

INHALTSVERZEICHNIS

PHOTOVOLTAIK ZUR ENERGIEVERSORGUNG

- 6 Globale klimatische Veränderungen**
 - 6 Dringender Handlungsbedarf
- 7 Die Geschichte der Photovoltaik**
 - 8 Umdenken
 - 8 Staatliche Unterstützung
- 11 So funktioniert Photovoltaik**
 - 12 Solare Strahlung
- 14 Vom Quarzsand zum fertigen Modul**
 - 14 Silizium als Rohstoff
 - 16 Funktion einer Solarzelle
 - 18 Modulfertigung
- 19 Solarstrom und Umweltbilanz**
 - 20 Emissionserzeugung (CO₂)
 - 21 Flächenverbrauch
 - 21 Entsorgung von PV-Modulen
 - 24 Batteriespeicher

DIE RAHMEN- BEDINGUNGEN

- 30 Welchen Strombedarf kann man decken?**
- 31 Flächenbedarf der Anlage**
 - 31 Was geht? Nutzbare Flächen und Generatorausrichtung
- 33 Ertragserwartung – erzeugte Strommenge einer PV-Anlage**
 - 33 Solare Strahlung
 - 33 Anlagennennleistung
 - 34 Spezifischer Ertrag

- 35 Performance Ratio
- 36 Energiefluss und Verluste einer PV-Anlage
- 36 Ertragsprognosen

38 Installation beim Hausneubau oder Nachrüstung

- 38 Nutzungsmöglichkeiten von PV-Strom

41 Baurecht und Netzzugang

- 41 Baugenehmigung
- 43 Genehmigung durch den Energieversorger

44 Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

- 45 Notwendigkeit des Ausgleichs
- 45 EEG – Rechte und Pflichten für Anlagenbetreiber
- 47 Mieterstromzuschlag
- 48 Netzanschluss
- 50 EEG-Umlage

STAND DER TECHNIK

54 Solare Anwendungsformen

- 54 Solarzellen/-module
- 54 Dünnschichtmodule
- 55 Kristalline Module
- 55 Modulqualität
- 56 Garantien
- 56 Reihen- und Parallelschaltung
- 58 Verschattungen
- 59 Verschmutzung
- 60 Fehlerhafte Verschaltung

60 Intelligente Wechselrichter nach Bedarf

- 61 Wirkungsgrad
- 63 Modulwechselrichter

64 Montagesysteme und Verkabelung

- 65 Gebäudestatik
- 66 Systemstatik
- 67 Asbestdächer
- 68 Gleichstromverkabelung
- 70 Netzanschluss und Einspeisung

72 Überwachung und Smart Meter

- 72 Vergleichsanlagen
- 73 Anlagenüberwachung – Monitoring – Fehlererkennung
- 74 Smart Meter

79 Schutzmaßnahmen gegen Blitz und Überspannung

- 79 Erhöhtes Risiko?
- 81 Überspannungsschutz – Installation

82 Speichertechnik

- 82 Begrifflichkeiten
- 84 Stromspeicherarten
- 86 Systemtechnik
- 88 Nutzbare Speicherkapazität – Effizienz von Speichersystemen
- 92 Aufstellungsräume
- 92 Netzanschluss
- 93 Cloudlösungen

94 Elektromobilität

- 94 Rechtliche Rahmenbedingungen
- 95 Technische Anforderungen
- 96 Laden mit PV-Überschuss
- 97 Einbindung in stationären Stromspeicher
- 98 Anforderungen an das Messkonzept
- 98 Netzanschlussbedingungen
- 98 Förderungen

99 Heizen mit Strom

- 100 Warmwasserbereitung
- 103 Vergleich – Photovoltaik und Heizen mit Solarthermie

107 Stecker-Solargeräte

- 108 Rechtliche Rahmenbedingungen
- 110 Technische Ausführung
- 110 Platzierung der Module
- 110 Förderungen

LOHNT SICH DIE PHOTOVOLTAIKANLAGE?

112 Kosten – Finanzierung – Wirtschaftlichkeit

- 112 Marktlage – Systempreise
- 113 Finanzierung
- 114 Einspeisevergütung – Eigenstromverbrauch
- 118 Speicher
- 122 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung – jetzt oder später?
- 124 Förderungen

127 Eigenstromverbrauch im EEG-Recht

- 128 Alternative/ergänzende Eigenstrom-optimierungen

129 Betreibermodelle – Wirtschaftlichkeit

- 129 Netz-Volleinspeisung
- 129 PV-Eigenversorgung mit Überschusseinspeisung
- 130 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
- 133 Photovoltaik ohne EEG-Vergütung
- 134 PV-Miete (PV-Pacht)

MONTAGE UND ANSCHLUSS DER PV-ANLAGE

138 Angebote einholen und vergleichen

- 138 Keine Augenwischerei
- 139 Zahlungsbedingungen
- 140 Was ist wichtig bei der Beauftragung?
- 141 Fachkundige Abnahme

142 Inbetriebnahme

- 142 Voraussetzungen für die Inbetriebnahme
- 143 Fertigstellungsmeldung und Antrag auf Inbetriebnahme
- 143 Prüfungen vor der erstmaligen Inbetriebnahme
- 143 Inbetriebsetzung
- 144 Anlagendokumentation
- 145 Inhalt der Dokumentation
- 147 Dokumentation der Inspektion und Wartung
- 148 Meldung Marktstammdatenregister

BETRIEB VON PHOTOVOLTAIKANLAGEN

150 Ertragserwartung und Ertragsmessung

- 150 Einstrahlung
- 151 Schnee
- 151 Anlagenausfälle/Wartung
- 151 Ertragsmessungen

152 Regelmäßige Wartung und Prüfung

- 152 Allgemeine Bedeutung von Prüfungen
- 153 Prüfpflicht – Prüffristen

157 Brandschutz

- 157 Einsatz von Feuerwehren
- 158 Unfallvermeidung

160 Gewährleistungen und Garantien

- 160 Der feine Unterschied mit großer Wirkung
- 160 Gewährleistung
- 161 Kaufvertrag oder Werkvertrag?
- 164 Unternehmer und/oder Verbraucher?

- 165 Gewährleistungs- und Garantiekette
- 168 Gerichtliche Verfahren

169 Fehler und Mängel an Photo- voltaikanlagen

- 169 Mängel: Ursache und Wirkung

178 Anlagenreinigung

- 178 Verschmutzungen
- 179 Schneeräumung

181 Versicherung

- 182 Montageversicherung
- 182 Photovoltaik-/ Allgafahrenversicherung
- 183 Betreiberhaftpflichtversicherung
- 183 Ertragsausfallversicherung
- 184 Besonderheiten bei Wohngebäudeversicherung
- 184 Klauseln
- 185 Schadensfall und -abwicklung
- 189 Verantwortung und Haftung des Installateurs
- 191 Regress
- 191 Versicherungsausschluss
- 191 Vertragswechsel, Kündigung, Anpassung

192 Steuern und Finanzamt

- 192 Unternehmerische Tätigkeit
- 194 Besteuerung von Eigenverbrauch
- 195 Abschreibung
- 198 Abgabe Umsatzsteuervoranmeldung
- 198 Abgabe der Einkommensteuererklärung
- 198 Einkommensteuervorauszahlung
- 199 Gewerbesteuer
- 199 Aufzeichnungspflichten und Steuererklärung
- 199 Steuerabzug bei Bauleistungen – Bauabzugsteuer
- 199 Einkommensteuer
- 200 Steueroptimierungen

SERVICE

202 Adressen

203 Stichwortverzeichnis

MONTAGESYSTEME UND VERKABELUNG

Um Photovoltaikmodule auf einem Dach sicher befestigen zu können, bedarf es spezieller Befestigungstechniken. So vielfältig sowohl die Dachformen als auch die -eindeckung der Gebäude sein können, so vielfältig ist daher auch das Angebot an Befestigungssystemen. Dies setzt somit eine individuelle Planung für das betreffende Dach voraus.

PV-Anlagen sind im Prinzip auf sämtlichen **Dacheindeckungen** möglich:

- ▶ Dachpfannen,
- ▶ Falzziegeln,
- ▶ Biberschwänzen,
- ▶ Wellzementplatten,
- ▶ Blechdächern,
- ▶ Bitumendachbahnen und sogar
- ▶ Schieferdächern.

Ausschlaggebend für die dauerhafte Installation ist zunächst, dass Dach und -eindeckung ausreichend tragfähig sind und eine entsprechende Restlebensdauer besitzen, also ohne akuten und längerfristigen Instandsetzungsbedarf. Ist die Dacheindeckung älter als 25 Jahre und besteht vielleicht aus Kunstschiefer oder

Wellplatten, ist zu prüfen, ob Asbestanteile enthalten sind – das Überbauen asbesthaltiger Eindeckungen ist gesetzlich verboten (siehe „Asbestdächer“, Seite 67).

Bestehen Unsicherheiten und fehlen aussagekräftige Bauunterlagen, sollte man das Dach von einem Fachmann begutachten lassen. Insbesondere bei älteren Dächern sollte geprüft werden, ob deren Zustand (Dacheindeckung, Dachlattung, Sparren, Unterspannbahnen) noch eine längerfristige Haltbarkeit gewährleistet, oder ob die Gefahr besteht, dass das Dach während des Betriebs einer PV-Anlage zum Sanierungsfall wird.

Auch das Thema Statik bietet viel Anlass zu Diskussionen in Verbindung mit der Errichtung einer Photovoltaikanlage auf einem Gebäude. In den meisten Fällen werden die Zuständigkeiten zwischen Gebäudeeigentümer und Anlagenerrichter unterschiedlich interpretiert.

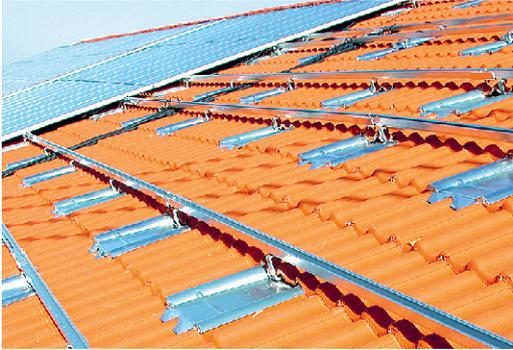
Nach der Musterbauordnung, welche die Grundlage der länderspezifischen Bauordnungen bildet, ist eine Photovoltaikanlage eine bauliche Anlage im Sinne des Baugesetzes. Neben der Regelung zur Gestaltung, dass sich



PV-Anlage auf Dachziegeln



PV-Anlage auf Blechdach



Blechersatzziegel zur Schadensvermeidung

ein Bauwerk harmonisch in die Umgebung einfügen muss, ist die Standsicherheit der Anlage als Ganzes und ihrer einzelnen Teile als wesentliches Merkmal hervorzuheben. Auch wenn die Musterbauordnung verfahrensfreie Bauvorhaben für Photovoltaikanlagen definiert, entbindet dies den Bauherrn oder späteren Anlagenbetreiber nicht von der Beachtung der entsprechenden Vorschriften. In der Regel verfügt der Bauherr jedoch nicht über die fachliche Kenntnis bei Planung und Montage, weshalb hier Fachplaner und Installationsbetriebe beauftragt werden. Er muss jedoch dafür Sorge tragen, dass die entsprechenden Anforderungen dokumentiert werden.

Gebäudestatik

Bei der Gebäudestatik handelt es sich um den Standsicherheitsnachweis der Gebäudekonstruktion – von den Gebäudefundamenten bis zur Dachkonstruktion. Vor der Montage einer Photovoltaikanlage ist in diesem Zusammenhang zu prüfen, in wieweit Lastreserven zur Aufnahme des zusätzlichen Gewichts einer Photovoltaikanlage vorhanden sind. Die Prüfung wird sich in der Regel auf die Tragfähigkeit der Dachkonstruktion (Sparren, Pfetten, Unterzüge) sowie tragenden Dacheindeckungen (Trapezblech, flächige Deckplatten) beschränken.

Die Überprüfung der Gebäudestatik vor der Montage einer Photovoltaikanlage setzt hierbei einen intensiven Informationsaustausch beider Parteien – Gebäudeeigentümer und Installationsfirma – voraus.



Befestigungspunkt Biberschwanzdach

- ▶ Einerseits kann der Gebäudeeigentümer unter einer (wenn überhaupt bekannt) allgemeinen Gewichtsannahme üblicher Photovoltaiksysteme von 20 bis 25 kg/m² prüfen lassen, inwieweit das vorhandene Dach diese Zusatzlasten schadlos aufnehmen kann; oder er kann berechnen lassen, welche Tragreserven allgemein zur Verfügung stehen.
 - ▶ Andererseits ist er jedoch auch auf die Hinweise und Informationen des Installateurs angewiesen, welches System dieser für die Photovoltaikanlage verwenden möchte. Hier können sich gravierende Unterschiede ergeben. Von einer dachparallelen Montage ausgehend mit einer zusätzlichen flächigen Belastung von ca. 20 kg/m² bis hin zu Linienlasten von weit über 100 kg/m² bei aufgeständerten und mit Zusatzgewichten beschwerten Montagevarianten auf einem Flachdach.
 - ▶ Im Gegenzug wird sich der Installateur die tatsächlichen **Lastreserven** des Daches geben und bestätigen lassen, da er diese für eine individuelle Planung der Photovoltaikanlage benötigt.
- Die Installationsanleitung des Systemherstellers liegt zumindest vor der Montage nur dem Installateur vor und nicht dem Kunden oder zukünftigen Anlagenbetreiber. Grundsätzlich installiert der Fachmann die Photovoltaikanlage auch auf eigene Verantwortung. Dies wird meist aus der Installationsanleitung des Gestellherstellers ersichtlich, in der nicht selten vorgeschrieben ist, dass vor der Montage geprüft werden muss, ob das Produkt und die sich hieraus ergebende Zusatzlast den statischen Anforderungen vor Ort entspricht. Da-



Aufgeständerte und ballastierte Modulreihen

bei ist bei Dachanlagen die bauseitige Tragfähigkeit des Daches zu prüfen.

Systemstatik

Völlig anders sieht es bei der Systemstatik der Photovoltaikanlage aus. Hier liegt grundsätzlich die alleinige Verantwortung beim Installateur oder Anlagenplaner, da die Auswahl des Befestigungssystems eigenverantwortlich von diesem getroffen wird.

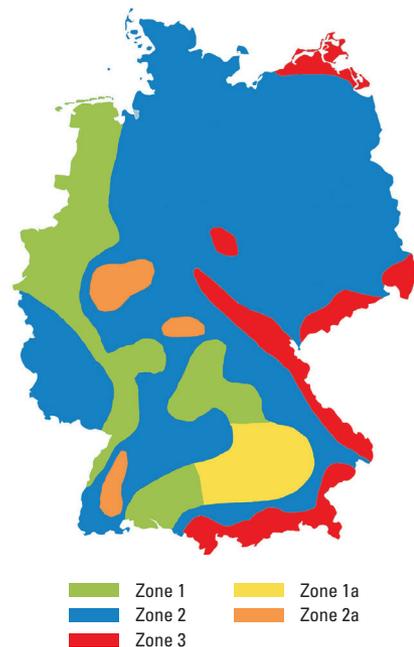
Der Installateur hat die Photovoltaikanlage mit ihrer Befestigungskonstruktion daher statisch so zu berechnen oder berechnen zu lassen, dass sie standsicher auf dem Dach angebracht und dort auch auf Dauer standsicher installiert ist. Hierbei sind neben den Eigenarten des Daches, dessen Dachkonstruktion und der Dachhaut auch alle äußeren Umstände wie zusätzliche Lasten aus Schnee und Wind gemäß DIN EN 1991 (Eurocode 1) zu berücksichtigen. Die Ergebnisse hieraus bilden neben den Tragreserven des Daches die relevanten Grundlagen für das zu wählende Montagesystem, dessen Bemessung, Anordnung und Befestigung auf dem Dach. Gleichzeitig ist der rechnerische Nachweis zu erbringen, wie die vom Photovoltaiksystem auftretenden Lasten sicher in die tragende Dachkonstruktion abgeleitet werden. Denn nur der Installateur weiß, welches Tragsystem er für die Module wählt und in welcher Form (flächige Auflast, Linienlast, Punktlast, Direktbefestigung etc.) die Lastenleitung in das Dach erfolgt.

Deutschland ist zum Beispiel in mehrere Schneelastzonen eingeteilt. Je höher die Einordnung der Zone, desto größer ist das

Schneegewicht, das bereits bei der Gebäudestatik berücksichtigt werden muss.

Bei Photovoltaikanlagen ist hierbei zu berücksichtigen, dass bei der Montage von Modulen die Schneelast nicht mehr flächig über die Dacheindeckung aufgenommen wird, sondern von den Modulen getragen und deren Last über deren zumeist punktuelle Befestigungen am Dach in die Dachkonstruktion abgetragen wird. Im Zuge der Planung ist seitens des Installateurs daher eine Systemstatik zu erstellen, aus denen die lastspezifischen Besonderheiten hervorgehen und sowohl die **Befestigungspunkte**, deren Anzahl sowie das Haltesystem insgesamt berechnet werden. Gerade im süd- und ostbayerischen Raum ist immer wieder festzustellen, dass die Unterstützungsabstände der Modultragschienen zu groß und die Anzahl der Befestigungspunkte pro Quadratmeter Dachfläche daher zu gering sind, als dies eigentlich statisch erforderlich wäre. Die Folgen sind somit oft Schäden nach einem größeren Schneereignis.

Ähnliches gilt für Flachdächer. Dort ergeben sich die Schwerpunkte meist durch Windlast bei aufgeständerten Modulen, die dem Wind



Schneelastzonen in Deutschland

eine erhöhte Angriffsfläche bieten. Solche Systeme müssen in der Regel mit Zusatzgewichten beschwert (ballastiert) werden. Neben der richtigen Berechnung hierzu muss auch ein Augenmerk auf die Gebäudestatik insgesamt gelegt werden, wenn relativ hohe Zusatzlasten auf dem Dach zustandekommen.

Vielfältige Faktoren bei der Montage: Nicht nur die Dachform, sondern auch die -eindeckung ist von Belang. Welche Möglichkeiten der Befestigung von Dachhaken gibt es, und wie ist der Sparrenabstand? Muss die Dachhaut durchdrungen werden und wenn ja, wie und vor allem: Wie wird diese Durchdringung dauerhaft abgedichtet? Welches Montagesystem für welches Dach und für welche Module? Antworten auf diese Fragen findet man am besten auf den Internetseiten der Montagesystemhersteller.

Zu berücksichtigen sind auch die Montagehinweise der Modulsteller. Die Module dürfen zumeist nur an bestimmten Stellen des Rahmens geklemmt werden. Manche Module besitzen nur eine begrenzte Belastbarkeit. Module ohne Rahmen sind für schneereiche Gegenden nicht geeignet, da deren Stabilität geringer ist als bei gerahmten Modulen.

Beispiel: Viele Module haben eine maximale Belastbarkeit von 2400 Pascal. Dies entspricht umgerechnet einer Last von $2,4 \text{ kN/m}^2$ (Kilonewton) oder etwa 240 kg/m^2 .

Am Standort Füssen in Bayern mit einer Höhenlage von circa 800 Metern ergibt sich eine zu berücksichtigende Bodenschneelast von ungefähr 480 kg/m^2 , welche abgemindert auf eine geneigte Dachform noch mit einem Wert von rund 390 kg/m^2 anzusetzen ist. Deshalb sind dort Module mit einer höheren geprüften Druckfestigkeit erforderlich und natürlich ein speziell hierfür ausgewähltes Haltesystem.

Für die eigentliche Dach- und Modulbefestigung gibt es, wie bereits erwähnt, unterschiedliche Systeme. Bei Dächern mit Ziegeleindeckungen werden in der Regel sogenannte Sparrenanker oder Dachhaken verwendet. Diese werden am Sparren befestigt und besitzen einen Haltebügel, der durch ausgeklinkte Ziegel eingedeckt wird. Bei Trapez- oder



© Astumpal

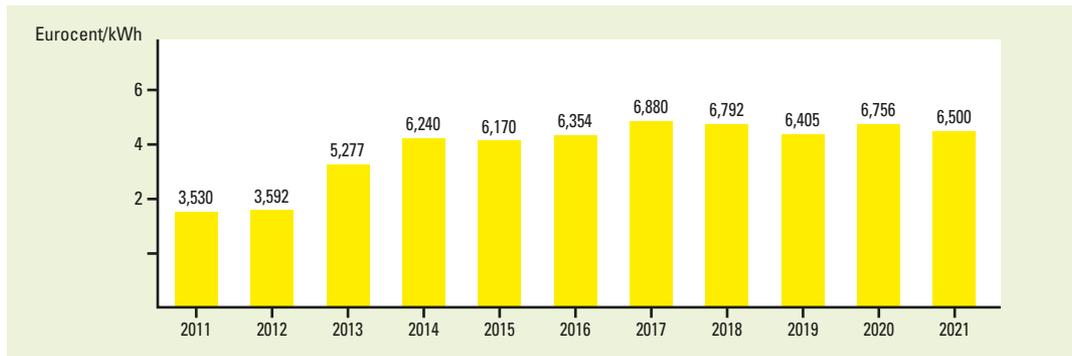
Auftretende Schneelasten müssen vom PV-System aufgenommen werden.

asbestfreien Wellzementplatten erfolgt die Befestigung mittels Stockschrauben. Wichtig dabei ist, dass die Befestigungspunkte sicher in der Tragkonstruktion des Daches (Sparren oder Pfette) befestigt sind. In Dachlatten eingehängte Dachhaken sind ebenso kritisch anzusehen wie direkte Befestigungen ausschließlich im Blech eines Trapezblech- oder in der Oberschale eines Sandwichdachs.

Für dachintegrierte Lösungen gibt es auch Sonderbefestigungen. Diese haben zumeist ein wasserdichtes Wannensystem als Unterkonstruktion, in dem die Module dann in gleicher Ebene wie die Dacheindeckung befestigt werden. Die Vorteile einer Indachlösung im Hinblick auf die Ästhetik können dann zum Nachteil werden, wenn den Modulen eine ausreichende Hinterlüftung fehlt. Wie bereits angesprochen (siehe Seite 34), verringert sich bei Wärmeeinwirkung die Betriebsspannung der Module. Es kann somit zu einer verminderten Leistung kommen.

Asbestdächer

Asbest als Baustoff war in früheren Jahren aufgrund seiner einfachen Verarbeitung, hohen Festigkeit sowie seiner Hitze- und Säurebeständigkeit sehr beliebt. Es hat dann viele Jahre gedauert, bis durch die Erkenntnis über die durch Asbest hervorgerufenen Erkrankungen ab 1993 die Herstellung und Verwendung von Asbest verboten wurde. Ist eine Dacheindeckung aus



Entwicklung der EEG-Umlage (Datengrundlage: netztransparenz.de)

von mehr als 2 bis mehr als 3 Prozent erwartet werden.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einer PV-Anlage fußt auf verschiedenen Kennzahlen und hängt insbesondere von der Betriebsweise ab. Da aktuell sehr viele Betriebsmöglichkeiten zur Verfügung stehen, insbesondere in Bezug auf den Eigenstromverbrauch sowie die unterschiedlichsten Möglichkeiten der Einbindung in den häuslichen Energiebedarf, sollen nachfolgend nur einige Beispiele anschaulich herangezogen werden.

Kennzahlen

Bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung unterscheidet man zwischen

- 1 dynamischen Kennzahlen und
- 2 statischen Kennzahlen.

Die dynamischen Kennzahlen bilden hierbei die Erfassung der Ein- und Auszahlungen mit abnehmenden Realwerten über die Dauer eines Betrachtungszeitraums ab. Zum Beispiel hat ein Jahresüberschuss mit 1 000 Euro in 20 Jahren aufgrund von inflationären Einflüssen nur noch einen Wert von ca. 700 Euro bei angenommen 2 Prozent jährlicher Inflation.

Typische Kennzahlen in Wirtschaftlichkeitsprogrammen zeigen am Ende eines Betrachtungszeitraumes von 20 Jahren den Solarkontoüberschuss als statische Summe. Bei einem sogenannten DCF-Wert ergibt sich ein abgezinster Endüberschuss, d. h. ein dynamisch betrachtetes Endergebnis.

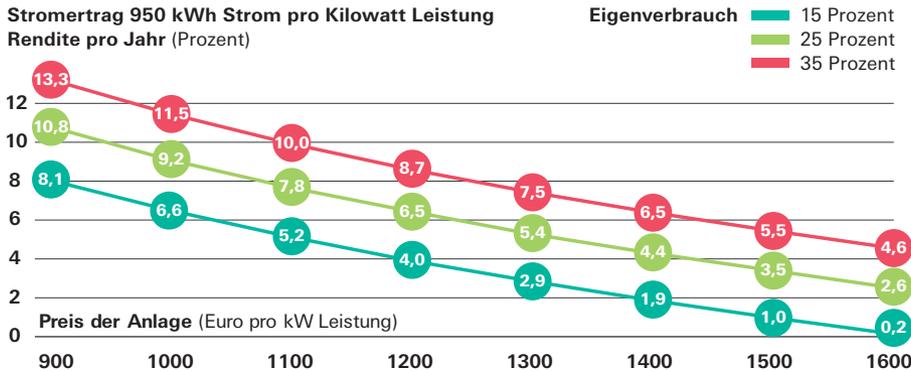
In der Regel nimmt man die Kapitalwertbetrachtung als Hilfe zur Entscheidungsfindung, um zu prognostizieren, welcher Wert sich aus meinem eingesetzten Kapital in eine Investition nach Ablauf eines Betrachtungszeitraums ergeben hat.

Bei der Berücksichtigung des Eigenverbrauchs sind neben dem Strombezugspreis auch mögliche Abgaben der EEG-Umlage zu berücksichtigen. Wie auch in anderen Punkten macht es der Gesetzgeber dem Verbraucher nicht leicht, wenn es darum geht, gewisse finanzielle Vorteile aus dem Betrieb einer Photovoltaikanlage zu ziehen.

EEG-Umlage

Streitpunkt ist seit längerer Zeit die EEG-Umlage, die auf den Strombezugspreis aufgeschlagen wird. Darin sind die Kosten aus den Einspeisungen der erneuerbaren Energie enthalten. Irgendjemand muss die Einspeisevergütung von 40 ct/kWh einer vor rund 15 Jahren in Betrieb gegangenen PV-Anlage schließlich tragen.

Die EEG-Umlage hat sich stetig erhöht. Für die Jahre 2021 und 2022 wurde die EEG-Umlage per Beschluss politisch auf 6,5 bzw. 6 ct festgesetzt; d. h. was darüber hinaus noch folgt, wird mit Steuergeldern abgedeckt. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass insbesondere ab 2024 immer mehr hochgeförderte Anlagen aus der EEG-Einspeisung herausfallen und sich die EEG-Umlage entsprechend reduzieren wird. Bis 2035 erwartet man daher eine Reduzierung der EEG-Umlage auf etwa 2 Cent (Quelle: Öko-Institut).



Dennoch versucht der Gesetzgeber, eine weitere Kostentreibung der Strompreise auszubremsen. Hier muss auch die Eigenstromnutzung dran glauben – obgleich diese eigentlich weder die öffentlichen Netze noch andere Stromverbraucher belastet – im Gegenteil. Der Eigenutzer entlastet das Stromnetz letztendlich, insbesondere in Spitzenzeiten.

Kleine Lichtblicke gibt es aber in Form von Verbesserungen im aktuellen EEG 2021. Waren nach dem EEG 2017 bislang nur Kleinanlagen bis zu 10 kWp Leistung und 10 000 kWh Eigenverbrauch pro Jahr sowie Bestandsanlagen von vor 2017 von der EEG-Umlage bei Eigenstromverbrauch befreit, ist diese Grenze aktuell auf 30 kWp/30 000 kWh p. a. erhöht worden. Größere Anlagen müssen 40 Prozent der EEG-Umlage auf den Eigenverbrauch bezahlen.

Kapitalwert

Ein weiterer Begriff im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsberechnungen stellt der Kapitalwert dar.

Eine Investition, zum Beispiel in eine PV-Anlage, ist wirtschaftlich betrachtet dann vorteilhaft, wenn der Kapitalwert größer ist als der einer anderen zur Wahl stehenden Geldanlage. Betrachtet wird hierbei der Kalkulationszinsfuß. Er beschreibt den Zinssatz, zu dem das Eigenkapital alternativ zur PV-Anlage auf dem Geldmarkt hätte angelegt werden können.

Rendite

Die Rendite ist der klassische Maßstab einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung. Dabei gibt es zwei Betrachtungsmodelle:

1 IRR-Methode (Methode des internen Zinssatzes)

Bei der klassischen IRR-Methode geht man davon aus, dass die während des Betrachtungszeitraums relevanten Ein- und Auszahlungen (meist Jahresüberschüsse) zum gleichen projektinternen Zinssatz sofort wieder für gleichwertige neue Projekte angelegt werden.

Beispiel: Werden 8 Prozent interne Rendite berechnet, so werden die gewinnbringenden Überschüsse wieder für 8 Prozent beim nächsten Projekt angelegt ...

Realistisch ist die IRR-Methode für Kapitalfonds aus Windkraft und Solar und eventuell für Energiegenossenschaften und Stadtwerke, die laufend in solche Projekte investieren. Unrealistisch hingegen ist diese Methode bei größeren Einzelanlagen und insbesondere bei kleinen Anlagen im Einfamilienhausbereich.

Für Letztere eignet sich daher die modifizierte IRR-Methode nach Baldwin.

Bei dieser modifizierten IRR-Methode geht man davon aus, dass die während des Betrachtungszeitraums relevanten Ein- und Auszahlungen (meist Jahresüberschüsse) zu einem vorher festgelegten, realen und damit zumeist niedrigeren Zinssatz am Geldmarkt wieder angelegt bzw. beliehen werden.

Beispiel: Werden die im Beispiel zuvor benannten 8 Prozent Rendite bei einem festgelegten Kalkulationszinssatz von z. B. 2 Prozent berechnet, so werden die gewinnbringenden Überschüsse aus dem

PV-Projekt auch nur für 2 Prozent wieder angelegt. Diese Berechnung ist deshalb realistischer, gerade für Klein- und Einzelprojekte, da beispielsweise bei einem Einfamilienhaus die Gewinne nicht nochmals oder sogar mehrmals in eine PV-Anlage investiert werden.

Dieser Unterschied ist für Sie dann wichtig, wenn Sie von unterschiedlichen Anbietern von PV-Anlagen Wirtschaftlichkeitsberechnungen enthalten, die in der Rendite etwa stark abweichen. Dann rentiert sich der genaue Blick darauf, mit welcher Methode gerechnet wurde.

- Ein weiteres Modell ergibt sich mit der **Gesamtkapitalrendite**: Hier wird die Verzinsung des gesamten Kapitals betrachtet, unabhängig vom Verhältnis Eigenkapital- zu Fremdkapitalanteil. **Beispiel:** 5 Prozent Gesamtkapitalrendite bedeuten, dass sich eingesetzte 1 000 Euro nach einem festen Betrachtungszeitraum auf 1 050 Euro vermehrt haben.

Die Bewertung der Gesamtkapitalrendite ist wichtig beim Einsatz von Fremdkapital. Die zu erwartende Gesamtkapitalrendite (GK-Rendite) sollte immer nennenswert höher sein als die Kosten aus den Zinsen des Fremdkapitals, insbesondere bei einem hohen Fremdkapitaleinsatz. Wenn beispielsweise ein Kredit an Zinsen 3 Prozent kostet, dann sollte die Gesamtkapitalrendite höher liegen als der Kreditzins.

Eigenkapitalrendite

Zusätzlicher Betrachtungspunkt ist die **Eigenkapitalrendite**:

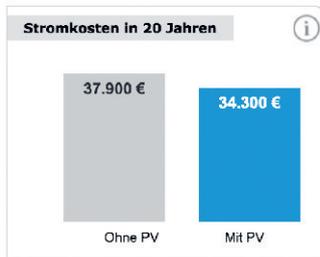
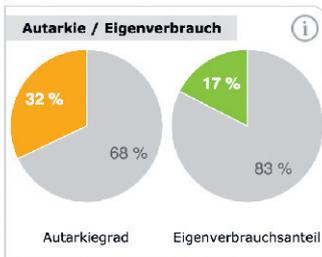
Hier wird ausschließlich die Verzinsung des eingesetzten Eigenkapitals betrachtet, unter Berücksichtigung der Summe aus beliehenem Fremdkapital bzw. der Kreditrückzahlung und Kosten der Finanzierung (Kreditzinsen). Bei einem Eigenkapitaleinsatz von 100 Prozent sind daher die Gesamtkapitalrendite und Eigenkapitalrendite identisch.

Bei renditeoptimierten PV-Anlegern wird meist gezielt eine niedrige Eigenkapitalquote von 10 bis 30 Prozent angestrebt, um bei erfolgreichem Projektverlauf durch die Hebelwirkung des „billigen“ Fremdgeldes eine hohe Eigenkapitalrendite erzielen zu können („Leverage Effect“).

Liquiditätsüberschuss

Im Ergebnis einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erwartet man am Ende eines Betrachtungszeitraums den Liquiditätsüberschuss. Dieser bezeichnet das Ergebnis (Saldo) aus Ein- und Auszahlungen während eines Betrachtungszeitraums. Er berücksichtigt keine dynamischen Einflüsse wie z. B. Inflation und damit verbundene Geldentwertung.

Unter Berücksichtigung der Inflationsrate (Geldentwertung) gibt es hierzu den sogenannten DCF-Wert (englisch: Discounted Cash Flow). Er berücksichtigt den Saldo aus Ein- und Auszahlungen während eines Betrachtungszeitraums mit einer „schleichenden“ Geldentwertung (Inflation) z. B. auf Basis des gewählten Kalkulationszinssatzes (beispielsweise 2 Prozent). Er ist daher in der Regel niedriger als der rein saldierte Endüberschuss.



Zusammenfassung	
Vorteil/Nachteil durch PV:	3.600 €
Rendite auf Ihr eingesetztes Kapital:	2,6 %
Ihr PV-Strom kostet (brutto) ca.:	13 Cent/kWh

Amortisationszeit

Die Amortisationszeit bezeichnet den Zeitpunkt, zu dem die (bis dahin aufgelaufene) Summe der Ein- und Auszahlungen erstmals höher als 0 Euro ist. Man nennt das auch den „Break-Even-Punkt“ oder beantwortet vereinfacht ausgedrückt die Frage: Wann habe ich mein eingesetztes Eigenkapital wieder zurück?

Auch hier ergibt sich eine statische und dynamische Betrachtungsweise, je nachdem ob ohne oder mit Berücksichtigung einer Inflationsrate.

Die beiden folgenden Beispiele sollen eine grobe Wirtschaftlichkeitsbetrachtung darstellen:

Beispiel 1 betrachtet eine neue PV-Anlage mit einer Leistung von 10 kWp ohne Speicher, jedoch mit Eigenstrombezug aus der reinen Anlagenleistung, bei mittlerem Solarertrag, einem Familienhaushalt mit 5000 kWh Strombezug p. a., ohne weitere große Umstellung im Verbrauchsverhalten. Hieraus ergibt sich nach 20 Jahren ein finanzieller Vorteil von rund 3600 Euro.

Beispiel 2 betrachtet die gleiche Anlagengröße, jedoch mit einem Speicher mit 5-kWh Leistung sowie aktiver Haushaltsumstellung (bewusster Stromverbrauch tagsüber, wie z. B. bei Spülmaschine, Waschmaschine, doch auch ohne E-Auto). Hieraus ergäbe sich ein finanzieller Gewinn auf 20 Jahre gesehen in Höhe von etwa 5700 Euro.

Dies sind nur grobe Beispiele, ohne bestimmte Finanzierungsvarianten, einer mittleren Kostenannahme und einem angenommenen Verbrauchs- und Ertragsverhalten. Der tatsächliche Einspareffekt ist von vielen Faktoren abhängig.

Steuerliche Aspekte

Eine differenzierte Wirtschaftlichkeitsberechnung sollte relevante umsatz- und ertragssteuerliche Parameter berücksichtigen. Wie wir später im Abschnitt „Steuern und Finanzamt“ (siehe Seite 192) noch erfahren, gibt es verschiedene Möglichkeiten einer optimierten Steuerung steuerlicher Parameter.

Auf den Internetseiten der Stiftung Waren-test (test.de, Stichworte: Solaranlage, Rendite)

finden Sie eine spezielle Themenseite zu Solaranlagen, auf der Sie unter anderem die Rendite Ihrer Solaranlage berechnen lassen können.

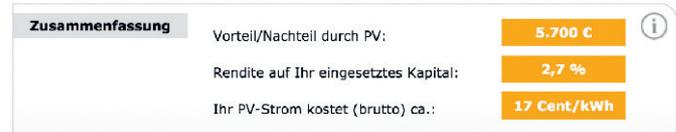
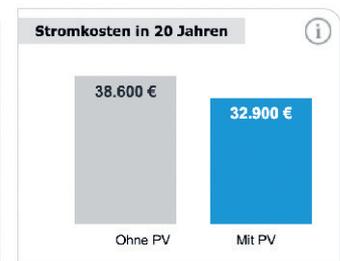
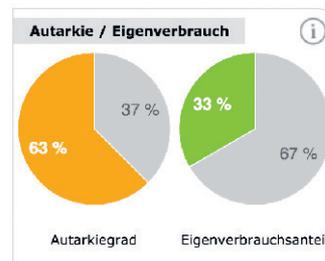
Photovoltaik ohne EEG-Vergütung

Theoretisch und auch praktisch ist es möglich, PV-Anlagen ohne EEG-Vergütung zu betreiben. Es gibt bereits größere PV-Anlagen, die so betrieben werden. Das ist dann möglich, wenn man einen festen Abnehmer für den erzeugten Strom hat – zum Beispiel ein Gewerbeunternehmen – oder dies in Kombination mit einem Direktvermarkter betreibt.

Kleinanlagen

Auch bei einer Kleinanlage wäre dies denkbar, wirtschaftlich allerdings noch schwierig darstellbar. Machen wir einen Versuch, nehmen uns nochmals den „Unabhängigkeitsrechner“ aus dem Abschnitt „Kosten ...“, Seite 122 zur Hilfe und stellen folgende Beispielrechnung an:

Wir haben einen angenommenen Stromverbrauch von 4500 kWh im Jahr, dazu eine



ERTRAGSERWARTUNG UND ERTRAGSMESSUNG

Sind die Planung, Auslegung und richtige Installation einer PV-Anlage die wichtigen Grundlagen vor dem Betrieb, so ergeben sich gerade im laufenden Betrieb einer PV-Anlage weitere wichtige Punkte, die für den Nutzer von Interesse sind. So stellen sich oftmals Fragen zum Anlagenertrag und zu möglichen Störungen, Ausfällen sowie erforderlichen Prüfungen.

Die Ertragserwartung im Zuge der Anlagenplanung haben wir bereits in „Ertragserwartung ...“ ab Seite 33 angesprochen. Im realen Anlagenbetrieb ist die aus den Anlagendaten simulierte Ertragsprognose kein fester Wert, da er mit Abweichungen verbunden sein kann. Ein Simulationsergebnis ist immer mit Ungenauigkeiten behaftet. Im Betrieb einer PV-Anlage kann es zudem zu Abweichungen kommen, die den tatsächlichen Ertrag beeinflussen.

Einstrahlung

Die einzelnen jährlichen Einstrahlungswerte können um mehrere Prozent vom langjährigen Mittel abweichen. Die zehnjährige Abweichung liegt je nach Gebiet zwischen 4 und 8 Prozent. Die jährliche Abweichung der Globalstrahlung kann jedoch höher liegen, in Einzelfällen bei 10 Prozent.

Insbesondere aufgrund der klimatischen Veränderungen ergaben sich in den letzten Jahren erhöhte Einstrahlungswerte. Inwieweit dies fort dauert, ist nicht vorherzusagen. Tendenziell wird sich nach Einschätzung von Fachexperten die künftige solare Einstrahlung in Deutschland im Durchschnitt erhöhen. Das dürfte auch dazu führen, dass die Basiswerte aus den Ertragsberechnungen häufig übertroffen werden.



Beispiel eines visualisierten Monitorings anhand des Dashboards von SolarLog

Schnee

Auch wenn in den letzten Jahren die Winter eher gemäßigt ausgefallen sind, können entsprechende Wetterlagen zu gebietsweisen starken Schneefällen führen. So ergab sich im Voralpenbereich als auch in den Alpenregionen im Winter 2018/2019 ein übermäßiger Schneeniederschlag. In solchen Fällen kann der Ertrag einer PV-Anlage ebenfalls beeinträchtigt sein, wobei dies sich in der ohnehin einstrahlungsärmeren Jahreszeit eher gering auswirkt.

Degradation: Module können allmählich in ihrer Leistung nachlassen. Es liegen bislang nur sehr begrenzte Langzeiterfahrungen im Hinblick auf die Leistungsstabilität von Modulen vor. Dabei fielen einige Dünnschichtmodule als auch kristalline Module negativ auf. Da sich die Qualität der Herstellungstechniken für Module sicherlich verbessert hat, können die zurückliegenden Langzeiterfahrungen und Messungen zur Degradation als „worst case“ angenommen werden.

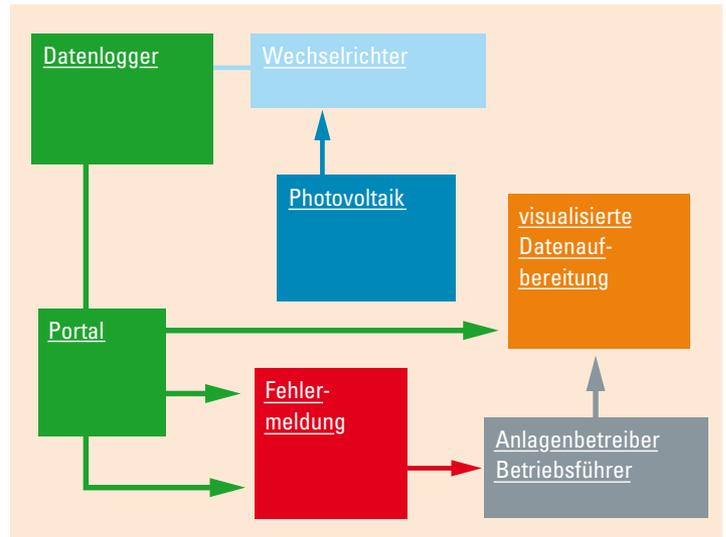
Untersuchungen von

- ▶ Professor Quaschnig, „Alterserscheinungen bei PV-Modulen, Langzeiterfahrungen einer PV-Testanlage an der TU-Berlin, Konferenzband des 14. Symposium Photovoltaische Solarenergie Bad Staffelstein 1999“,
- ▶ als auch von Häberlein, „Langzeitverhalten von PV-Anlagen, Konferenzband des 18. Symposium Photovoltaische Solarenergie Bad Staffelstein 2003“

gehen im Schnitt von einer Degradation von 0,41 Prozent im Jahr aus. Jüngere Studien lassen bei den Modulen der neueren Generation teilweise kaum Degradation erkennen.

Anlagenausfälle/Wartung

Anlagenausfälle mindern den Energieertrag; dies kann beispielsweise durch den Ausfall einzelner Wechselrichter bedingt sein. Eine eingerichtete Fernüberwachung mit automatischer Fehlermeldung verringert das Risiko unentdeckter Anlagenausfälle auf ein Minimum. Auch die Anlagenkonzeption mittels einzelner Stringwechselrichter sichert eine höhere Anla-



Beispiel für ein Datenaustauschsystem mittels Datenlogger und Portal

genverfügbarkeit als beispielsweise bei Zentralwechselrichtern.

Regelmäßige Inspektion und Anlagenprüfung sichert die Anlagenverfügbarkeit und mindert schleichende und unentdeckte Leistungsreduzierungen (Verschmutzung der Generatoren, einzelne Moduldefekte ...).

Ertragsmessungen

Das Zustandekommen von Sonneneinstrahlung und Stromerzeugung sowie die Grundlagen zur Einschätzung und Prüfung der Anlagenenerträge wurden bereits in „Ertragswartung ...“ beschrieben. Gleichzeitig wurden einige Tipps gegeben, wie man die eigenen Solarstromerträge vergleicht, um sicherzustellen, dass die PV-Anlage auch erwartungsgemäß den anvisierten Energieertrag liefert.

Der zeitnahen Entdeckung von Veränderungen am Ertragsverhalten im laufenden Betrieb einer PV-Anlage kommt große Bedeutung zu. Gleiches gilt übrigens auch für Fehlermeldungen. Es sollten daher Wechselrichter mit einem übersichtlichen Display Verwendung finden, deren Betriebszustand und Ertragsverhalten leicht erkennbar bzw. ablesbar sind. Idealerweise finden vermehrt Monitorsysteme Anwendung, die zum einen das Ertragsverhalten eines oder mehrerer Wechselrichter visualisiert auf-

bereiten und Fehlermeldungen zum anderen entweder via E-Mail oder SMS zeitnah an den Betreiber kommunizieren.

Wenn man bei größeren Anlagen wirklich alles im Überblick behalten möchte, kommt man um ein vernünftiges Monitoring mit Stringüberwachung nicht herum.

Professionelle Ertragsvergleiche ergeben sich daher nur mit entsprechender technischer Ausrüstung. Hierbei gibt es recht einfache Systeme mit automatisch generierender Fehlermeldung bis hin zu ausgefeilten Techniken mit Einzelstringüberwachung, häufig gekoppelt an Einstrahlungs- und Temperatursensor.

In der Regel sind heutzutage viele Wechselrichter mit einem internen Datenlogger ausgestattet, der über eine externe Schnittstelle entweder direkt an einen PC, per Funkübertragung oder über einen Router mit GPRS, also SIM-Karte und Fernübertragung, Daten weiter-

senden kann. Diese werden entweder auf ein vom Wechselrichterhersteller meist kostenloses Anlagenportal gesendet, oder man kann externe Portalanbieter nutzen, die meist aber kostenpflichtig sind.

Mit den bereitgestellten Daten und einer visualisierten Weboberfläche lassen sich die Betriebsparameter der Wechselrichter konfigurieren und über Grafiken darstellen (siehe das Beispiel eines visualisierten Monitorings auf Seite 150). Durch diese Aufbereitung haben Sie Ihre Anlage übersichtlich im Blick. Aufkommende Fehler können zusätzlich über Nachrichtenkanäle (E-Mail, SMS ...) oder spezielle Apps übermittelt werden. Mit dem Smartphone haben Sie Ihre Anlage „immer dabei“.

Solche automatisierten Fehlermeldungen stellen eine schnelle Reaktion bei Störungen sicher und tragen somit zu einer Minimierung von Anlagenausfällen bei.

REGELMÄSSIGE WARTUNG UND PRÜFUNG

Photovoltaikanlagen wurden früher mit dem Argument verkauft, sie seien wartungsarm. Rein fachlich gesehen stimmt dies auch, denn es gibt bei PV-Anlagen keine Wartung im eigentlichen Sinne. Der Betrieb von Photovoltaikanlagen scheint in erster Linie auch recht unkompliziert, weil es keinen Verschleiß im engeren Sinne gibt.

Eine Photovoltaikanlage ist allerdings eine elektrische Energieerzeugungsanlage. Grundsätzlich sollte man eine solche daher nicht gänzlich aus den Augen verlieren – und damit sind nicht nur allein der Zähler oder die Ein-

speiseabrechnung gemeint. Eine regelmäßige Prüfung gehört nicht nur zur Prävention, also zur „vorausschauenden Problemvermeidung“, sondern auch zur Erhaltung der Betriebssicherheit.

Allgemeine Bedeutung von Prüfungen

Wartung und Inspektion sowie eine regelmäßige Prüfung kennt man im Allgemeinen vom Auto. Jährlicher Kundendienst und alle zwei Jahre „Tüv-Prüfung“ sind obligatorisch. Dazwischen kommt die regelmäßige Autopflege mit

Waschstraße und Politur. Bei einer Investition von beispielsweise 30 000 Euro soll das Auto ja auch lange gepflegt sein. Die gute Garage darf hierbei nicht vergessen werden. Trotzdem ist der Gebrauchszeitraum eines Fahrzeugs weitgehend beschränkt – eine Besitzdauer von zehn Jahren und mehr ist schon selten.

Eine Photovoltaikanlage ist mit dem Großteil ihrer Komponenten permanent der jahreszeitlichen Witterung ausgesetzt. Im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeitsprognose bei einer vollfinanzierten Anlage muss diese erst einmal mindestens 12 bis 14 Jahre unterbrechungsfrei bei voller Effizienz Strom produzieren, um die Anschaffungs- und Finanzierungskosten auszugleichen. Wir sprechen hierbei noch gar nicht mal über einen Gewinn, sondern lediglich über Kostenausgleich! Darüber hinaus erfordert es im Hinblick auf das zu erzielende wirtschaftliche Gesamtergebnis mit Ausschöpfung der gesetzlichen Einspeisevergütung eine weitere, weitgehend störungsfreie Betriebsdauer bis zum 20. Betriebsjahr. Nicht darin enthalten: eine größere Reparatur. In der Praxis bleibt immer wieder festzustellen, dass man sich um die Anlagen wenig kümmert und diese nur selten regelmäßig geprüft werden.

Eine PV-Anlage setzt sich aus vielen Einzel-elementen zusammen, die für sich betrachtet Schwachstellen sein können – nicht alle gleichzeitig, aber dennoch vereinzelt. Daraus geht die Notwendigkeit regelmäßiger Prüfungen mehr als deutlich hervor. In einem der folgenden Abschnitte zu Mängeln an PV-Anlagen (ab Seite 169), wird dieser Umstand nochmals aufgegriffen.

Zudem lässt sich eine Photovoltaikanlage nicht einfach abschalten, denn die Module produzieren bei Licht- bzw. Sonneneinstrahlung weiterhin Strom mit einer Spannung von oftmals mehr als 500 Volt. Selbst wenn im Fehlerfall die verbauten Schutzfunktionen greifen oder man die Wechselrichter manuell abschaltet, verbleibt in den Leitungen zwischen den Modulen und bis zu den Wechselrichtern eine beträchtliche elektrische Spannung, solange Tageslicht vorhanden ist bzw. die Sonne scheint.

Oftmals sind es nur kleine Fehler, die sich auf den Ertrag auswirken können. Der Ausfall eines Teilstrings in einem Modul, etwa bei einem Diodendefekt, wirkt sich zunächst nicht auffällig auf den Anlagenenertrag aus. Wenn kein ausreichendes Monitoring mit Auswertemöglichkeiten vorhanden ist, wird man womöglich erst mit der Jahresendrechnung etwas stutzig, warum der Ertrag im vergangenen Jahr etwas niedriger ausfiel. Folgen hier keine konkreten Nachforschungen, bleibt der ertragsmindernde Umstand unentdeckt.

Es geht aber bei Weitem nicht nur um Ertragsausfall. Ein Marderverbiss bleibt unter dem Dach oft lange Zeit unentdeckt. Eine beschädigte Isolierung an einer oder gar mehreren Gleichstromleitungen gleichzeitig bedeutet die Gefahr eines elektrischen Schlags.

Natürlich kosten Prüfung und Wartung auch Geld. Die derzeitigen Angebotspreise schwanken recht stark und liegen je nach Anlagen-größe zwischen zwei und mehr als 20 Euro pro kWp installierter Leistung. Bei Großanlagen wie den Solarparks sind sogenannte „Wartungsverträge“ bereits obligatorisch, insbesondere aufgrund der Forderung der Banken und/oder Versicherer.

Prüfpflicht – Prüffristen

Der Zweck der Prüfung einer elektrischen Anlage besteht bereits bei deren Installation in dem Nachweis, dass diese – hier die Photovoltaikanlage – den Errichternormen und den Sicherheitsvorschriften entspricht. Die Prüfungen sollen den Nachweis des ordnungsgemäßen



Tierverbiss im Kabel