auf lokale Beschaffung setzen und laut eigenen Angaben Schlüsselkomponenten zunehmend aus Europa beziehen. Denn Polysilizium kann zum Beispiel von Wacker in Deutschland bezogen werden und Wafer werden zu einem kleinen Marktanteil auch in Norwegen gefertigt.

Die Stromversorgung der Produktionsanlage

Bei der Modulproduktion beginnen die Unterschiede in Bezug auf Nachhaltigkeit bereits bei der Produktionsanlage und der Frage, aus welchen Quellen der Strom stammt, mit dem die Solarzellen und Module produziert werden. Denn die Herstellung von hochreinem Polysilizium, die Kristallisierung zu Ingots und der Zuschnitt der Wafer ist energieintensiv, genauso wie die Produktion des Schutzglases oder des Aluminium-Rahmens. Wird die jeweilige Produktionsanlage direkt mit Strom aus einem Kohlekraftwerk versorgt, dann ist das Modul augenscheinlich weniger nachhaltig als solche, die mit dem Landes-Strommix oder Ökostrom verwenden - wenngleich

? Neue Energie-Abhängigkeiten

In der EU wird der Ausbau von Solarenergie endlich wieder vorangetrieben. Grund dafür sind nicht zuletzt der Ukrainekrieg und der Wunsch nach Energieunabhängigkeit. Jedoch müssen gleichzeitig die europäischen PV-Produktionskapazitäten massiv ausgebaut werden, um nicht in eine neue Abhängigkeit zu geraten. Aktuell werden 80 % der gesamten PV-Lieferkette von China bestimmt. Bei PV-Ingots und Wafern lag der Marktanteil von China 2021 bei 98 % (Wacker Chemie AG, Abb. 1). Der Aufbau einer heimischen PV-Industrie sichert also nicht nur Sozial- und Umweltstandards, sondern erhöht auch die Unabhängigkeit von Zuliefernden Ländern.

Regionale Marktanteile der PV-Wertschöpfung

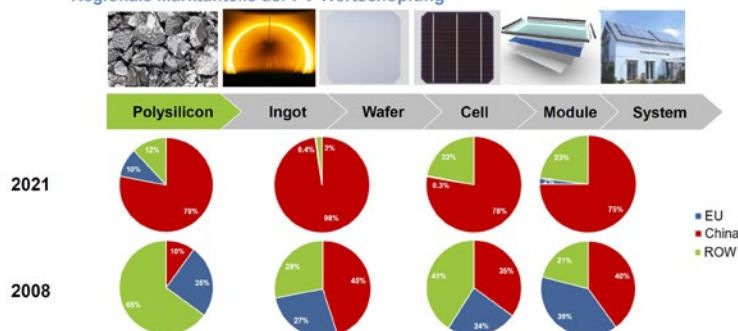


Abb 1 — © Wacker Chemie AG •

nur bilanziell. Klar ist: Je mehr wir die Erneuerbaren ausbauen, desto nachhaltiger werden die Module in ihrer Strombilanz. Dennoch haben auch mit Kohlestrom produzierte PV-Module eine energetische Amortisationszeit von nur wenigen Jahren, d.h. innerhalb weniger Jahre erzeugen die Module die Strommenge, die für den gesamten Produktionsprozess benötigt wurde. Übrigens besteht ein Modul nur etwa zu 3 % aus Solarzellen, dennoch macht die Zellproduktion (Herstellung des Polysilizium, Wafer, Zellen) über 50 % des Energieverbrauchs aus.

Langlebigkeit der PV-Module

PV-Module gelten als eine langlebige und wartungsarme Technik. Zu Recht! Viele PV-Anlagen der ersten Stunde laufen seit 30 Jahrzehnten und versorgen die Haushalte immer noch zuverlässig mit Strom. Heute bieten Hersteller 20-30 Jahre Leistungsgarantie auf neue PV-Module. Je robuster ein Modul produziert wird und je länger es dementsprechend hält, desto ökologisch nachhaltiger ist es zu bewerten. Besonders sticht hier die Firma SunPower hervor, die auf ein Modul eine Produktgarantie von sogar 40 Jahren bietet und bei der 25-jährigen Leistungsgarantie immer noch 92 % der Anfangsleistung verspricht. Die Unterschiede zwischen der Leistungs- und Produktgarantie werden auf Seite 50 erklärt.

Recyclingfähigkeit der eingesetzten Ressourcen

In Abb. 01 wird aufgezeigt, welche Materialien in einem kristallinen PV-Modul zum Einsatz kommen. Insgesamt sind bis zu 95 % der verwendeten Rohstoffe recycelbar. Den größten Anteil machen bei Glas-Folien-Modulen das Schutzglas und der Alurahmen aus (ca. 80 %). Aluminium, Glas, das Kupferkabel und die Anschlussdose sind gut recycelbar. Schwieriger wird es bei den Rückseitenfolie oder den EVA-Folien, die nur teilweise wiederverwendet werden können.

Ein größeres Problem stellt das Blei aus den Zellverbindern dar: es ist als Bestandteil giftig und erschwert dadurch den Recyclingprozess. Zwar kommen pro Modul nur wenige Gramm Blei zum Einsatz, aber bei 460 Millionen weltweit verbauten Modulen in 2021 summiert sich die Menge letztlich auf beachtliche 11.000 Tonnen Blei pro Jahr, Tendenz steigend. Auch wenn eine europäische Richtlinie den Einsatz von Blei in elektronischen Produkten verbietet, gelten für Photovoltaik Ausnahmen. Durch den Verzicht auf den Lötprozess der PV-Zellen ist es dabei durchaus möglich, ein Modul ohne Blei herzustellen. So haben einige Firmen, wie z.B. REC, Meyer-Burger, Solarwatt oder OPES Solutions mittlerweile bleifreie Module im Angebot.

Das Recycling der Solarzelle, des Wafers und der Metalle ist technisch ebenfalls möglich, wird allerdings aus wirtschaftlichen Gründen



Zertifikate für PV-Module

Es gibt die **Environmental Product Declaration**, kurz EPD, die Produkte anhand ihrer Umwelteinwirkung und CO₂-Emissionen entlang des gesamten Lebensweges (Cradle to Grave) bewertet. In Deutschland wurden zwei Module von REC mit dem Zertifikat versehen: ein bleifreies Modul mit Polysilizium aus Deutschland und das TwinPeak4, aus upgecycltem Silizium. **Cradle-to-Cradle** prüft und zertifiziert ebenfalls Produkte auf Basis ihrer Ökobilanz und Kreislauffähigkeit. Einige Module von Solarwatt haben das Silber-Level der Cradle-to-Cradle-Zertifizierung® erhalten.

noch nicht umgesetzt. Die Schwierigkeit besteht darin, die oft miteinander verklebten Materialien sauber zu trennen. Zurzeit ist das Recycling der Solarzellen auch aufgrund geringer PV-Abfallmengen noch nicht rentabel - denn die meisten Solarmodule halten länger als 30 Jahre. Erst in den nächsten Jahren wird eine stetige Zunahme an PV-Abfällen erwartet. Die Chancen für bessere Recyclingquoten stehen nicht schlecht: Durch den aufwändigen Reinigungsprozess des Rohsiliziums sind laut Powershift, einer Umweltorganisation aus Berlin, neue Module aus Primärsilizium dreimal schneller gefertigt wie Module gleicher Leistung, die aus recycelten Rohstoffen hergestellt werden. Das könnte recycelte Module in den nächsten Jahren, sobald das Recycling-Volumen ansteigt, kostengünstiger machen als neue Module.

Wie funktioniert das Recycling?

Zunächst wird geprüft, ob die Module noch funktionieren und repariert oder weiterverkauft werden können - nur funktionsunfähige Module dürfen recycelt werden. Ist das Modul tatsächlich defekt, werden Alurahmen, Anschlussdosen und Kabel entfernt. Das Modul wird anschließend entweder zerkleinert, sodass Glas, Metalle und Folien getrennt werden können. Die Kunststofffolien werden thermisch verwertet - also verbrannt. Alternativ wird das gesamte Modul auf ca. 500°C erhitzt, sodass sich der EVA-Verbund um die Solarzelle auflöst (EVA = Ethylvinylacetat, siehe Abb. 02). Die Solarzellen werden dann händisch vereinzelt und gereinigt. Der Waferbruch kann zu neuen Wafers verarbeitet werden. Die Rückseitenkontakte, Silberkontakte, Antireflexschicht oder Emitter werden meist durch Ätzung gelöst. Das Solarglas wird in Alternativprodukten wiederver-

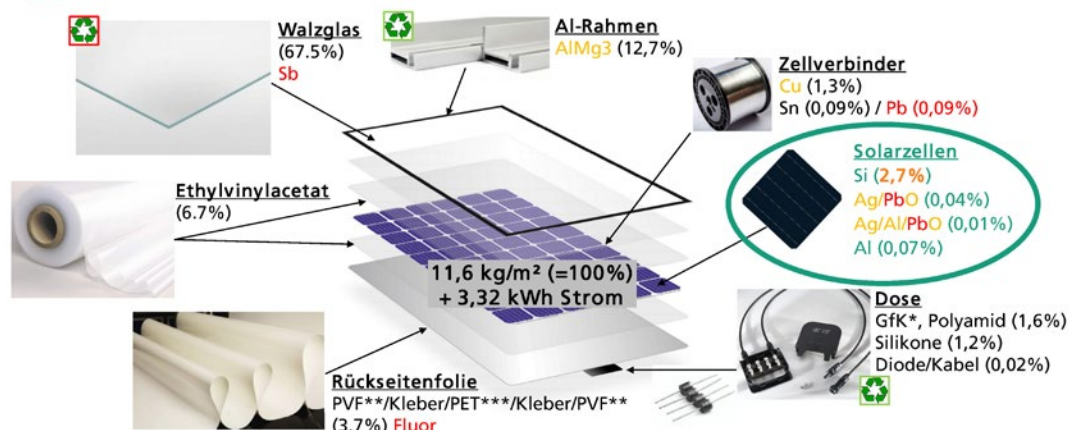


Abb 2 — In Klammern angegeben ist der Massenanteil der Substanz bezogen auf die Gesamtmodulmasse von 11,6 kg/m².
*GfK Glasfaser verstärkter Kunststoff, **PVF Polyvinylfluorid, ***PET Polyethylenterephthalat © Fraunhofer ISE.



Abb 3 — Ansicht eines Moduls vor und nach dem Lichtblitz: Durch den Blitz ist es möglich die Verbundmaterialien des Moduls zu trennen.
Foto: FLAXRES in: Konrad Mertens, "Photovoltaik - Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis", Hanser Verlag, 2022 •

wendet, in Zukunft soll es auch für neue Module genutzt werden.

Es gibt auch weitere Ansätze, einen möglichst hohen Recyclinganteil insbesondere für die wertvollen Metalle und das Polysilizium zu erhalten. Die Firma *Rosi Solar* aus Frankreich hat ein thermisch/chemisches Verfahren entwickelt, bei dem PV-Module pyrolysiert, d. h. unter Ausschluss von Sauerstoff erhitzt werden, wodurch sich die Materialien auftrennen lassen. Auch eine Wiederverwendung des Solarzellen und der Metalle soll so ermöglicht werden.

Das Unternehmen *Flaxres* aus Dresden wiederum hat eine Technologie entwickelt, mit der der EVA-Solarzellen-Verbund durch kurze Lichtblitze aufgetrennt werden kann. Durch das Blitzlicht erwärmen sich die Siliziumwafer schlagartig um mehrere hundert Grad. So wird laut Herstellerangaben eine sortenreine Fraktionierung des Photovoltaik-Moduls erreicht. Auch die Siliziumwafer sollen mit der Blitzlicht-Technologie rückstandslos extrahiert werden können (siehe Abb. 3). Beide Firmen sind an dem Projekt "Reprosolar" beteiligt, das zum Ziel hat, eine Methode für hundertprozentiges Recycling aller Bestandteile von PV-Modulen zu entwickeln.

Wie ist der Recyclingprozess organisiert?

Das Materialaufkommen für PV-Modulrecycling ist zurzeit noch gering. Erst in den nächsten Jahren werden größere Mengen der Module erster Generation erwartet. Aktuell werden dennoch nur etwa 45 % der Module zurück zum Recycling gebracht und viele Module landen leider auf Deponien, wo Regen und Verwitterung zur Auswaschung der Schwermetalle führen können. Der Grund für die unsachgemäße Entsorgung liegt dabei wohl eher in der noch ungenügenden Verwaltung der wertvollen PV-Abfälle, als in unzureichender Recyclingfähigkeit der Module.

Die Europäische Richtlinie (2012/19/EU) über Elektro- und Elektronik-Altgeräte hat 2012 festgelegt, dass alle Modulhersteller ab Anfang 2015 in Verkehr gebrachte Module registrieren und recyceln müssen. Die Sammelquote für das Recycling von PV-Modulen beträgt laut Richtlinie 85 %. Davon müssen sogar 80 % in den Wertstoffkreislauf zurückgeführt werden. Bei vielen Modulen machen allerdings das Schutzglas und der Aluminium-Rahmen schon 80 % des Gesamtgewichts aus - die Recyclingquote ist dadurch leicht zu erfüllen, ohne dass garantiert werden kann, dass die CO₂-intensiven Anteile, wie die Solarzelle, ebenfalls wiederverwertet werden.

Die Hersteller werden an den Kosten für das Recyclingaufkommen anteilig nach dem jeweiligen Verkaufsvolumen beteiligt. Dafür müssen die Verkaufsmengen der eigenen Module, die Rücknahme-

mengen sowie Sammel- und Recyclingquoten gemeldet werden. Die fachgerechte Entsorgung wird in vielen EU-Ländern über eine verpflichtende und vorgezogene Entsorgungsgebühr pro Modul finanziert. In Deutschland gibt es diese Gebühr jedoch nicht. Viele Modulhersteller haben mittlerweile ein eigenes Rücknahmesystem in die Wege geleitet. PV-Module, die an öffentlichen Wertstoffhöfen entsorgt werden, müssen von den Modulherstellern abgeholt werden - die abzuholende Menge richtet sich nach dem Marktanteil. Das Recycling haushaltsüblicher Mengen an den Wertstoffhöfen wird über Verträge zwischen Hersteller und dem Dienstleister PV-Cycle finanziert.

PV-Cycle

Um das sachgemäße Recycling herstellerübergreifend zu organisieren, wurde 2010 PV-Cycle durch PV-Firmen gegründet. In Deutschland ist PV-Cycle Germany der bundesweit operierende Dienstleister für die Rücknahme und Entsorgung von allen seit 2015 registrierten PV-Modulen, Speichern und Wechselrichtern, ähnlich wie der "grüne Punkt" für das Recycling von Plastikabfällen verantwortlich ist. Das Unternehmen organisiert Rücknahmestellen, Zugang zu Logistik- und Recyclingnetzwerken, die Erfassung und Weitergabe der Entsorgungsdaten, und die Weiterverwendung von PV-Modulen. In Deutschland betreibt es 60 private Sammelpunkte, sowie ein Bring- und Holsystem für Altmodule. Für Modulhersteller, die Mitglied bei PV-Cycle sind, ist die Entsorgung kostenfrei. Für Nicht-Mitglieder kostet die Entsorgung etwa 180 EUR pro Tonne. Auch wenn aktuell das Recycling von Solarmodulen noch in den Kinderschuhen steckt - so sind bereits wichtige Infrastrukturen im Aufbau, um die sachgemäße Wiederverwendung der Ressourcen in Zukunft meistern zu können.



Worauf muss ich beim Abbau und Recycling achten?

- **Abbau der Alt-Anlage:** Die alte oder defekte PV-Anlage muss eigenständig vom Dach abgebaut werden. Der Anlagenbetreiber zahlt die Kosten für Abbau und Transport, was bei der Planung der Anlage oft vergessen wird. Das sollten Sie unbedingt finanziell mit einkalkulieren.
- **Transport zum Wertstoffhof:** Privatpersonen dürfen haushaltsübliche Mengen kostenfrei beim kommunalen Wertstoffhof abgeben. Bei größeren Mengen sind die Hersteller verpflichtet, angemessene Möglichkeiten zur Rückgabe zu schaffen. Eine weitere Option ist die kostenpflichtige Abholung durch die Organisation PV-Cycle.
- **Beim Kauf einer neuen Anlage:** Prüfen Sie, ob die Solarmodule registriert sind. Die Liste der registrierten Hersteller und ihre Bevollmächtigten ist auf der Webseite der Stiftung EAR veröffentlicht:



www.ear-system.de/ear-verzeichnis/hersteller/

[www.sfv.de/
nachhaltigkeit-und-
recycling-von-pv-
modulen](http://www.sfv.de/nachhaltigkeit-und-recycling-von-pv-modulen)



Ü20 Anlagen: Auch nach Auslauf der EEG-Förderung genug Power

— Susanne Jung

Als Ende der 80er Jahre mutige Solarpioniere in die damals sehr kostspielige Photovoltaik investierten, ahnte niemand, wie viel Langzeit-Power in ihren Anlagen steckt. Heute, nach weit über 30 Jahren, sind viele Betreiber:innen mehr als erstaunt. Die Anlagen sind robust und bringen auch heute noch ordentliche Erträge. Auf die von Herstellern garantierte Leistungsfähigkeit von 20 Jahren folgte das erste EEG 2000 mit der gesetzlich festgeschriebenen Vergütungszeit von ebenso 20 Jahren. Wir beim SFV sind davon überzeugt, dass es aus Gründen des Klima- und Ressourcenschutzes wichtig ist, intakte Solartechnik auch über den gesetzlichen Vergütungszeitraum von 20 Jahren hinaus zu betreiben. Wir haben uns deshalb mit zahlreichen anderen Initiativen stark gemacht, um den wirtschaftlichen Weiterbetrieb der Ü20-Anlagen weiterhin abzusichern. Und wir hatten Erfolg. Unsere wesentlichen Forderungen wurden im EEG 2021 umgesetzt.

Sichere Netzeinspeisung

Der Anspruch auf Netzanschluss, sowie die vorrangige Stromabnahme und -weiterleitung ist bestehen geblieben. Viele Anlagen wurden und werden auch heute noch von Volleinspeisung auf Eigenversorgung umgerüstet. Der Überschussstrom wird weiterhin in das öffentliche Stromnetz eingespeist.

Vergütung für Netzeinspeisung

Alle Ü20-Anlagenbetreiber:innen haben einen Anspruch, die eingespeisten Kilowattstunden vergütet zu bekommen. Die Höhe der Vergütung richtet sich nach dem „Jahresmarktwert Solar“. Dieser Wert wird an der Strombörse in Leipzig gebildet und auf der Webseite der Übertragungsnetzbetreiber bekannt gegeben. Er ergibt sich aus dem Spotmarktpreis, der zu jeder Stunde des Kalenderjahres im Verhältnis zur gelieferten Solarstrommenge erzielt wurde. Für Ü20-Solarstrom, der in 2022 eingespeist wurde, betrug die Vergütung 22,306 ct/kWh abzüglich von Vermarktungskosten (2022: 0,184 Ct/kWh).

2023 ergeben sich andere Werte. Für Solarstrom aus Altanlagen, der ab 1.1.2023 in das öffentliche Netz gespeist wird, sollen die Erlöse auf 10 Ct/kWh gedeckelt werden, wenn sich der Jahresmarktwert



Solar über diesen Preis entwickelt. Ein Wermutstropfen: Mit maximal 10 Ct/kWh liegen Ü20-Anlagenbetreiber über den gesetzlichen Einspeisevergütungen für Neuanlagen. Die gesetzliche Vergütungspflicht für Ü20-Anlagen erlischt zum 31.12. 2027. Hier muss der Gesetzgeber noch dringend nachbessern.

Was muss man bei der Messung beachten?

Der vorhandene Zähler zur Volleinspeisung kann in aller Regel weiter genutzt werden, sofern dieser noch geeicht ist. Sollte der Netzbetreiber auf eine moderne Messeinrichtung nach dem neuen Messstellenbetriebsgesetz bestehen, muss umgerüstet werden. Für Anlagen bis 7 kW reicht eine moderne Messeinrichtung (einfacher digitaler Zähler). Preis: maximal 20 € brutto / Jahr. Für größere Anlagen müssen intelligente Messsysteme vorgesehen werden (Smart Meter Gateway). Bei älteren Zählerschränken, in denen die neue Messeinrichtung nicht mehr eingebaut werden kann, könnte es teuer werden. Hier muss neu investiert werden. Ein neuer Zählerschrank kostet bis ca. 1000 €.

Ü20-Anlagen und die Steuer

Für Ü20-Anlagen bis 30 kW entfällt die Einkommensteuerpflicht - genauso wie für alle anderen Solarstromanlagen bis zu dieser Leistungsgröße. Nach dem Jahressteuergesetz 2022 ist der Zeitpunkt der Inbetriebnahme der PV-Anlage unmaßgeblich. Ebenso ist die Verwendung des erzeugten Stroms nicht relevant. Der Wegfall der Einkommensteuerpflicht bis 30 kW gilt bereits rückwirkend für 2022.

Repowering

Wer plant, zur bestehenden Ü20-Anlage eine weitere Solaranlage auf das Dach oder die Fassade zu installieren, unterliegt den Vergütungsregelungen des neuen EEG 2023. Die gute Nachricht: mehrere Anlagen können über gemeinsame Messeinrichtungen abgerechnet werden.



Dreht sich der Stromzähler bei PV-Prosumern schneller?

Warum Rebound-Effekte bei Photovoltaikanlagen relevant sind

Forschungsergebnisse weisen darauf hin, dass manche Haushalte nach der Installation einer PV-Anlage mehr Strom verbrauchen (Rebound-Effekt). Dies führt in Summe zu einem Mehrverbrauch, der das Erreichen der Ausbauziele für erneuerbare Energien erschwert. Für schnelle Fortschritte beim Klimaschutz ist es notwendig, diesen Rebound-Effekt zu begrenzen. Dies lohnt sich auch für die Haushalte selbst.

— Jan Kegel und Julika Weiß

Bis 2030 soll Deutschland 80 Prozent seines Stroms aus erneuerbaren Energien (EE) gewinnen, so das Ziel der Bundesregierung. Auch die Hälfte der Wärmeerzeugung soll bis dahin klimaneutral sein. Nicht nur für den Klimaschutz, auch für die (Versorgungs-)Sicherheit ist es elementar, schnell aus fossilen Energien auszusteigen: Der Ukrainekrieg zeigt, mit welchen Schwierigkeiten die Abhängigkeit von Energieimporten verbunden ist. Um diesen Problemen entgegenzuwirken, ist neben dem EE-Ausbau auch eine Verringerung des Energieverbrauchs nötig.

Auf beiden Ebenen sind auch die Privathaushalte gefragt. So leisten Haushalte einen wichtigen Beitrag zur Energiewende, wenn sie als PV-Prosumer eine Photovoltaikanlage installieren oder wenn sie auf Ökostrom bzw. erneuerbare Wärme umsteigen. Allerdings kann gerade bei diesen Haushalten durch Rebound-Effekte der Energieverbrauch überdurchschnittlich steigen, da die grüne Energie vielfach als ökologisch unbedenklich und als fast kostenlos bewertet wird. Rebound-Effekte sind vor allem von Energieeffizienzmaßnahmen bekannt, bei denen der Energieverbrauch nach Durchführung der Maßnahme nicht in dem erwarteten Maß sinkt [1]. Ein bekanntes Beispiel sind Energiesparlampen, die zwar weniger Strom verbrauchen, dafür jedoch länger angeschaltet bleiben.

Auch wenn Haushalte nach dem Umstieg auf erneuerbare Energien mehr Energie verbrauchen als zuvor, kann man das als Rebound-Effekt bezeichnen, denn der Beitrag zur Ressourceneinsparung fällt geringer aus als erwartet. In dem vom BMBF geförderten

Forschungsprojekt „EE-Rebound: Rebound-Effekte durch den Umstieg auf Erneuerbare Energien?“ wurde untersucht, inwiefern und in welcher Höhe Rebound-Effekte auch beim Einsatz erneuerbarer Energien existieren, was die Ursachen für diese Effekte sind und wie diesen entgegengewirkt werden kann. Im vorliegenden Artikel wollen wir dieses Phänomen und seine Bedeutung am Beispiel der PV-Prosumer darstellen.

Rebound-Effekte und ihr Einfluss auf die Energiewende

Durch die hohe Dringlichkeit, das Stromsystem zu dekarbonisieren und gleichzeitig die Sektoren Wärme und Mobilität zu elektrifizieren, ist ein enormer Ausbau erneuerbaren Stroms notwendig. So beläuft sich das Ausbauziel alleine bei Photovoltaikanlagen bis zum Jahre 2030 auf eine Gesamtleistung von 215 GWp. Doch der EE-Ausbaugeschwindigkeit sind durch Herausforderungen wie Lieferengpässe, Standortsuche und Fachkräftemangel Grenzen gesetzt. Deshalb ist neben dem Ausbau der erneuerbaren Energien die Reduktion des Energieverbrauchs die zweite zentrale Säule der Energiewende. Private Haushalte spielen für beide Säulen eine tragende Rolle.

Das Forschungsprojekt EE-Rebound kam zu dem Ergebnis, dass die Installation einer PV-Anlage mit einem deutlichen Mehrverbrauch verbunden sein kann: Sowohl eine mehrjährige Verbrauchsanalyse als auch ein Vergleich von Haushalten mit



Abb 1 — Häufige Ursachen für Rebound-Effekte bei PV-Prosumerhaushalten.
Quelle IÖW 2021 •

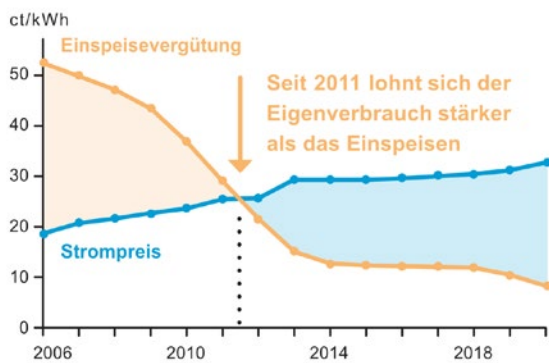


Abb 2 — Entwicklung der Einspeisevergütung und des Strompreises. Quelle: IÖW 2021 •

PV-Anlage und ähnlichen Haushalten ohne PV-Anlage weisen auf einen erheblichen Mehrverbrauch hin. Bei Haushalten, die ihre PV-Anlage nach 2011 installiert haben, wurde ein mittlerer Mehrverbrauch von rund 18 Prozent gegenüber vergleichbaren Haushalten festgestellt [2]. Dabei wurde der Verbrauch von neuen Stromverbrauchern aus anderen Sektoren wie Wärmepumpe und E-Auto in den Analysen bereits bestmöglich mitbetrachtet. Nichtsdestotrotz erschweren Sektorkopplungstechnologien die genaue Quantifizierung von Rebound-Effekten.

Der in den Analysen gefundene Mehrverbrauch erschwert das Erreichen der Klimaschutzziele. Da die Anzahl der Haushalte mit PV-Anlage drastisch steigen muss, hat ihr Verbrauchsverhalten zukünftig relevante Auswirkungen: Schätzungen des Forschungsprojekts, bei denen noch mit einem niedrigeren Ausbauziel von ca. 140 GWp gerechnet wurde, zeigen, dass ein durchschnittlicher Mehrverbrauch von 20 Prozent bei den PV-Prosumern den Bruttostrombedarf im Jahr 2030 um rund zwei Prozent erhöhen könnte [3]. Insgesamt ist sogar ein noch höherer Mehrverbrauch an Energie zu erwarten, denn im Vorhaben EE-Rebound wurden auch in anderen Bereichen Rebound-Effekte festgestellt. So lüften und heizen Haushalte mit erneuerbarer Wärme weniger effizient und planen seltener energetische Sanierungsmaßnahmen an ihrem Haus [4]. Zudem steigt beim Wechsel von Graustrom zu Ökostrom der Stromverbrauch [5].

Ursachen und Folgen der Rebound-Effekte von PV-Prosumern

Ursachen von Rebound-Effekten bei Effizienzmaßnahmen sind finanzielle Aspekte sowie eine Vielzahl von psychologischen, sozialen und strukturellen Faktoren [6]. Interviews mit PV-Prosumern im Projekt EE-Rebound zeigen, dass auch nach der Installation einer eigenen Solaranlage vor allem psychologische und monetäre Faktoren für den Mehrverbrauch verantwortlich sind: Insbesondere die Nutzung des kostengünstigen, selbsterzeugten Stroms ist bei den PV-Prosumern von großer Bedeutung [7]. Auch das gute Gewissen, mit der PV-Anlage bereits einen Beitrag für die Umwelt zu leisten, kann zu einem weniger sparsamen Stromverbrauch führen (Abbildung 1). Zudem befürchten einige Haushalte zu Unrecht, dass bedeutende Mengen ihres Stroms vom Netzbetreiber abgeregelt werden, also verfallen, wenn sie ihn nicht selbst verbrauchen. Tatsächlich bewegen sich die zu erwartenden Ertragseinbuße jedoch im unteren einstelligen Prozentbereich – bei Systemen mit Batteriespeicher auch oftmals unter ein Prozent.

Besonders auffällig ist, dass sich Haushalte, die ihre PV-Anlage vor 2011 installiert haben, in ihrem Verhalten von denjenigen unterscheiden, die ihre Anlage ab 2011 installiert haben. Dies lässt sich mit Preiseffekten beim Eigenverbrauch erklären. Etwa seit 2011 ist die durch das EEG garantierte Einspeisevergütung geringer als der Strompreis (Abbildung 2). Durch sinkende Einspeisevergütungen und steigende Strompreise wurde die Differenz in den letzten Jahren immer größer, so dass die Wirtschaftlichkeit kleiner PV-Anlagen zunehmend durch den Eigenverbrauch sichergestellt wird. In den Jahren 2020 und 2021 wurde diese Dynamik durch Preissteigerungen bei PV-Anlagen bei gleichzeitig sinkender Einspeisevergütung noch verschärft.

Eigenverbrauch ist bei PV-Prosumern nicht per se negativ zu bewerten, denn er kann dazu beitragen, die Stromnetze zu entlasten und Übertragungsverluste zu verringern – vor allem wenn Prosumer ihren Verbrauch zeitlich an den Sonnenschein anpassen, indem sie beispielsweise die Waschmaschine in sonnigen Mittagsstunden laufen lassen. Während sich Eigenverbrauch angesichts hoher Strompreise finanziell lohnt, kann das Einspeisen aufgrund der

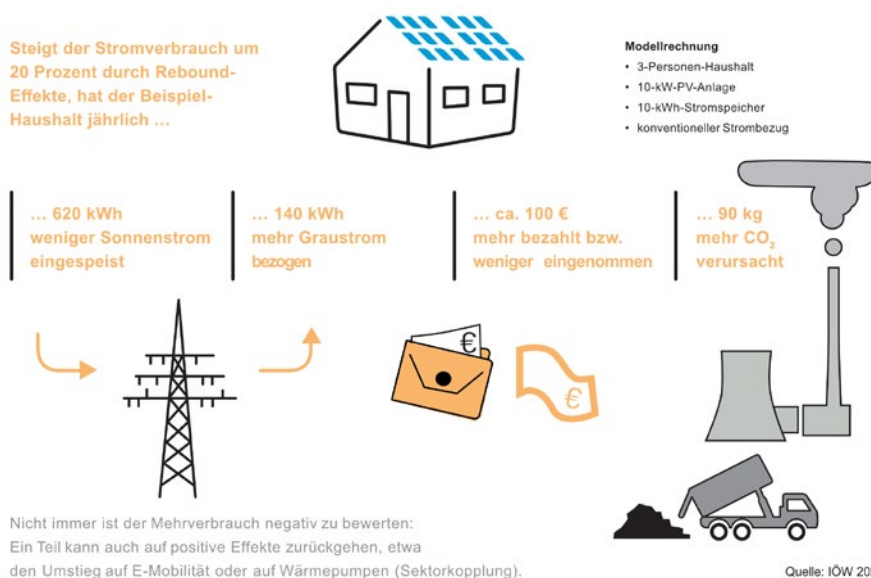


Abb 3 — Ökologische und ökonomische Auswirkungen der Rebound-Effekte. Quelle: IÖW 2021 •



Weitere Infos zu Rebound-Effekten durch PV-Anlagen

Auf der Homepage des Projekts EE-Rebound finden Sie weitere Infos, Handreichungen und Medienbeiträge zum Thema Rebound-Effekte durch den Umstieg auf Erneuerbare Energien.

www.ee-rebound.de

geringen Vergütung als „Vergeudung“ wahrgenommen werden. Das führt dazu, dass Prosumer möglichst viel ihres Solarstroms selbst verbrauchen wollen, was einen Mehrverbrauch begünstigt. Denn wenn der eigenerzeugte Strom großzügig in zusätzlichen Geräten verbraucht oder ineffektiv eingesetzt wird (etwa beim Betrieb einer nur halbvollen Spülmaschine zur Mittagszeit) fehlt in Folge der CO₂-arme Solarstrom im Energiesystem. Vielen PV-Prosumern scheint bisher zu wenig bewusst zu sein, dass der von ihnen eingespeiste Strom nicht nur für ihre finanziellen Einnahmen, sondern für die Energiewende insgesamt wichtig ist und gebraucht wird, um den Bedarf anderer Konsument:innen zu decken.

Die leichte Erhöhung der Vergütungssätze für Eigenverbrauchsanlagen im EEG 2023 versucht die Preissteigerung der letzten Jahre für PV-Anlagen auszugleichen [8]. Bei einem Unterschied zwischen Vergütung und Netzbezug von über 30 Cent/kWh bleibt das beschriebene Problem jedoch weitgehend erhalten. Inwiefern sich die Einführung separater Vergütungssätze für volleinspeisende Anlagen, die gut 60 % höher als die Vergütungssätze für PV-Prosumer sind, auf das Verbrauchsverhalten auswirkt, bleibt abzuwarten. Durch die höheren Einspeisevergütungen könnte das Eigenverbrauchsmodell an Relevanz verlieren. Für die Energiewende hätte das Vor- und Nachteile: Rebound-Effekte würden aufgrund der geringeren Preisdifferenz zwar vermutlich vermindert, aber die Haushalte hätten keinen Anreiz mehr, ihren Energieverbrauch im Sinne der Energiewende zeitlich an die Solarstromproduktion anzupassen.

Deshalb ist es besonders wünschenswert, Eigenverbrauch und Einspeisung netzdienlich zu kombinieren.

Auch für die Haushalte selbst hat der Mehrverbrauch negative Folgen, weil sich die positiven Wirkungen der PV-Anlage verringern (Abbildung 3): Der Haushalt speist weniger PV-Strom ein und erhält dadurch geringere Einnahmen. Zugleich steigen die Ausgaben, denn mit dem höheren Eigenverbrauch geht meist auch ein höherer Strombezug aus dem Netz einher, vor allem wenn sich der Mehrverbrauch nicht auf die Sonnenstunden beschränkt.

Zu diesen finanziellen Nachteilen kommen ökologische Effekte hinzu: Zwar senken Haushalte nach der Installation einer PV-Anlage die CO₂-Emissionen ihrer Stromversorgung. Doch auch diese ökologischen Vorteile verringern sich durch die Rebound-Effekte.

Energiesparen nicht vergessen! Für die Energiewende – eine Aufgabe für alle.

Wie erreichen wir, dass Haushalte nicht nur auf erneuerbare Energien umsteigen, sondern gleichzeitig auch ihren Energieverbrauch senken bzw. zumindest nicht erhöhen? Dazu braucht es Maßnahmen für einen effizienten Einsatz von Strom und Wärme sowie Anreize für einen suffizienten – also maßvollen – Energiekonsum. Gerade auch beim Umstieg auf erneuerbare Energien sollten Nutzer:innen dafür sensibilisiert werden, dass Energiesparen auch bei einem zunehmenden EE-Anteil notwendig bleibt. Deshalb sollten die Themen Effizienz und Suffizienz beim Umstieg auf erneuerbare Energien in Informations- und Beratungsangeboten von bspw. Verbraucherschutzzentralen und Stromversorgern aber auch durch Handwerksbetriebe und Installateur:innen thematisiert werden.

Zudem kann Technik Haushalte bei ihren Einsparbemühungen unterstützen: Studien zeigen, dass eine Senkung des Energieverbrauchs durch Feedback mittels intelligenter Stromzähler erreicht werden kann, wenn die Daten anschaulich und leicht verständlich aufbereitet sind [9]. Technikbegeisterung kann neben Umweltbewusstsein und neuen Routinen eine wichtige Motivation zum Stromsparen sein, wie das Projekt EE-Rebound in Interviews mit Prosumern feststellte (siehe Abbildung 4) [10].

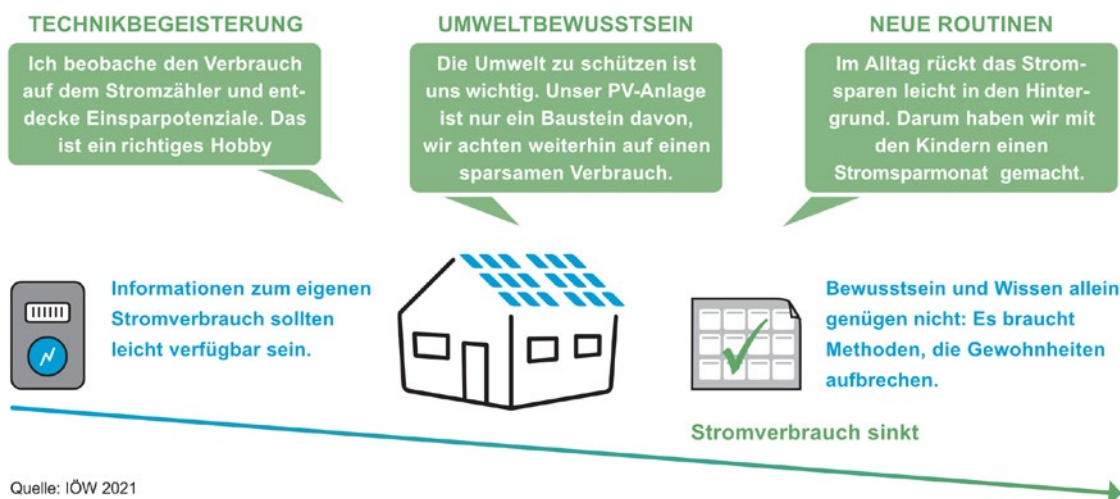


Abb 4 — Was motiviert Prosumerhaushalte zum Stromsparen? Quelle: IÖW 2021 •

Fazit

Schlussendlich kann eine effiziente Energiewende nur im Zusammenspiel aller Akteure und Akteurinnen gelingen. Politisch müssen Szenarien, Strategien und Gesetze bei der Strom- und Wärmewende mögliche Rebound-Effekte stärker berücksichtigen. Anbieter von Produkten und Dienstleistungen, Verbraucherschützer:innen und Energieberater:innen sowie Haushalte müssen diese Vorgaben in die gelebte Praxis und ein maßhaltiges Verbrauchsverhalten übersetzen.

Jeder einzelne PV-Prosumerhaushalt kann durch Energiesparen und ein geschärftes Bewusstsein über die Wirkungen der eigenen PV-Anlage auf Haushalts- und Systemebene einen relevanten Beitrag zur Schonung der Ressourcen leisten. So können wir erreichen, dass die mehr als 1,5 Millionen PV-Anlagen auf privaten Hausdächern in Deutschland ihr volles Potenzial für den Klimaschutz entfalten können.

Quellen und Link zum
IÖW-Impulse Artikel:



Der vorliegende Artikel ist eine gekürzte und überarbeitete Version des IÖW-Impulse Nr. 4 mit dem Titel „Jede Kilowattstunde zählt: Rebound-Effekte beim Umstieg auf erneuerbare Energien effektiv reduzieren“ aus dem April 2022.

[www.sfv.de/
rebound-effekte-
photovoltaikanlagen](http://www.sfv.de/rebound-effekte-photovoltaikanlagen)

Dr. Julika Weiß

ist Leiterin des Forschungsfelds Nachhaltige Energiewirtschaft und Klimaschutz am IÖW. Sie befasst sich u.a. mit der Frage, wie Umwelt- und Klimaschutz im Wechselspiel von Rahmenbedingungen und dem Verhalten Einzelner gelingen können. Rebound-Effekte spielen dabei eine wichtige Rolle.



Dr. Jan Kegel

begeistert sich für das Licht und seine vielfältigen Nutzungen. Als wissenschaftlicher Mitarbeiter am IÖW beschäftigt er sich vorrangig mit der Einbindung der Photovoltaik in das Energiesystem der Zukunft.



www.ertragsdatenbank.de

Kennen Sie schon die Ertragsdatenbank?



● Ertragsdatenbank?

Die Ertragsdatenbank ist ein kostenloses Online-Tool vom SFV. Seit 2001 tragen tausende Anlagenbesitzer:innen ihre Solarstromerträge in die Datenbank ein. In ganz Deutschland sind 18.130 Anlagen registriert.

● Was müssen Sie tun?

Sie haben eine Solaranlage? Dann können Sie Ihre Anlage kostenlos mit Standort, Ausrichtung, Nennleistung und Neigungswinkel registrieren. Einmal pro Monat tragen Sie Ihre Stromerträge in die Datenbank ein.

● Was bringt Ihnen das?

Sie können Ihre Erträge mit anderen Anlagen in der Nähe oder mit Anlagen mit z.B. der selben Nennleistung vergleichen. Außerdem können Sie über die Jahre leichter erkennen, ob es bei Ihrer Anlage zu Fehlern oder Defekten kommt.

			
Anmelden & Registrieren	PV-Erträge auslesen	Fragen & Antworten	Über uns
Registrierte PV-Anlagen	Gesamt-Nennleistung (kWpeak)	Gesamt-Ertrag (MWh)	Eingegebene Monatserträge
 18.391	 215.747	 957.101	 1.159.956

www.ertragsdatenbank.de

Aus der Geschichte der Photovoltaik

Vor 140 Jahren gelang es zum ersten Mal, die Energie der Sonne mit Hilfe einer Photovoltaikzelle in elektrische Energie umzuwandeln. Ohne die Entdeckung des photovoltaischen Effekts wäre die Energiewende niemals dort angekommen, wo sie heute ist. Grund genug, einen Ausflug in die Geschichte der Photovoltaik zu unternehmen.

— Rüdiger Haude

Ohne die Energie der Sonne wäre kein Leben auf der Erde möglich. Und das Leben hat diese Energie stets schon aktiv genutzt: Blumen, die ihre Blüte in Richtung der Sonne drehen; Eidechsen, die sich in ihrem Licht auf einem Stein warmhalten ... Die Menschen, mit ihrem besonderen Geschick sich die Natur zu Eigen zu machen, haben dies eine Stufe weiter getrieben. Sie richteten ihre Wohnbauten so aus, dass die Sonne sie wärmen konnte. In römischen Städten hatten verschiedene Gebäude große verglaste Fenster nach Süden, um diesen Effekt zu verstärken. Verschiedene alte Zivilisationen entwickelten überdies Techniken, um das Sonnenlicht mit Hilfe von Spiegeln gebündelt auf einen Punkt zu lenken, z.B. um feindliche Kriegsschiffe in Brand zu stecken.

Im 18. und 19. Jahrhundert wurden diese solarthermischen Anwendungen immer weiter perfektioniert. In den 1860er Jahren experimentierte der französische Mathematiker Augustin Mouchot mit Solarkochern und einer solar betriebenen Dampfmaschine, wobei er die Bündelung der Sonnenstrahlen durch Parabolspiegel optimierte. Mouchot knüpfte an die Experimente von Horace Bénédict de Saussure aus dem Jahr 1767 an, der in einem präparierten Glaskasten Sonnenlicht ‚gefangen‘ und so einen ersten Schritt zur Erkenntnis des Treibhauseffekts gegangen war. (Dass das Sonnenlicht sowohl für den Treibhauseffekt als auch für die Überwindung

” Die erste Photovoltaikzelle wurde bereits um 1880 konstruiert.

der Probleme zuständig ist, die von dessen menschengemachter Verstärkung ausgehen, spiegelt sich somit auch in der Wissenschaftsgeschichte wider.) Von dieser Entwicklungslinie führt auch ein Weg zur solarthermischen Stromerzeugung. Doch die Geschichte des Solarstroms wurde durch eine ganz andere Technik geprägt: die unmittelbare Umwandlung des Sonnenlichts in Elektrizität.

Der photovoltaische Effekt

1839 bemerkte Alexandre Edmont Becquerel, dass Elektrizität entstand, wenn er bestimmte Substanzen mit Licht bestrahlte. Dies war die Entdeckung des „photovoltaischen Effekts“, für den es aber noch lange keine Erklärung gab. In den 1860er und 70er Jahren zeigte sich, dass der Halbleiter Selen ein besonders geeignetes Material

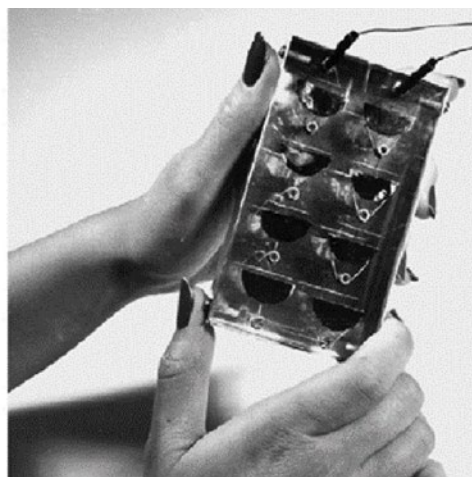


Abb 1 — Die Erfinder der ersten „echten“ Solarzelle. Das rechte Bild zeigt das erste „Solarmodul“ der Welt. Foto: Courtesy of AT&T Archives and History Center •

war, um diesen Effekt hervorzurufen. Die Experimente mit diesem Material führten Anfang der 1880er Jahre zur Konstruktion der ersten Photovoltaik-(PV-)Zelle durch den US-amerikanischen Erfinder Charles Fritts, bei der das Selen mit einer dünnen Goldschicht überzogen war.

Fritts prophezeite 1885, die „photoelektrische Platte“ werde vielleicht schon bald mit den damals üblichen Kohlekraftwerken konkurrieren. Und er erkannte schon damals das Potenzial der neuen Technik, von immer größeren, zentralen Erzeugungsanlagen abzugehen und den Strom dezentral zu erzeugen. Aber der Wirkungsgrad der Selenzellen blieb im Bereich von 1 % und damit weit entfernt von einer Nutzbarkeit im Alltag. Später entdeckte die Physikerin Maria Telkes zudem, dass Selenzellen unter Sonneneinstrahlung schnell verdarben.

Dennoch rief die neue Technik bei verschiedenen namhaften Wissenschaftler:innen Euphorie hervor. Rollo Appleyard ging 1891 viel weiter als Fritts: Die Energie der „photo-elektrischen Zellen“, schrieb er, werde zur „totalen Ausrottung der Dampfmaschinen und völligen Verdrängung des Rauches“ führen. Man beachte hier die Sensibilisierung für die negativen Umweltfolgen der fossilen Energiegewinnung, bereits im 19. Jahrhundert! Ähnlich wie Appleyard äußerte sich auch die schon erwähnte Maria Telkes. Und der berühmte Erfinder Thomas Alva Edison wies auf ein weiteres Problem der Fossilbrennstoffe hin – ihre Endlichkeit – wenn er 1910 ausrief: „Wir sind wie Pachtbauern, die den Zaun um unser Haus abholzen, um Brennstoff zu gewinnen, anstatt die unerschöpflichen Energiequellen der Natur zu nutzen – Sonne, Wind und Gezeiten. [...] Ich würde mein Geld auf die Sonne und die Solarenergie setzen. Was für eine Energiequelle! Ich hoffe, wir müssen nicht warten, bis Öl und Kohle zur Neige gehen, bevor wir das in Angriff nehmen.“

Weil der photovoltaische Effekt lange nicht erklärt werden konnte, ließen jedoch die meisten Forscher:innen die Finger von dieser Technik, welcher der Geruch eines Perpetuum Mobile anhaftete, also einer unmöglichen Maschine. Es war Albert Einstein, der 1905 im Rahmen seiner speziellen Relativitätstheorie (für die er 1921 den Physik-Nobelpreis erhielt) eine Erklärung für den Effekt entwickelte. Einstein führte hierzu das Konzept der „Lichtquanten“ ein, die bei der Herauslösung von Elektronen aus einem Halbleitermaterial eine Rolle spielen. Heute bezeichnet man sie als Photonen.

Silizium

Der nach dem Zweiten Weltkrieg einsetzende Siegeszug des Halbleiters Silizium in der Transistor-Technik brachte die Erkenntnis mit sich, dass dieses Material auch für photovoltaische Zellen besser geeignet ist als Selen. In den Bell Laboratories wurden Anfang der 50er Jahre Verfahren entwickelt, den Übergang zwischen positiv und negativ „dotierten“ Bereichen im Silizium (die „p-n-junction“) zu optimieren. Die Ingenieure Calvin Fuller und Gerald Pearson konstruierten so „unbeabsichtigt eine sehr gute Solarzelle“, wie John Perlin, der wichtigste Historiograph der PV, formuliert. Daryl Chapin nahm weitere Verbesserungen an der Zelle vor, welche u.a. die Reflektivität des Siliziums, die genaue Lokation der p-n-Junction oder die Anbringung der Kontakte am Silizium-Material betrafen. So konnten die Bell-Wissenschaftler eine Zelle präsentieren, die einen

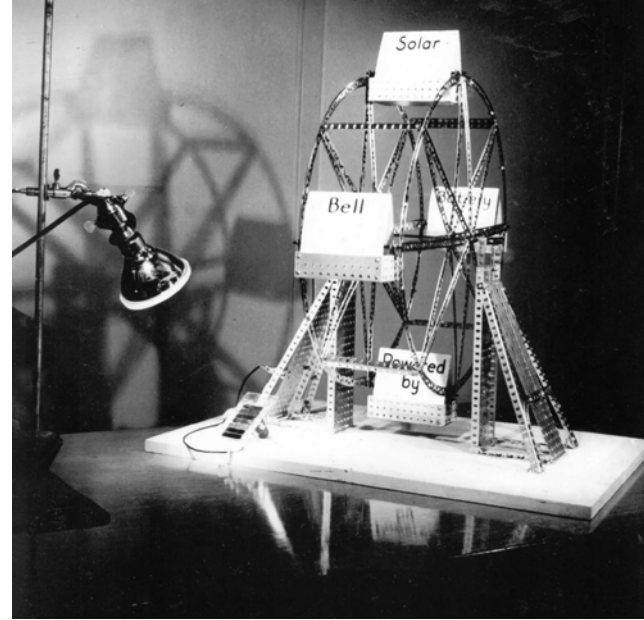


Abb 2 — Erste Anwendungen photovoltaischer Zellen beschränkten sich auf kleine Spielzeug-Artikel. Foto: Courtesy of AT&T Archives and History Center •

Wirkungsgrad von 4 % erreichte.

Wenn die Fortschritte nicht zur schnellen Realisierung der optimistischen Prognosen früherer Jahrzehnte führten – der deutsche Physiker Bruno Lange hatte 1931 riesige Fabriken der Solarmodulproduktion vorausgesagt – dann lag dies am Siegeszug zweier anderer Energiequellen: Erdöl und Atomkraft. Der Hype um die Atomkernspaltung war in den 50er Jahren so groß, dass der Bell-Konkurrent RCA 1954 eine „nuclear powered silicon cell“ vorstellte, welche die Photonen nicht vom Sonnenlicht, sondern von radioaktivem Strontium 90 empfangen sollte. Diese Zelle konnte nur in abgedunkelten Räumen demonstriert werden, denn jede Lichtquelle führte auf dem Silizium zu wesentlich größerer Stromproduktion als die Atommüll-Probe. Doch RCA-Direktor David Sarnoff dekretierte: „Wen interessiert schon die Solarenergie? Sehen Sie, was wir wirklich haben, ist dieser Konverter für radioaktive Abfälle. Das ist die große Sache, die die Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit, der Presse und der wissenschaftlichen Gemeinschaft auf sich ziehen wird.“ Bei Bell hatte man 1954 den Wirkungsgrad auf fast 6 % steigern können. Die flächenbezogene Leistung dieser Zellen war 50 Millionen mal größer als die der RCA-„Atombatterie“. Die Zeitschrift „Newsweek“ nannte die Solarzelle 1955 „einen möglichen Konkurrenten für die Atomenergie“. Die „New York Times“ hatte schon 1954 vom „Beginn eines neuen Zeitalters“ durch PV gesprochen.

Aber ihr Preis war einstweilen viel zu hoch, nicht zuletzt durch das Herstellungsverfahren des hochreinen Siliziums. Erste Anwendungen beschränkten sich auf kleine Spielzeug-Artikel.

Von der Erde in den Weltraum

Was einer bescheidenen PV-Industrie zunächst das Leben ermöglichte, war die ebenfalls in den 50er Jahren startende Weltraumfahrt. Auch hier gab es starken Widerstand von Verantwortlichen, die auf atomare Energieversorgung setzen wollten. Als 1958 der zweite US-amerikanische Satellit „Vanguard I“ in eine Erdumlaufbahn geschossen wurde, hatte man der US Navy aber die Stromversorgung per PV abgerungen. Vanguard I hielt sieben Jahre lang den Kontakt zur Erde, während die ersten sowjetischen Sputnik-Satelliten nach wenigen



Abb 3 — Der Vanguard 1 ist der erste Satellit, der Solarzellen für die Stromversorgung verwendete. Er wog nur 1,5 kg. Foto: NASA •

Wochen verstummten, weil sie mit Einweg-Batterien ausgestattet waren. PV wird seitdem bei den allermeisten Satelliten zur Energieversorgung eingesetzt. Die Mission von Vanguard I stand übrigens, wie die der Sputniks, im Zusammenhang mit dem „Internationalen Geophysikalischen Jahr“ 1957/58, das in einer internationalen Anstrengung das Wissen über die Beschaffenheit der Erdoberfläche, der Ozeane und der Atmosphäre stark voranbrachte. Erneut haben wir hier einen Berührungspunkt zwischen der damals deutlich zunehmenden Einsicht in die Klimaprozesse, und dem wichtigen technischen Lösungsansatz für das in diesen Prozessen sich zeigende Problem.

Bei PV für die Satelliten kam es nie auf die Kosten an. Aber schon Vanguard I trug zum Abbau von Vorurteilen gegenüber dieser Technik bei, und die kosmische Anwendung lieferte der PV-Industrie wichtige Erfahrungswerte und sicherte überhaupt ihre Existenz.

... und wieder zurück auf die Erde

Terrestrische Anwendungen der PV hingen davon ab, dass sie preiswerter wurde. Elliot Berman von der Solar Power Corporation verwendete Wafer, die von der wachsenden Halbleiterindustrie aus qualitativen Gründen zurückgewiesen worden waren. Und anstatt die Wafer erst zu polieren und dann mit nicht-reflektierender Beschichtung zu versehen, nutzte er direkt die gesägte Oberfläche und vermied so zwei Arbeitsschritte. 1973 hatte er so den Preis pro Watt von 100 auf 20 Dollar heruntergebracht. Nun hatte PV in bestimmten netzunabhängigen Anwendungen Kostenvorteile gegenüber den bisherigen Techniken: nicht wiederaufladbaren Batterien, oder mit Treibstoff betriebenen Generatoren – beide Verfahren waren sehr wartungsintensiv. Ein erster Anwendungsfall waren ab 1973 Offshore-Navigationshilfen (z.B. Leuchtbojen). Die ökonomische Überlegenheit gegenüber herkömmlichen Batterien stieg in diesem Bereich noch, als die US-amerikanische Umweltbehörde 1978 das Verklappen der verbrauchten Batterien im Meer verbot.

So wurden Präzedenzfälle für die Brauchbarkeit der PV geschaffen. Ein weiterer Bereich lag bei der Eisenbahn. Für die Signalisierung unbeschränkter Bahnübergänge, Bahnstrecken-Signalanlagen

und die Rücklichter von Nahverkehrszügen erwies sich photovoltaische Stromversorgung ebenfalls als den konkurrierenden Techniken überlegen. Gleiches galt für die Radio- und Telefonkommunikation in abgelegenen Gebieten – hier agierte u.a. die australische Telekommunikationsgesellschaft als Pionier. Für die harten klimatischen Bedingungen der australischen Wüste entwickelte die Firma Philips robuste Module mit einer Glasabdeckung und mit Verringerung der Anzahl unterschiedlicher Werkstoffe.

Schließlich ist als früher Anwendungsbereich noch die Stromversorgung in Regionen des globalen Südens zu nennen, wo vielfach der Aufbau von Stromnetzen nicht rentabel war. In den 80er Jahren wurden nennenswerte Anteile der PV-Produktion z.B. für Wasserpumpen im afrikanischen Sahel-Staat Mali verwendet. Und im Jahr 1983 landeten fast 20 Prozent der weltweit produzierten Solarzellen auf den strohgedeckten Dächern der polynesischen Inselwelt. 1987 war dort die Hälfte aller Haushalte mit PV elektrifiziert. Auch in Kenia empfangen zeitweise mehr Haushalte ihren Strom aus PV-Modulen als aus dem öffentlichen Stromnetz.

Bei all diesen frühen Offgrid-Anwendungen gab es beträchtliche Bedenken im Hinblick auf die Zuverlässigkeit der PV. Aber gerade in diesem Punkt erwies sie sich als den konkurrierenden Systemen (Batterien, fossil betriebene Generatoren, teilweise selbst dem Netzstrom) überlegen. So wurden Vorbehalte gegenüber dieser Technik abgebaut, während die Herstellungskosten langsam sanken.

“ Im Jahr 1983 landeten fast 20 Prozent der weltweit produzierten Solarzellen auf den strohgedeckten Dächern der polynesischen Inselwelt

Die Rolle von Big Oil

Ölbohrplattformen waren ein weiterer früher Offgrid-Anwendungsfall. Überhaupt ist die Rolle der Fossilindustrie bei der frühen terrestrischen Anwendung der PV ein bemerkenswertes Phänomen: Der Energieträger des 20. Jahrhunderts konnte sich nicht selbst mit Energie versorgen! Öl- und Gasförderung fand oft abseits der Stromnetze statt. PV-Installationen setzten sich daher auch für den sogenannten kathodischen Korrosionsschutz bei Bohrköpfen und Pipelines der Fossilindustrie durch.

Die Ölkonzerne investierten bis in die 70er Jahre beträchtliche Geldmittel in die Verbesserung der PV-Zellen. Die schon erwähnte „Solar Power Corporation“ zum Beispiel wurde mit Geldern des Exxon-Konzerns finanziert. Der für „ARCO Solar“, eine BP-Tochter, tätige Charlie Gay argumentierte gegen einen gelegentlich vorgebrachten Verdacht: „Man gibt nicht wie die Ölgesellschaften Hunderte von Millionen Dollar für Forschung und Entwicklung aus, um eine Technologie zu zerstören.“ Und der Solarpionier Bill Yerkes resümierte: „Die Öl- und Gasindustrie hat uns auf den Weg gebracht.“ Aber sie hatte nicht daran gedacht, eine Konkurrenz fürs eigene Geschäft großzuziehen. Vielmehr hatte man wohl nur Nischenanwen-

dungen in netzfernen Regionen im Sinn.

Als nach der ersten Ölkrise die PV einen neuen Schub bekam, anschließend aber die Ölpreise wieder sanken, begannen die Fossilkonzerne, sich zurückzuziehen. Zuerst Exxon. Der Konzern verkaufte 1983 nicht etwa seine „Solar Power Corporation“, sondern schloss sie und verramschte das Inventar als Schrott. Man erinnert sich auch an den Schritt des RWE-Kohlekonzerne, aus der Kooperation mit dem Solarautobauer Erich Pöhlmann 1985 wieder auszusteigen, weil sie nicht zum „Geschäftsmodell“ des Konzerns passe. BP und Shell verabschiedeten sich Anfang des neuen Jahrhunderts von der PV, als der Solarboom gerade begann. Aber tatsächlich hatte diese Industrie da bereits ihre Konkurrenz lauffähig gemacht, die sie eines Tages überflüssig machen würde.

Photovoltaik: links und grün?

Die PV wurde im Laufe der Zeit zunehmend politisiert. Schon in den 70er Jahren war ein kleiner Solar-Boom in Kalifornien vor allem von der Gegenkultur der Hippies und Marihuana-Raucher:innen angetrieben, die darin eine diskrete und zugleich ökologisch korrekte Stromversorgung für ihre Pflanzungen gefunden hatten. Die technische Eigenlogik der PV – die Möglichkeit, den Strom dezentral und unabhängig von großen Energiekonzernen zu erzeugen – trug dazu bei, dass sie einen festen Platz im politischen Koordinatensystem erhielt. Konservative politische Lager, für die „Größe“ einen Wert an sich darstellt, konnten mit der PV kaum noch etwas anfangen. Es war eine grüne und emanzipatorische, also linke, Technologie geworden.

Auf die Dächer

Nicht erst die Polynesier:innen hatten die Idee, Solarmodule auf ihre Dächer zu montieren. Das Standardwerk von John Perlin zeigt die Zeichnung aus einer französischen Enzyklopädie von 1929, mit einem Haus, dessen Dach und Wände großflächig mit Modulen belegt sind. Eine ähnliche Abbildung enthält auch ein Artikel der US-amerikanischen Zeitschrift „Modern Mechanix“ aus dem Jahr 1934, der sich eigentlich mit Solar-Luftschiffen beschäftigt, aber nebenbei verkündet: „Das mit Solarzellen bedeckte Dach eines gewöhnlichen Hauses könnte Strom für Geräte und Beleuchtung erzeugen.“

Am Massachusetts Institute of Technology (MIT) wurden zwischen 1939 und 1962 zu Forschungszwecken vier Solarhäuser gebaut – anscheinend handelte es sich dabei aber im Wesentlichen um Solarthermie-Anlagen. Der Schritt, der noch fehlte – die Kopplung einer häuslichen PV-Anlage mit dem öffentlichen Stromnetz – wurde 1978 ebenfalls zuerst in Massachusetts, in einem Appartement-Komplex, realisiert.

Mit diesem Schritt war die Möglichkeit einer netzdienlichen Rolle dezentraler PV gesetzt. Aber in den Ländern des globalen Nordens dachten viele nach wie vor in zentralen Kraftwerksstrukturen: Solarstrom im Netz solle aus Gigawatt-Freiflächenanlagen kommen. Dass dies nicht alternativlos war, bewies im Jahr 1986 der Schweizer Markus Real. Seine Idee war, mit dem von ihm gegründeten Unternehmen „Alpha Real“ ein netzgekoppeltes Megawatt PV dezentral auf 333 Züricher Hausdächern zu realisieren. „Die Dächer sind da, die Dächer sind frei, die elektrischen Anschlüsse sind da“, fasste er die



Abb 3 – Ölkonzerne finanzierten die Entwicklung der Solarzelle in den 70er Jahren massiv. Foto: John Perlin, "Let It Shine: The 6000-Year Story of Solar Energy" •

Vorteile gegenüber einer zentralen Freiflächenanlage zusammen. Innerhalb weniger Wochen hatte er die 333 Kund:innen beisammen. In diesem ersten komplexen Feldversuch konnten viele Probleme, nicht zuletzt mit den Wechselrichtern, erkannt und behoben werden. Die Züricher Solarpioniere durften schließlich ihren überschüssigen Strom nach dem Prinzip des „Net Metering“ einspeisen, bei dem jede ins Netz eingespeiste Kilowattstunde ebenso hoch vergütet wird, wie die von dort bezogene Kilowattstunde kostet.

Dies – die Frage der Vergütung und der Förderwege für PV-Anlagen – blieb die letzte große Unbekannte vor dem Siegeszug der Solarstromerzeugung. Denn die Anlagen waren durch die bisherigen Anwendungen zwar bereits deutlich im Preis gesunken, aber doch noch weit davon entfernt, für die einzelnen Anwender:innen etwa per „Net Metering“ lukrativ zu sein. Hier sollte – neben weiteren technischen Fortschritten bei der Modulproduktion – eine Idee des Solarenergie-Fördervereins Deutschland noch Furore machen. Aber das ist eine andere Geschichte ...



www.sfv.de/aus-der-geschichte-der-photovoltaik



Rüdiger Haude

ist Privatdozent für Geschichte an der RWTH Aachen, mit einem Schwerpunkt auf Klimageschichte. Für den SFV arbeitet er als Öffentlichkeitsreferent.

packsdrauf – Solarinfos von und für Nachbar:innen!



Packsdrauf heißt die im Sommer 2022 gestartete Mitmach-Kampagne des SFV, mit der wir Solarinfos in die Nachbarschaft bringen. Gastgeber:innen laden zur Solarparty ein und teilen ihre Erfahrungen mit ihrer Solaranlage. Solar-Botschafter:innen ergänzen mit wichtigen Neuigkeiten und Fachinformationen. Gäste erhalten Tipps zur Planung ihrer Solaranlage.

— Taalke Wolf

Als die Kampagne mit dem Motto: „packsdrauf – Dein Dach kann das auch!“ schon vor dem Angriffskrieg Russlands auf die Ukraine vorbereitet wurde, dachten wir noch, die Menschen müssten von der Solarenergie überzeugt, gar motiviert werden, um ins Handeln zu kommen. Inzwischen zeigt sich: der Wille ist da! Was fehlt sind hingegen verlässliche Informationen, die den unbekannten Weg zur eigenen Solaranlage beleuchten. Fachkräfte sind ausgelastet, Berater:innen ausgebucht. Hier kann eine Solarparty mit persönlichen Erfahrungsberichten im wahrsten Sinne des Wortes „Licht ins Dunkle“ bringen.

Aachen. In der Straße, in der packsdrauf-Mitinitiator Peter wohnt, gibt es nur noch wenige Häuser ohne Solaranlage. „Ich hab schon früh mein Haus mit PV-Modulen vollbelegt: Erst das Süd-Westdach und das Nord-Ostdach. Und dann die Süd-Fassade“. Ich hab mich immer geärgert, dass meine Nachbar:innen, die ein viel sonnigeres Dach haben, diese Fläche nicht nutzen. Also hab ich sie zu mir eingeladen, und meine Solaranlage gezeigt.“ Gespickt mit Informationen und frischer Motivation war der Weg zur Stromerzeugung vom eigenen Dach dann nicht mehr so schwer. Inzwischen haben die meisten Dächer in Peters Straße Solaranlagen in jeglicher Dachausrichtung. Wird Peter gefragt, ob er nicht mal was über die

Solarenergie erzählen könne, sagt er: „Na klar, ich komm gern mal vorbei. Aber lad noch 3 weitere Nachbarn ein!“ – und schwupps, entsteht die nächste Solarparty. So werden Solaranlagen ansteckend.

Wuppertal. Schon die achte Solarparty in der „Kulturschmiede“ in Wuppertal-Cronenberg hat Axel durchgeführt. Er erklärt dabei seinen interessierten Gästen die Grundlagen der Solarenergie und die Errichtung von eigenen PV-Anlagen. Falls mal eine Frage offen bleibt, wird diese im Nachgang mit dem SFV geklärt. Die Motivation für sein ehrenamtliches Engagement ist purer Realismus: „Es gibt erheblichen Nachholbedarf bei der Aufklärung zur dezentralen Energieversorgung. 50 Jahre nach dem Bericht des Club of Rome zu den Grenzen des Wachstums und 36 Jahre nach Gründung des SFV, der immer schon öffentlichkeitswirksam zur PV-Stromerzeugung aufklärte, kommen die Politiker und die Gesellschaft endlich in die Gänge.“ Da bleibt viel zu tun, ist sich Axel sicher. Und deshalb packt er mit an – denn es gibt noch viele Dächer mit Solar zu belegen. So teilt er sein Wissen mit Interessierten aus dem Viertel und Umgebung. Denn noch gibt es nicht in jeder Stadt Botschafter:innen.

Lüneburg. Ebenfalls seit Anfang an dabei sind Solar-Botschafter Bernhard und Karsten, die ihre Heimatstadt dabei unterstützen



Abb 1 — Solar-Botschafter Peter erklärt seinen Nachbar:innen die Funktionsweise den Aufbau seiner PV-Anlage •



Abb 2 — Die Lüneburger Solar-Botschafter. haben in 8 Solarpartys bereits über 200 Gäste informiert! •

wollen, bis 2030 klimaneutral zu werden. Dafür braucht es deutlich mehr Solaranlagen – insbesondere auf allen Dachflächen. In der Umsetzung werden sie dabei kreativ: „Wir haben Solarpartys bei Sonnenschein im Garten gefeiert, sind im Winter aber in Stadteilhäuser ausgewichen. Auch eine „Solarparty reloaded“ haben wir bereits initiiert, wo sich die Teilnehmenden der ersten Runde über eingeholte Angebote erneut austauschen.“ Inzwischen sind sie zu fünft - und neben den Solarpartys geht es noch weiter: Erste Austauschrunden mit dem lokalen Netzbetreiber, Bürger:innen und Solarteuren haben stattgefunden, um den „solaren Aufbruch“ zu bewältigen.

Um unserem Ziel von 100% Erneuerbarer Energie in 2030 näher zu kommen, brauchen wir Euch! Wie das geht?

Als **Botschafter:in** bringst Du bereits einige Erfahrung z. B. von Deiner eigenen Solaranlage mit. In einem kurzen Fortbildungsangebot teilen wir alle relevanten Informationen und Neuerungen mit Dir und machen Dich fit für die Rolle als Solar-Botschafter!

Als **Gastgeber:in** kannst du eine Solarparty in Deiner Nachbarschaft organisieren. Lade Deine Nachbar:innen ein und zeig Ihnen, was Deine Solaranlage so kann! Ein Solar-Botschafter wird Dich hierbei unterstützen. Botschafter:innen in Deiner Nähe findest Du unter www.packsdrauf.solar.

Du würdest gerne als **Gast** bei einer Solarparty teilnehmen? Falls Du noch keine Einladung erhalten hast, kannst Du auch Botschafter:innen in Deiner Nähe kontaktieren und nach einer Solarparty fragen. Alternativ steht Dir auch die kostenfreie Erstberatung des SFV zur Verfügung. Um packsdrauf auch in Deinem Ort voran zu bringen, kannst Du uns helfen, packsdrauf in der Presse, bei lokalen Vereinen sowie in Deiner Kommune bekannt zu machen.

[...] Die nächsten Termine

Nächste Botschafter:innen-Fortbildung, 18 Uhr:

- 22. Mai 2023, online
- 21. Juni 2023, online
- 24. Juli 2023, online
- 16. August 2023, online

Anmeldung:
packsdrauf@sfv.de

www.packsdrauf.solar



www.sfv.de/aktuelles/termine

SFV Solar-Erstberatung



Sie wollen eine Solaranlage kaufen, aber fragen sich, wie das geht? Wir bieten Online-Solar-Erstberatungen an, bei denen wir die wichtigsten Punkte besprechen, die für die Planung und den Kauf einer Solaranlage wichtig sind:

- Was gibt es zu beachten?
- Was sollte ich vermeiden?
- Mit welchen Kosten muss ich rechnen?
- Auf was muss ich im Angebot achten?

Zusätzlich stellt sich die Frage, wie das E-Auto und die Wärmepumpe mit der Solaranlage kombiniert werden kann.

Unsere Solar-Erstberatung besteht aus einem Kurzvortrag zu den ersten Schritten zur eigenen Solaranlage. Im Anschluss bleibt Zeit für Ihre Fragen. Insgesamt dauert die Erstberatung ca. 1 bis 1,5 Stunden.

Teilnahmebedingungen

Die Teilnahme ist kostenlos möglich. Wir freuen uns aber sehr über Spenden für unsere Vereinsarbeit.

Anmeldung

Bitte melden Sie sich hier an, den Zoom Link erhalten Sie per dann per Mail:
www.sfv.de/aktuelles/termine

Die nächsten Termine:

- 08. Mai 13:30 Uhr
- 12. Juni 17 Uhr
- 10. Juli 13:30 Uhr
- 14. August 17 Uhr
- 11. September 13:30 Uhr



Kurz vorgestellt: Glasdach-Photovoltaik

In dieser Rubrik stellen wir Ihnen interessante Solaranlagen unserer Mitglieder vor. In dieser Ausgabe: die halbtransparente Terrassen-Anlage von unserer Infostellen-Leiterin Anne Bussmann.

Liebe Anne,
Was ist das Besondere an deiner Solaranlage?

Ein Teil meiner PV-Anlage ist eine Glasdach-Anlage, die ich als Ersatz für ein Terrassendach habe bauen lassen. Die Module sind lichtdurchlässige Glas-Glas-Module mit jeweils 170 Wp Leistung. Das Dach ist nicht vollständig blickdicht, sondern man sieht den Himmel und die Sonnenstrahlen immer noch durchscheinen, und die Räume im Erdgeschoss bekommen trotz der integrierten Solarzellen ausreichend Licht.

Was ich so genial an den Modulen finde: Im Sommer, wenn die Sonne scheint, sitzt man unter dem Solardach im angenehmen Halbschatten und im Winter habe ich ein trockenes Plätzchen, während gleichzeitig Strom produziert wird!

Die Module wurden dafür einfach in eine Rahmenkonstruktion der Terrassenüberdachung integriert. Sie sind in Reihe geschaltet und mit Moduloptimierern ausgestattet. Natürlich haben die Module nicht die gleiche Nennleistung wie die Dach-Solarpaneele, aber für mich stellen sie einen tollen Kompromiss dar. Und letztlich konnte ich durch sie noch ein Kilowatt-Peak mehr Solarleistung installieren. Übrigens eignen sich die transparenten Glas-Glas-Module auch hervorragend für Wintergärten oder Carports.

[...] Steckbrief PV-Anlage

Typ	Glasdach-Anlage (Terasse)
Nennleistung (kWp)	1 kWp
Ausrichtung	Süd-Ost
Modultyp	Almaden M40 Hochleistungs-Doppelglas-Modul, monokristallin
Modul-Nennleistung	170 Wp
Modulmaße	1968 x 986 mm
Modulanzahl	6 Stück
Montageart	Im Rahmen des Terrassendachs verankert, Fundamente, Stützen, Rinne etc mussten gebaut werden
Wechselrichter	an Wechselrichter der gesamten Hausanlage angeschlossen
Kosten der Anlage	ca. 5000 EUR
Davon Kosten Terrassenüberdachung:	ca. 3500 EUR



Abb 1 — Im Haus von Anne Bussmann kommen fast alle Arten von Solarmodulen zum Einsatz. Hier im Fokus: die Glasdach-Anlage über der Terasse •



Abb 2 — Die lichtdurchlässigen Glas-Glas-Module reduzieren die Sonneneinstrahlung, ohne vollständig abzdunkeln. Im Sommer sitzt man im angenehmen Halbschatten •

gie - Förderverein Deuts

V
Verein



100 % Erneuerbare Energien
• statt Kriege um Öl!
• gegen den Klimawandel!
• eine saubere Versorgung!
• schaffen gemeinsam alles!



**SOLARENERGIE
FÖRDERVEREIN**
DEUTSCHLAND e.V. | SPV
INFOSTELLE NORDBAYERN



inter solar
connecting solar business | EUROPE

14.-16. JUNI 2023

MESSE MÜNCHEN

Die weltweit führende Fachmesse für die Solarwirtschaft

- **Connecting Solar Business:**
Internationale Märkte, neue Geschäftsmodelle, neueste Technologien und Trends
- **Innovationen hautnah erleben:**
Solarzellen, Module, Wechselrichter, Montagesysteme und vieles mehr
- **Einen Schritt voraus bleiben:**
Exklusives Fachwissen bei den Konferenzen, Foren und Networking-Events
- **Branchentreffpunkt:**
Treffen Sie 85.000+ Energieexperten und 1.600 Aussteller auf vier parallelen Fachmessen

www.intersolar.de

Part of **THEsmarter EUROPE**

Aktuelles

– SFV auf der Intersolar 2023

Zum ersten Mal in der Vereinsgeschichte des SFV werden wir mit einem Stand an der Intersolar vertreten sein. Die Intersolar ist die größte Solarmesse Europas und findet vom 14. bis 16. Juni 2023 in München statt. Wir freuen uns darauf, den SFV und Packsdrauf vorzustellen und uns für die dezentrale Energiewende stark zu machen.

– Neue Erstberatungstermine

In der offenen Beratungsstunde bündeln wir Anfragen, um sie monatlich in Kleingruppen zu beantworten und den Weg zur eigenen Solaranlage zu erleichtern. Wir sprechen über Technik, Recht, Steuer und die Fragen der Teilnehmenden. Der Termin ist immer am 2. Montag eines Monats – jeweils wechselnd um 13:30 Uhr und 17 Uhr treffen wir uns via Zoom. Die Anmeldung zu den offenen Beratungsstunden ist über unsere Webseite möglich.

– SFV Vorträge jetzt auch auf unserem Youtube-Kanal

Unser Social-Media Held Simon hat den SFV Youtube Kanal aufgehübscht. In Zukunft werden wir hier einige unserer Infovorträge hochladen! Schaut gerne mal rein und schenkt uns ein Abonnement! www.youtube.com/@solarenergie-fordervereind335

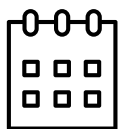
Der SFV in Zahlen

2862 ↑
Persönliche Mitglieder

319 ↑
Fördermitglieder

14.806 ↑
Newsletter-Empfänger:innen

156 ↑
zusätzliche Solarbrief-Abonent:innen



SFV Termine: Vorträge und Infoveranstaltungen



Vortrag: Steckersolar für Balkon, Terrasse & Co.

Mit Steckersolar-Anlagen können auch Mieter:innen einen Beitrag zur dringend notwendigen Energiewende leisten. Was kostet Steckersolar, wo gibt es sie, was muss ich beim Anschluss beachten? Der SFV teilt Erfahrungswerte und beantwortet Fragen zu diesem Thema.

Referent – *Tobias Otto*

Termine im Mai

MAI
08 13:30 Uhr
Offene Solar-Erstberatung
Referent:in – *SFV Team*

MAI
08 18:00 Uhr
Steckersolar für Balkon, Terrasse und Co
Referent – *Tobias Otto*

Termine im Juni

JUNI
05 18:00 Uhr
Photovoltaik für Einzel- und Reihenhäuser
Referentin – *Taalke Wolf*

JUNI
12 17:00 Uhr
Offene Solar-Erstberatung
Referent:in – *SFV Team*

JUNI
21 18:00 Uhr
Wärmepumpen in Bestandsgebäuden
Referent – *Peter Klafka*

Termine im Juli

JULI
03 18:00 Uhr
PV für Miet- und Mehrfamilienhäuser
Referentin – *Susanne Jung*

JULI
10 13:30 Uhr
Offene Solar-Erstberatung
Referent:in – *SFV Team*

Termine im August

AUG
07 18:00 Uhr
Ü20-Photovoltaik-Anlagen
Referent – *Tobias Otto*

AUG
14 17:00 Uhr
Offene Solar-Erstberatung
Referent – *SFV Team*

Termine im September

SEPT
11 13:30 Uhr
Offene Solar-Erstberatung
Referent:in – *SFV Team*

SEPT
18 18:00 Uhr
Wärmepumpen in Bestandsgebäuden
Referent – *Peter Klafka*

SEPT
25 18:00 Uhr
PV für Miet- und Mehrfamilienhäuser
Referentin – *Susanne Jung*

[...] Nicht vergessen!

NOV
18 Mitgliederversammlung SFV
Am 18.11.2023 um 19 Uhr kommen die SFV Mitglieder wieder in Aachen zusammen, um das vergangene und kommende Vereinsjahr zu besprechen.

Wie jedes Jahr bieten wir rund um die MV ein Seminar an. In diesem Jahr geht es um "Do-it-yourself: Die Energiewende in die Hand nehmen." Das genaue Programm folgt.

Anmeldung und weitere Infos auf: www.sfv.de/aktuelles/termine



Neues von den Infostellen



Infostelle Ost-Münsterland

Bildungsurlaub in Freckenhorst

• Wie kann eine kommunale Energiewende gelingen? Um dies zu diskutieren, trafen sich interessierte Teilnehmende und kompetente Fachkundige über eine ganze Woche in der Landvolkshochschule Freckenhorst (LVHS). Es gab zahlreiche Vorträge u.a. zu den Themen Klimaneutralität, Mobilität, Landesgesetzgebung, Wärmenetze, Bürgerinitiativen, graue Emissionen und die Neuerungen im EEG. Beim praktischen Teil gab es diverse Besichtigungen: z.B. des Nahwärmenetzes in Ostbevern, des Kalte-Nahwärmenetz in Warendorf und eines Holzständerhauses, das mit Strohballen und Lehm gedämmt wurde.

Wer die Veranstaltung verpasst hat, kann ein paar der Vortragsunterlagen online finden. Wir danken allen Teilnehmenden, Anne Bussmann (Infostellen-Leitung) und Karin Ziaja (LVHS Freckenhorst).

Zu den Vortragsunterlagen:

www.sfv.de/aktuelles/termine/bildungsurlaub_2023

• Der WDR begleitete auch eine Solarparty der Infostelle Ost-Münsterland. Diesmal war es die Sendung "Aktuelle Stunde". Im Sommer steht auch schon die nächste Solarparty von der Infostelle an. Interessierte dürfen sich an Anne Bussmann wenden.

Mitmachen

Wer mitgestalten möchte, ist herzlich eingeladen. Jeden zweiten Dienstag findet ein Treffen statt - mal online, mal vor Ort. Einfach melden unter info@sfv-ost-muensterland.de



Infostelle Amberg

PV-Pflicht: Das Amberger Modell hat Nachahmer gefunden

• In Amberg wird die PV-Pflicht seitens des Bauamts konsequent in den aktuellen Bebauungsplänen festgesetzt. In einem neuen Gewerbegebiet werden sogar PV-Anlagen in Kombination mit Dachbegrünung bei Flachdächern vorgeschrieben.

Durch ein aktives Kümern der Infostelle hat dies bereits 2013 seinen Anfang genommen und mündete 2019 mit einem einstimmigen Beschluss des Stadtrates. Somit war Amberg die erste Kommune mit einer PV-Pflicht". Es folgten Waiblingen, Konstanz, Freiburg und Hamburg. Die Amberger Nachbarstadt Sulzbach-Rosenberg (20.000 Einwohner) hat nun ebenfalls eine Solarpflicht bei Neubaugebieten beschlossen. Auch in den Landkreisgemeinden Ursensollen und Poppenricht wurde eine derartige Verpflichtung für ein neues Baugebiet erlassen.

Die Infostelle bietet spezielle Informationsveranstaltungen für die Bauwilligen in den neuen Baugebieten an, zu denen die Kommune jeweils einlädt.



— Durch das Amberger Modell gibt es für Neubauten Solarpflicht.
Foto: Hans-Jürgen Frey •



Infostelle Nordbayern

Stammtische, Vorträge und Ausstellungen

• Zusammen mit dem Gewerbeverband Wemding hat es sich die Infostelle zur Aufgabe gemacht, den Wemdinger Ostermarkt um das Thema "Erneuerbare Energien" zu bereichern. Hierfür haben die Ansprechpartner und Mitglieder der Infostelle gemeinsam 10 kostenfreie Vorträge organisiert, die auf großes Interesse gestoßen sind. Zudem gab es einen Ausstellerbereich zum Thema "Energie" und "Elektromobilität". 40 Elektroautos und 8 Elektro-Lieferfahrzeuge konnten begutachtet werden. Dabei diente ein Elektroauto als originelle Stromquelle für Kaffeemaschine und Würstchen-Grill. Auch die Infostelle selbst war mit Referenten und einem Infostand vertreten.

Zudem folgten die Referenten der Infostelle auch Vortragseinladungen. So z.B. Herwig Hufnagel der in Windsbach am Beispiel seines Hauses und genossenschaftlichen Initiativen beispielhaft den Weg zur Klimaneutralität aufzeigte. Oder Thomas Biber, der in Wemding zum Thema „Solaranlagen gut gestalten“ vertrat. Beide Vorträge waren bis auf den letzten Platz gefüllt.

Mitmachen

Wer mitgestalten möchte, ist herzlich eingeladen. Jeden ersten Dienstag im Monat findet um 19:30 Uhr ein Präsenz-Treffen statt. Der Treffpunkt wird immer auf <https://sfv-nordbayern.de/termine> mitgeteilt. Keine Anmeldung erforderlich.



Infostelle Köln

Viele Solarpartys und geplante Selbstbau-Gruppe

• Seit der Gründung im Oktober 2022 ist die Infostelle mit mehreren Solarpartys durchgestartet. Eine davon wurde sogar von der WDR-Sendung "Servicezeit" begleitet. "Solarpartys liegen voll im Trend", berichtet die Moderatorin und damit hat sie Recht. Um der Nachfrage gerecht zu werden, bietet die Infostelle mindestens einmal im Monat eine Solarparty an. Auch die individuellen Fragen im Nachgang finden Antworten und Begleitung durch die Aktiven der Infostelle.

Zum WDR-Beitrag

<https://www1.wdr.de/fernsehen/servicezeit/sendungen/uebersicht-servicezeit-2778.html>

• Begeistert über den Erfolg der darüber entstehenden Anlagen, arbeitet die Infostelle konzeptionell an einer Erweiterung rund um das Thema "Solar-Selbstbau". Wer mitgestalten möchte, ist herzlich eingeladen.

Mitmachen

Jeden zweiten Mittwoch findet ein Online-Treffen statt. Einfach melden unter infostelle-koeln@sfv.de.



[...] mehr Info

Sie möchten die Infostellen unterstützen?

Vereinsmitglieder, die Infostellen unterstützen möchten, teilen uns dies bitte mit. Sie finanzieren dann die Arbeit vor Ort mit einem Drittel ihres Beitrages und ihren Spenden (bitte auf Mitgliedsantrag angeben).

Die SFV-Bundesgeschäftsstelle bleibt zentrale Ansprechpartnerin.



www.sfv.de/verein/infostellen

Infostellen des SFV

Infos zu unseren Infostellen findet ihr unter den jeweiligen Internetseiten und unter www.sfv.de/verein/infostellen



Amberg / Amberg-Sulzbach

Vorsitz: Hans-Jürgen Frey, Lorenz Hirsch, Reichstr. 11, 92224 Amberg, Tel.: 09621-320057, Fax.: 09621-33193, www.solarverein-amberg.de, info@solarverein-amberg.de



Ost-Münsterland

Vorsitz: Anne Bussmann, Heinz-Jürgen Goldkuhle, Elisabeth-Wibbelt-Str. 1, 59269 Beckum, Tel.: 02521-826397, annegret_bussmann@web.de



Köln

Vorsitz: Ronald Biallas und Stefanie Könen, im Fotostudio Ronald Biallas, Wartburgstraße 11, 50733 Köln, ronald@solar11.de, www.sfv.de/verein/infostellen/koeln



Koblenz

Vorsitz: Thomas Bernhard, Joachim Deboeser, SFV-Infostelle im BUND-Büro, Dreikönigenhaus, Kornportstr. 15, 56068 Koblenz, Tel.: 0261-9734539, info@sfv-infostelle-koblenz.de, www.sfv-infostelle-koblenz.de



Nordbayern

Leitung: Herwig Hufnagel & Andreas Ampferl
Tel.: 08431-45990, Am Steinbruch 2, 86697 Unterhausen
info@sfv-nordbayern.de, www.sfv-nordbayern.de

Ohne Ihre Unterstützung wären wir aufgeschmissen!

Wir sagen DANKE!

1 Meine Unterstützung

☐ Ich möchte persönliches Mitglied im SFV werden (stimmberechtigt).

- ☐ 90 Euro / Jahr (regulär)
 ☐ 30 Euro / Jahr (reduziert)
 ☐ 120 Euro / Jahr oder mehr, _____ Euro / Jahr (freiwillig).

☐ Ich bin bereits Mitglied im SFV und möchte

meinen Beitrag freiwillig auf 120 Euro / Jahr oder _____ erhöhen.

☐ Wir möchten als Firma / Verein / Institution SFV-Fördermitglied werden (nicht stimmberechtigt).

Unser Beitrag beträgt _____ Euro / Jahr (mind. 30 Eur / Jahr).

☐ Ich möchte den SFV durch eine Spende unterstützen

Einmalige Spende: _____ Euro Jährliche Spende: _____ Euro

Der SFV ist gemeinnützig. Alle Mitgliedsbeiträge und Spenden sind steuerabzugsfähig.

☐ Ich möchte die folgende lokale SFV Infostelle unterstützen:

Infostelle: _____ (Name der Infostelle eintragen)

2 Meine Kontaktdaten

Firma _____
 Name _____ Vorname _____
 Straße _____ PLZ / Ort _____
 Handynr. _____ E-Mail: _____

3 Meine Kontodaten

- ☐ Meine Bankverbindung ist bereits bekannt
☐ Neue Bankverbindung

IBAN: _____

Datum: _____ Unterschrift: _____

☐ Ich möchte keine Einzugsermächtigung erteilen:

SFV Bankverbindung: PAX Bank Aachen e.G., IBAN: DE16370601931005415019 BIC: GENO-DED1PAC (Bitte geben Sie bei allen Überweisungen den Verwendungszweck an. z.B. "Spende" oder "Mitgliedsbeitrag").

☐ Ich habe die Datenschutzerklärung des SFV (www.sfv.de/artikel/datenschutzerklaerung.htm, Stand 27.9.2018) gelesen und bin mit der dort beschriebenen Nutzung meiner persönlichen Daten einverstanden.

Wie hast du von uns erfahren? _____

Ausblick Solarbrief 02/2023

Schwerpunkt: Wärmewende

Der nächste Winter kommt bestimmt

In der Sommerausgabe unseres Solarbriefs widmen wir uns dem Thema Wärmewende. Warum? Ungefähr 40 % der energiebedingten CO₂-Emissionen gehen auf das Konto der Wärmeversorgung. Der Wärmebedarf von Haushalten und der Industrie wird fast ausschließlich durch fossiles Gas und Öl abgedeckt. Hinzu kommt, dass mehr als zwei Drittel aller Heizungsanlagen veraltet sind.

Also gleich mehrere wichtige Gründe, schnellstmöglich eine Wärmewende anzupacken. Wir wollen im Solarbrief zeigen, welche Techniken zur Verfügung stehen und was man bei der Umrüstung beachten muss. Und wir wollen Diskussionsstoff liefern, ob es zu schaffen ist, fossile Energien vollständig aus der Wärmeversorgung zu drängen. Alles mit Blick darauf, ob die geplanten Regelungen im Gebäudeenergiegesetz (GEG) für die Energiewende ausreichend sind. Freuen Sie sich also auf heißen Lesestoff – denn selbst wenn im Sommer kaum jemand an warme Stuben denkt, die nächsten Winter kommen bestimmt.



Foto: Wärmepumpen-Zaun. Foto: E.Waffenschmidt

Was macht eigentlich der Solarenergie-Förderverein?



Der Verein will den Erfolgen der Vergangenheit weitere Meilensteine hinzufügen. Die Klimakrise erfordert es. Vor der Jahrtausendwende hat der SFV die Idee der kostendeckenden Einspeisevergütung für Ökostrom entwickelt. Ab dem Jahr 2000 machte diese Idee das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) zu einem weltweit kopierten Erfolgsmodell. 2021 hat u.a. die erfolgreiche Klage des SFV vor dem Bundesverfassungsgericht dafür gesorgt, dass das ambitionslose „Klimaschutzgesetz“ der Bundesregierung nachgebessert werden musste. Nicht weniger wichtig ist aber die tägliche Kleinarbeit, bei der wir Anlagenbetreiber:innen beraten, ihre Interessen in der Clearingstelle EEG vertreten, Ministerien Vorschläge zur Verbesserung von Gesetzen unterbreiten oder die Öffentlichkeit über wichtige Aspekte der Energiewende und der Klimakrise informieren.

Impressum

Solarenergie-Förderverein Deutschland

Bundesgeschäftsstelle: Frère-Roger-Str. 8-10, 52062 Aachen
Tel: 0241/511616 | Fax: -535786 | zentrale@sfv.de | www.sfv.de
Bürozeiten: Mo-Fr 9:00-13:00 Uhr

Solarbrief: Jahresabo 20€, Preis pro Einzelheft 7€

Für Mitglieder ist der Bezug des Solarbriefes im Mitgliedsbeitrag enthalten. Spender:innen erhalten den Solarbrief als Dankeschön.

Ab 2022 müssen Druckversionen des Solarbriefes explizit angefordert werden. Die PDF-Datei steht auf unserer Homepage kostenfrei zum Download zur Verfügung.

Bankverbindung:

Pax-Bank e.G. IBAN: DE16 3706 0193 1005 4150 19,
BIC: GENODED1PAX

SFV-Beiträge von:

Susanne Jung, Taalke Wolf, Tobias Otto, Caroline Kray, Rüdiger Haude, Kyra Schäfer, Konrad Mertens, Anne Bussmann

Externe Beiträge von:

Peter Klafka, Julika Weiß, Jan Kegel, Matthias Diehl, Christina Bönning-Huber

Hinweis: Die Beiträge externer Autor:innen entsprechen nicht zwangsläufig der Meinung des SFV.

Verantwortlich:

Susanne Jung (V.i.S.d.P.)

Layout:

Kyra Schäfer

Auflage:

Online-Verbreitung als pdf-Datei, Druck: 1700 Exemplare

Erscheinungsdatum:

April 2023, Redaktionsschluss: 20.03.2023

Druckerei:

Theissen Medien Gruppe GmbH
gedruckt auf 100 % Recyclingpapier (Euroblume)

ISSN 0946-8684

Bildrechte: Titelfoto von Martin Cramer

