



Wie funktioniert eine Photovoltaik-Anlage?

Solarmodule, Wechselrichter, Batteriespeicher, Einspeisevergütung. Alles Wissenswerte kompakt auf den Punkt gebracht.

Eigentumsverhältnisse und Betreibermodelle

Dachverpachtung, Contracting, Anlagenpacht. Wie die Bereitstellung und Nutzung von Dachflächen für PV-Anlagen geregelt werden können.

Wirtschaftlichkeit

Stromkosteneinsparungen, Einspeisevergütung, Investitions-, Betriebs-, Wartungskosten. Faktoren für die Wirtschaftlichkeitsprüfung.

Photovoltaik auf Dächern Leitfaden

Inhalt

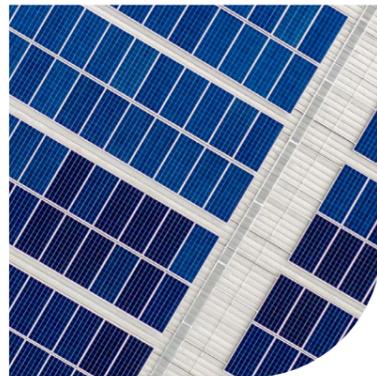
1

Einleitung 4–5



2

Wie funktioniert eine Photovoltaik- Anlage? 7–9



2.1. Technische Komponenten	7
2.2. Erneuerbare-Energien- Gesetz (EEG)	7
2.3. Einspeisevergütung	8
2.4. Marktprämienmodell	9



3

Art der Belegung 10–11

4

Eigentums- verhältnisse und Betreibermodelle 12–13

4.1. Dachverpachtung	13
4.2. Contracting	13
4.3. Anlagenpacht	13



5

Planung und Dimensionierung 14–15

6

Betrieb 16–17

6.1. Wartung	16
6.2. Reinigung	16
6.3. Versicherung	17
6.4. Steuern	17
6.5. Recycling	17



7

Wirtschaftlichkeit 18–19

7.1. Investitionskosten	19
7.2. Laufende Kosten	19

8

Förderungen und Umsetzung 20–21



1 Einleitung

Seit mehr als vier Milliarden Jahren liefert die Sonne kostenlos Energie zur Erde. Dabei treffen bis zu 1.000 Watt Strahlungsleistung pro Quadratmeter auf die Erdoberfläche. In der Summe entspricht dies dem mehr als 6.000-fachen des weltweiten Energiebedarfs der Menschheit. Die Gesamtstrahlung setzt sich zur Hälfte aus direkter (bei sichtbarer Sonne) und diffuser (Tageshelligkeit auch bei Bewölkung) Strahlung zusammen. Photovoltaik-Anlagen (PV-Anlagen) nutzen beides gleichermaßen.

Aktuell deckt die Menge des durch PV-Anlagen produzierten klimafreundlichen Stroms etwa zehn Prozent des deutschen Nettostromverbrauchs. Laut Potenzialstudie Erneuerbare Energien Nordrhein-Westfalen – Solarenergie des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz

(LANUV) ist noch viel mehr möglich: Allein in Nordrhein-Westfalen lässt sich durch Photovoltaik die Hälfte des im Bundesland verbrauchten Stroms erzeugen. Mit der eigenen PV-Anlage kann jeder einen Beitrag zum Gelingen der Energiewende und somit zum Klimaschutz leisten. Beispielsweise werden durch eine Anlage mit einer Leistung von vier kW_p (Kilowatt-Peak) in Nordrhein-Westfalen zirka 3.500 kWh (Kilowatt-Stunden) Strom pro Jahr erzeugt (dies entspricht rein rechnerisch dem Strombedarf eines 4-Personenhaushalts) und damit zirka 1650 Kilogramm CO₂-Emissionen eingespart. Bei einer größeren Anlage, zum Beispiel auf einem Gewerbedach, mit 200 kW_p werden in Nordrhein-Westfalen zirka 170.000 kWh pro Jahr produziert und damit rund 80.000 Kilogramm CO₂-Emissionen eingespart. Mit diesem Leitfaden möchte

NRW.Energy4Climate über die Möglichkeiten und Vorteile von Photovoltaik informieren und gleichzeitig dazu motivieren, eine PV-Anlage zu installieren. Auch in der Planung eines Neubaus beziehungsweise bei einer Sanierung oder Effizienzsteigerung eines Gebäudes stellt die Photovoltaik eine hervorragende Möglichkeit dar, etwas für die Umwelt zu tun und durch günstigen, selbst produzierten Strom Geld zu sparen.

Die Ausführungen zu den regulatorischen Bestimmungen in diesem Leitfaden beruhen auf den zum Stand der Veröffentlichung geltenden Gesetze. Im Laufe des Jahres 2022 und ab 2023 sind Änderungen – unter anderem eine Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes – zu erwarten.



2 Wie funktioniert eine Photovoltaik-Anlage?

PV-Anlagen wandeln Sonnenlicht in Strom um. Bevor dieser Strom im Haus oder im öffentlichen Netz genutzt werden kann, muss der von den Solarmodulen erzeugte Gleichstrom (DC) mithilfe eines Wechselrichters zu Wechselstrom (AC) umgewandelt werden.

DC = Gleichstrom
AC = Wechselstrom

Von Solarmodul bis Wechselrichter ist daher von der DC-Seite und ab

dem Wechselrichter von der AC-Seite die Rede. AC-seitig folgt ein Zweirichtungszähler, der sowohl die eingespeisten Strommengen als auch die aus dem Netz bezogenen Strommengen misst. Bei Neuanlagen mit mehr als 7 kW_p installierter Leistung müssen dafür intelligente Stromzähler eingesetzt werden.

Im Einfamilienhaus werden erfahrungsgemäß zirka 30 Prozent der erzeugten Energie direkt im Haushalt verbraucht, also etwa 70 Prozent eingespeist und

nach aktueller Gesetzeslage gemäß Erneuerbarem-Energien-Gesetz (EEG) vergütet. Im gewerblichen Bereich fallen tagsüber Strombedarf und Stromproduktion weitestgehend zusammen. Daher kann im gewerblichen Bereich deutlich mehr lokal produzierter Solarstrom direkt genutzt werden, sodass je nach Stromverbrauch, Anlagengröße und Art des Gewerbes 50 bis 99 Prozent Eigenverbrauch möglich sind. Da die EEG-Vergütung für ins öffentliche Netz eingespeisten Strom mittlerweile deutlich unter den Strombezugspreisen der Energieversorger liegt, ist aus wirtschaftlicher Sicht stets eine hohe Eigenstromnutzung anzustreben.

2.1. Technische Komponenten

Die Hauptkomponente einer PV-Anlage bildet das Solarmodul, das sich wiederum aus einer Vielzahl von Solarzellen zusammensetzt. Die Zellen bestehen im Wesentlichen aus dünnen Siliziumwafern und gegebenenfalls weiteren Materialschichten, um unter anderem den Wirkungsgrad zu verbessern (zum Beispiel bei der PERC-Technologie). Höchste Wirkungsgrade (gemeint ist das Verhältnis der abgegebenen elektrischen Energie zur einfallenden Lichtenergie) werden mit monokristallinem Silizium erreicht. Der Modulwirkungsgrad beträgt hier bis zu 21 Prozent, sodass mit einem Standardmodul (zirka 1,8 m² Fläche) eine maximale Leistung von 370 Watt produziert werden kann. Aus diesem Grund haben monokristalline Module mittlerweile gegenüber anderen Modultypen auf polykristalliner Basis oder mit Dünnschichttechnologie den größten Marktanteil. Die Lebensdauer von PV-Modulen kann 30 Jahre und mehr betragen. Auf diesen Zeitraum deuten auch die Garantien der Hersteller hin, die in Bezug auf die Leistungsgarantie ebenfalls Werte von bis zu 30 Jahren angeben.

Herzstück einer PV-Anlage ist der Wechselrichter, der den Gleichstrom der Solarmodule in Wechselstrom (1-phasig oder 3-phasig) wandelt und den Solarstrom somit für alle Verbraucher:innen und das öffentliche Strom-

netz nutzbar macht. Neben der Umwandlung kann der Wechselrichter auch für die Abregelung und das Energiemanagement eingesetzt werden. Ein sogenannter Hybrid-Wechselrichter ermöglicht demgegenüber nicht nur den Anschluss einer Solaranlage, sondern auch den Anschluss eines Batteriespeichers. Beide Komponenten teilen sich also einen Wechselrichter, wodurch Umwandlungsverluste (Gleichstrom <-> Wechselstrom <-> Gleichstrom) vermieden werden können.

Dem Wechselrichter nachgelagert befindet sich der intelligente Stromzähler (Zweirichtungszähler) sowie optional ein Energiemanagementsystem, das die Stromproduktion und den Strombedarf dynamisch regelt und in das auch Batteriespeicher und diverse regelbare Stromverbraucher (etwa Ladestationen für Elektrofahrzeuge oder Wärmepumpen) mit eingebunden werden können.

Bei größeren Anlagen können weitere Komponenten hinzukommen, zum Beispiel ein Rundsteuerempfänger (ermöglicht das Abregeln der Anlage durch den Netzbetreiber), Messwandler (zur Messung bei hohen Strömen) oder Fernwirktechnik zur Lastgangmessung, um den Strom von PV-Anlagen größer 100 kW an der Strombörse vermarkten zu können.

2.2. Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

Für Interessierte, die in eine PV-Anlage investieren wollen, bietet das EEG eine der wichtigsten Entscheidungsgrundlagen. Für die Art und Höhe der Vergütung wird innerhalb des EEG die installierte Nennleistung der PV-Anlage in kW_p herangezogen. Folgende Grenzen sind von besonderem Interesse:

Installierte Nennleistung bis 10 kW_p:

- Höchste Vergütungssätze der Einspeisevergütung
- Keine EEG-Umlage auf selbst verbrauchten Solarstrom

Installierte Nennleistung 10 kW_p bis 40 kW_p:

- Mittlere Vergütungssätze der Einspeisevergütung
- Keine EEG-Umlage auf selbst verbrauchten Solarstrom bis 30 kW_p
- Abführen einer reduzierten EEG-Umlage von 40 Prozent der aktuell gültigen EEG-Umlage auf selbst verbrauchten Solarstrom ab 30 kW_p

Installierte Nennleistung 40 kW_p bis 100 kW_p:

- Niedrigste Vergütungssätze der Einspeisevergütung
- Abführen einer reduzierten EEG-Umlage von 40 Prozent der aktuell gültigen EEG-Umlage auf selbst verbrauchten Solarstrom

Installierte Nennleistung 100 kW_p bis 300 kW_p:

- Erhöhung der Vergütungssätze im Marktprämienmodell (siehe Seite 9). Im Gegensatz zur Einspeisevergütung ist im Rahmen der Direktvermarktung gegebenenfalls ein höherer Erlös möglich.

--- Verpflichtende Direktvermarktung

- Abführen einer reduzierten EEG-Umlage von 40 Prozent der aktuell gültigen EEG-Umlage auf selbst verbrauchten Solarstrom

Installierte Nennleistung 300 kW_p bis 750 kW_p:

Wahl zwischen zwei Vergütungsoptionen:

Vergütungsoption 1:

- Teilnahme an einer EEG-Ausschreibung des zweiten Segments

Beispiel

Die Einspeisevergütung für eine 80-kW_p-Anlage mit Inbetriebnahme im Januar 2022 berechnet sich wie folgt:

Die ersten 10 kW_p (12,5 Prozent der Anlage) werden mit 6,83 ct/kWh vergütet. Die nächsten 30 kW_p (37,5 Prozent der Anlage) werden mit 6,63 ct/kWh vergütet. Die restlichen 40 kW_p (50,0 Prozent der Anlage) werden mit 5,19 ct/kWh vergütet. In Summe ergibt sich für eine 80-kW_p-Anlage daher eine angepasste EEG-Vergütung von 5,93 ct/kWh. Berechnungsansatz: (10 * 6,83 ct/kWh + 30 * 6,63 ct/kWh + 40 * 5,19 ct/kWh) / 80 = 5,93 ct/kWh

- Vergütungsanspruch auf die vollständige Produktion der Anlage
- Verpflichtende Direktvermarktung
- Eigenverbrauch ist nicht möglich
- Vergütungsoption 2:
- Inanspruchnahme der gesetzlich festgelegten Vergütung
- Verpflichtende Direktvermarktung
- Vergütung für 50 Prozent der erzeugten Strommenge eines Jahres
- Übrige Strommenge muss der Anlagenbetreiber selbst verbrauchen oder ohne Förderung direkt vermarkten

Installierte Nennleistung ab 750kW_p:

- Verpflichtende Teilnahme an einer EEG-Ausschreibung
- Verpflichtende Direktvermarktung
- Der Eigenverbrauch ist nicht möglich

2.3. Einspeisevergütung

PV-Anlagen mit einer installierten Leistung bis 100 kW_p erhalten für den Strom, der in das öffentliche Stromnetz eingespeist wird, eine feste Einspeisevergütung pro kWh. Die Vergütung richtet sich nach der installierten Leistung, dem Anlagentyp und dem Datum der Inbetriebnahme. Der Anspruch auf Einspeisevergütung für PV-Strom besteht für einen Zeitraum von 20 Jahren zuzüglich dem Rest des Inbetriebnahme-Jahres. Die aktuellen Vergütungssätze und anzulegenden Werte werden von der Bundesnetzagentur veröffentlicht und sind unter [diesem Link](#) abrufbar.

Feste Einspeisevergütung

Vergütungssätze in ct/kWh	Inbetriebnahme	Gebäude/Lärmschutzwände			Sonstige Anlagen
		bis 10 kW _p	bis 40 kW _p	bis 100 kW _p	bis 100 kW _p
		ab 01.11.2021	7,03	6,83	5,35
ab 01.12.2021	6,93	6,73	5,27	4,75	
ab 01.01.2022	6,83	6,63	5,19	4,67	

Marktprämienmodell: inklusive 0,4 ct/kWh Managementprämie

Anzulegende Werte in ct/kWh	Inbetriebnahme	Gebäude/Lärmschutzwände			Sonstige Anlagen
		bis 10 kW _p	bis 40 kW _p	bis 750 kW _p	bis 750 kW _p
		ab 01.11.2021	7,43	7,23	5,75
ab 01.12.2021	7,33	7,13	5,67	5,15	
ab 01.01.2022	7,23	7,03	5,59	5,07	

2.4. Marktprämienmodell

Bei PV-Anlagen mit einer installierten Leistung über 100 kW_p muss der Strom zunächst (in der Regel mit Hilfe eines Dienstleisters) an der Strombörse vermarktet werden (Direktvermarktung). Die erzielten Erlöse werden anschließend über eine Marktprämie so weit aufgestockt, dass sich der jeweils gültige anzulegende Wert ergibt: Erlös aus dem Strom + Marktprämie = anzulegender Wert (5,59 ct/kWh für eine 200 kW_p PV-Anlage mit Inbetriebnahme am 01.01.2022).

Zudem erhält der Anlagenbetreiber eine Managementprämie von 0,4 ct/kWh, um einen Teil der möglicherweise entstehenden Mehrkosten durch den Direktvermarkter zu kompensieren. Letztlich erhält der Anlagenbetreiber also auch im Marktprämienmodell eine gesicherte Vergütung, nur, dass sich diese teilweise über die Strombörse finanziert und somit das EEG-Umlage-Konto weniger belastet. Aufgrund des seit Ende 2021 gestiegenen Preisniveaus an der Strombörse sind auch die Marktwerte Solar – also die durchschnittlichen Erlöse für die

Vermarktung von Solarstrom an der Börse – gestiegen. Dadurch können die Erlöse aus der Direktvermarktung des Stroms auch größer als der eigentlich anzulegende Wert sein. Inwieweit der Anlagenbetreiber davon profitiert, hängt von den individuellen Vereinbarungen mit seinem Dienstleister ab.



3 Art der Belegung

Wenn die grundsätzliche Entscheidung für eine PV-Anlage gefallen ist, gilt es, verschiedene Dinge zu beachten. Denn Art und Größe der Anlage hängen nicht unerheblich von der Frage ab, wo und wie die Anlage installiert werden soll. Da für den Laien nicht immer sofort ersichtlich ist, welche Dachfläche für eine PV-Anlage geeignet ist und welche Größe die Anlage haben sollte, empfiehlt es sich, von Anfang an spezialisierte Dienstleister in Anspruch zu nehmen. Einen ersten Eindruck, ob sich Ihre Dachfläche eignet, erhalten Sie im Solarkataster des LANUV auf www.EnergieAtlas.nrw.de.

Generell ist die Dachausrichtung zu beachten. Jedes Dach mit einer Süd-, Südost-, Ost-, Südwest- oder Westausrichtung ist denkbar. Bei geringer Dachneigung kann sogar die Belegung der Nordseite in Betracht gezogen werden. Maximale Erträge werden bei einer reinen Südausrichtung und einer Dach- beziehungsweise Modulneigung von 30 Grad erreicht. Bei einer Ostwest-Ausrichtung erfolgt der Ertrag etwas breiter über den Tag verteilt, das heißt, die Solarstromproduktion beginnt früher, ist in der Mittagszeit etwas geringer und endet abends etwas später. Der Gesamtertrag ist bei Ostwest-Anlagen gegenüber Süd-An-

lagen etwas geringer, dafür begünstigt die früher beginnende und später endende Stromproduktion den Eigenverbrauch.

Weiterhin spielen die Umgebung beziehungsweise mögliche Verschattungsquellen eine Rolle. Diese können nicht nur in Folge wachsender Bäume entstehen, sondern auch durch neu errichtete Bauwerke. Bei unbebauten Nachbargrundstücken empfiehlt sich beispielsweise der Blick in den Bebauungsplan. Hinzu kommen mögliche Standortgefährdungen aus der Umgebung, wie Schneedruck, Wind oder auch Hochwasser (dazu gibt es Zonen-Karten für die Bundesrepublik, die zu beachten sind). Andere Gefährdungen sind zum Beispiel die Diebstahlfahrer oder Verschmutzungen durch Laub oder Vogelkot. Auch eine bereits vorhandene Blitzschutzanlage und ein mögliches Brandschutzkonzept sollte in die Planung integriert werden.

Bei der Wahl des Anlagen-Standortes muss auch der Untergrund in die Planungen einbezogen werden. Handelt es sich um einen Neubau, lässt sich mit dachintegrierten Modulen die Dacheindeckung sparen, zudem passt sich die Anlage harmonischer in das

Gesamtbild des Gebäudes ein. Dies gilt ebenso bei fassadenintegrierten Anlagen. Bei einem Altbau ist eine additive, also aufgesetzte Anlage möglicherweise eher von Vorteil. Im Gewerbe bieten sich insbesondere Dacheindeckungen mit Trapezblech oder Flachdächer an. Grundsätzlich muss die Beanspruchung des Gebäudes durch die Montage einer PV-Anlage vorher genau geprüft werden. Diesbezüglich sind insbesondere Belastungen durch das zusätzliche Gewicht der Anlage und Wechselwirkungen durch zusätzliche Schnee- und Windlasten zu beachten. Um statische Reserven einhalten zu können, werden Flachdächer daher oft mit einer Ostwest-Ausrichtung und 10 Grad Modulneigung belegt. Die flache Aufständigung bietet dem Wind weniger Angriffsfläche, wodurch das Gesamtsystem weniger ballastiert werden muss. Gegebenenfalls kann auch bereits vorhandener Kies als Ballastierung verwendet werden, um eine Dachverankerung beziehungsweise ein Eindringen in die Dachhaut zu vermeiden. Die zusätzliche Dachlast von modernen PV-Anlagen, bestehend aus PV-Modulen, Unterkonstruktion und Ballastierung, liegt zwischen 15 und 20 kg/m².

4 Eigentumsverhältnisse und Betreibermodelle

Vor allem im gewerblichen Bereich stellt sich häufig die Frage nach dem Eigentumsverhältnis beziehungsweise der Nutzungssituation der Immobilie, auf der die PV-Anlage errichtet werden soll.

Üblich sind Mietverhältnisse zwischen dem Gebäudeeigentümer und einem oder mehreren Nutzern beziehungsweise Stromverbrauchern (z.B. Mutterkonzern = Eigentümer, Tochtergesellschaft = Mieter/Stromverbraucher). Der jeweiligen Konstellation kann mit unterschiedlichen Betreibermodellen begegnet werden, zum Beispiel:

Dachverpachtung: Der Gebäudeeigentümer stellt dem Mieter das Dach gegen eine Dachpacht für die Errich-

tung einer PV-Anlage zur Verfügung. Der Mieter betreibt die PV-Anlage anschließend selbst.

Contracting: Der Gebäudeeigentümer (oder Investor) errichtet und betreibt die PV-Anlage und verkauft einem oder mehreren Mietern den Solarstrom.

Anlagenpacht: Der Gebäudeeigentümer (oder Investor) errichtet die PV-Anlage und verpachtet dem Mieter die PV-Anlage. In diesem Fall wird dann der Mieter zum Betreiber der PV-Anlage.

Diese Betreibermodelle eignen sich auch für Gewerbebetriebe, die prinzipiell eine Dachfläche zur Verfügung (beziehungsweise im Eigentum) haben, aber nicht selbst in eine PV-Anlage investieren möchten.

4.1. Dachverpachtung

Mit der Dachverpachtung bietet sich für den Dacheigentümer die Möglichkeit, eine bisher nicht wirtschaftlich genutzte Fläche zu bewirtschaften. Im Rahmen der Dachverpachtung wird es einem Investor ermöglicht, die Dachfläche zu mieten und darauf eine PV-Anlage zu errichten. Die Dachpacht läuft in der Regel 25 Jahre mit der Option auf eine Verlängerung auf bis zu 35 Jahre. Der Investor wird dabei für diesen Zeitraum mit in das Grundbuch aufgenommen. Die Dachpacht kann als Einmalzahlung (diskontiert über die Laufzeit des Pachtvertrages) oder jährlich ausgezahlt werden. Alles Weitere (Installation, Wartung, Betrieb, Stromverteilung) liegt dann im Verantwortungsbereich des Investors.

4.2. Contracting

Das Contracting baut auf dem Modell der Dachpacht auf. Möchte der Dacheigentümer oder das in dem Gebäude befindliche Unternehmen den Solarstrom vor Ort selbst nutzen, die PV-Anlage selbst aber nicht besitzen, kann mit dem Investor (Contractor) ein Stromliefervertrag abgeschlossen werden.

Für den lokal erzeugten und vor Ort verbrauchten Strom muss der Investor lediglich die volle EEG-Umlage abführen. Alle weiteren sonst üblichen Kostenbestandteile (Entgelte, Abgaben, Stromsteuer) fallen weg. Der Strompreis für den über das Contracting bezogenen Strom ergibt sich somit aus den Kosten der Stromproduktion (Stromgestehungskosten), der Marge für den Contractor sowie der vollen EEG-Umlage. Zumeist kann der Solarstrom auf diese Weise drei bis fünf ct/kWh günstiger angeboten werden als der Strom des jeweiligen Energieversorgers.

Das Unternehmen kann also Stromkosten einsparen, ohne selbst Eigentümer einer PV-Anlage zu sein und sich längerfristig konstante Strombezugspreise sichern. Unternehmen müssen auf diese Weise kein eigenes Geld investieren, können aber dennoch vom günstigen Solarstrom profitieren. Zudem müssen auch für die

restliche Vertragslaufzeit keine weiteren Ressourcen aufgebracht werden, da alle die PV-Anlage betreffenden Kosten (unter anderem Versicherung und Wartung) und Pflichten in den Verantwortungsbereich des Investors fallen. Zu beachten sind jedoch die langen Bindungsfristen hinsichtlich des Stromliefervertrages und die Eintragung des Investors in das Grundbuch.

4.3. Anlagenpacht

Die Anlagenpacht geht noch einen Schritt weiter als die Modelle zuvor. Auch in diesem Betreibermodell verpachtet der Eigentümer dem Investor das Dach für den Bau einer PV-Anlage. Anschließend verpachtet der Investor dem Dacheigentümer (oder dem im Gebäude befindlichen Unternehmen) die Anlage wieder zurück. Damit wird das Unternehmen zum Anlagenbetreiber – ohne jedoch Investor der Anlage zu sein – und profitiert auf diese Weise auch von der EEG-Umlage-Privilegierung. Statt der vollen EEG-Umlage müssen in diesem Fall nur 40 Prozent der aktuell gültigen EEG-Umlage abgeführt werden (für Anlagen unter 30 kW_p entfällt die EEG-Umlage), wodurch sich der Einspareffekt im Vergleich zum Contracting vergrößert. Je nach Vertragsgestaltung werden die Erlöse durch eine Überschusseinspeisung mit dem Investor verrechnet, wobei ein möglichst hoher Eigenverbrauchsanteil für beide Parteien die wirtschaft-

lich interessanteste Option ist. Zudem kann mit dem Investor ein zusätzlicher Betriebs- und Wartungsvertrag abgeschlossen werden, um den betrieblichen Aufwand im Unternehmen zu reduzieren. Vorteil dieses Betreibermodells ist, dass sich der Einspareffekt durch die reduzierte EEG-Umlage vergrößert. Zudem muss das Unternehmen selbst keine Investition tätigen und trägt daher ein geringeres finanzielles Risiko. Zu beachten ist jedoch, dass Anlagenpachtverträge eine langfristige Bindung mit dem Investor mit sich bringen können (20 Jahre und mehr, inklusive Grundbucheintrag). Im Gegenzug gilt für diesen Zeitraum allerdings auch eine erhöhte Planungssicherheit, da die festen Preise der Anlagenpacht bei gleichzeitig niedrigeren Strombezugskosten eine geringere Abhängigkeit von Strompreisveränderungen mit sich bringen. Um flexibler auf interne Veränderungen im Unternehmen reagieren zu können, bieten Investoren nach einer gewissen Laufzeit (zirka 10 Jahre) ein Vorkaufsrecht für die PV-Anlage an, womit diese in das Eigentum des Unternehmens übergeht und die Pachtverträge vorzeitig beendet werden können.

Ab dem 1. Juli 2022 entfällt die EEG-Umlage sowohl auf den vor Ort verbrauchten als auch auf den aus dem Netz bezogenen Strom. Die Förderkosten für Erneuerbare Energien werden künftig aus dem Energie- und Klimafonds finanziert und die EEG-Förderung über den Strompreis damit beendet.



5 Planung und Dimensionierung

Pro kW_p installierter Leistung ist je nach Ausrichtung und Modulneigungswinkel eine Fläche zwischen fünf und zehn Quadratmetern auf einem schattenfreien, zwischen Südost und Südwest ausgerichteten Dach notwendig. Ein vierköpfiger Haushalt verbraucht im Jahr durchschnittlich 3.500 kWh – sodass eine Anlage mit 4 kW_p (zirka 20 Quadratmeter) über

das Jahr gesehen diese 3.500 kWh produziert. Im gewerblichen Bereich liegt der Strombedarf häufig bei mehr als 100.000 kWh, sodass dort PV-Anlagen mit deutlich mehr als 100 kW_p üblich und sinnvoll sind, um den Strombedarf bilanziell zu decken. Folgende Eckdaten (Stand 2021) können bei einer Erstabschätzung helfen:

Planung und Dimensionierung	Fläche pro Modul:	1,8 m ²	(370 W _p)
		2,1 m ²	(420 W _p)
	Fläche pro kW _p :	5 m ²	(Schrägdach)
		5 m ²	(Flachdach 10° Ostwest)
		10 m ²	(Flachdach, 30° Süd)
	Ertrag für NRW pro kW _p :	850 kWh/a	(10° Ostwest)

Ziel sollte sein, so viel Solarstrom wie möglich selbst zu verbrauchen, womit der eigene Stromverbrauch als ein möglicher Orientierungswert für die Anlagendimensionierung herangezogen werden kann. Hier sollten auch zukünftige Planungen in die Überlegungen mit einbezogen werden, weshalb auch eine größere Dimensionierung sinnvoll sein kann. So könnte mit dem durch die PV-Anlage erzeugten Strom beispielsweise eine Wärmepumpe betrieben oder ein Elektroauto geladen werden. Auch im gewerblichen Kontext sind über die Jahre Erweiterungsmaßnahmen denkbar (z. B. größere Produktionskapazitäten, elektrifizierter Fuhrpark). Da eine produzierte kWh Solarstrom entweder Einsparungen generiert oder gegen eine feste Vergütung verkauft werden kann, die Betriebskosten nicht proportional steigen und die spezifischen Kosten (Euro/kW_p) mit der Anlagengröße sinken, entstehen dem Anlagenbetreiber

keine finanziellen Nachteile, wenn die Solaranlage anfangs größer dimensioniert wird. Tatsächlich können sich größer dimensionierte Solaranlagen aufgrund stark gefallener Preise genauso schnell oder mit der Zeit sogar schneller rechnen als Anlagen, die rein auf den Stromverbrauch dimensioniert sind.

Beispiel

Ein hindernisfreies, unverschattetes Flachdach mit einer Fläche von 1.000 Quadratmetern ermöglicht die Installation einer Ostwest-Anlage mit bis zu 200 kW_p, die in NRW eine Stromproduktion von zirka 170.000 kWh ermöglicht. Sie setzt sich mit einer angenommenen Modulaufständerung von 10 Grad aus zirka 541 Modulen à 370 W_p zusammen.

6 Betrieb

6.1. Wartung

Für PV-Anlagen, die für einen gewerblichen Betrieb installiert werden, besteht eine Wartungspflicht. Den Richtlinien nach müssen wiederkehrende Prüfungen oder Wartungen elektrischer Anlagen alle vier Jahre durchgeführt werden (DIN VDE 0105-100). Wie oft eine Wartung in diesem Zeitraum tatsächlich durchgeführt wird, bleibt eine Entscheidung des Betreibers. Allerdings kann es sein, dass Versicherungen einen bestimmten Wartungsrythmus vorgeben. Da der reibungslose Betrieb einer PV-Anlage auch wirtschaftliche und sicherheitstechnische Aspekte betrifft, sollte auf

die Möglichkeiten einer Fernwartung sowie einer ein- bis zweijährlichen Wartung vor Ort zurückgegriffen werden.

6.2. Reinigung

PV-Anlagen sind ganzjährig dem Wetter und anderen Umwelteinflüssen ausgesetzt. Die Oberflächenbeschaffenheit und die Neigung der PV-Module begünstigen einen selbstreinigenden Effekt, zum Beispiel während eines Regenschauers. Stärkere Verschmutzungen durch Staub aus Landwirtschaft, Industrie oder Straßenverkehr, durch Laub oder Tiere können auf längere Sicht dennoch zu

Ertragsminderungen führen. Um dem entgegenzuwirken, können für die Reinigung der PV-Module spezialisierte Dienstleister eingesetzt werden. Die Kosten fallen von Region zu Region unterschiedlich aus und bewegen sich zwischen 1 und 3 Euro pro Quadratmeter Modulfläche. Die Notwendigkeit einer Reinigung ist dabei Ermessenssache. Sie ist dann sinnvoll, wenn die Verluste in Folge einer Ertragsminderung die Kosten einer Reinigung übersteigen. Dies kann verstärkt der Fall sein, wenn die Anlage in der Nähe von emissionsintensiven Industriegebieten oder landwirtschaftlichen Betrieben installiert wird.

6.3. Versicherung

Der Betrieb einer PV-Anlage stellt immer ein gewisses finanzielles Risiko dar, das mit Versicherungen deutlich abgemindert werden kann. In manchen Fällen kann die PV-Anlage in bereits bestehende Versicherungspolice des Unternehmens mit aufgenommen werden. Spezielle PV-Versicherungen bieten allerdings oftmals einen größeren und auf den Betrieb zugeschnittenen Versicherungsumfang. In Betracht gezogen werden sollten vor allem eine Betreiberhaftpflicht, eine Allgefahren- und eine Ertragsausfallversicherung.

Eine Haftpflichtversicherung umfasst beispielsweise Personen- oder Sachschäden, die durch die PV-Anlage verursacht werden könnten (z. B. Stromschlag oder herabfallende Module). Die Kosten belaufen sich bei Investitionskosten von 160.000 Euro (zirka 200 kW_p) auf zirka 100 bis 150 Euro pro Jahr.

Die Allgefahrenversicherung deckt Schäden ab, die alle Komponenten der PV-Anlage selbst betreffen. Dabei kann es sich um Schäden durch Diebstahl, Brand, Witterung, Fahrlässigkeit oder Ähnlichem handeln. Jährlich kostet eine solche Versicherung für eine 200 kW_p-Anlage zirka 200 bis 300 Euro.

Die Ertragsausfallversicherung ist oft Teil der Allgefahrenversicherung und kann den Anlagenbetreiber entschä-

digen, wenn die PV-Anlage aufgrund der versicherten Schadensursachen keinen Strom produzieren kann. Wird die Anlage mit Fremdkapital finanziert, kann optional die GAP-Deckung hinzugewählt werden, die im Falle eines Totalschadens die Differenz aus Zeitwertentschädigung und Restschuld kompensiert. Die Kosten einer Ertragsausfallversicherung sind meist in den Kosten der Allgefahrenversicherung enthalten.

6.4. Steuern

Jeder Betreiber einer PV-Anlage unterliegt der Umsatzsteuerpflicht, wenn er seinen Solarstrom an den Netzbetreiber verkauft und durch die Einspeisevergütung regelmäßig Einnahmen erzielt. Bei einem Jahresumsatz von bis zu 17.500 Euro können sich Privatanlagenbetreiber auf Wunsch von der Umsatzsteuerpflicht befreien lassen („Kleinunternehmer-Regelung“, gilt bis zirka 30 kW_p Anlagenleistung). Zu bedenken ist jedoch: Aus der Umsatzsteuerpflicht ergeben sich auch finanzielle Vorteile. Das Finanzamt erstattet im Rahmen der Umsatzsteuervoranmeldung die Mehrwertsteuer auf alle Ausgaben (Anschaffung, Versicherung, Wartung etc.) zurück. Dafür muss aber der Stromnetzbetreiber frühzeitig informiert werden, damit er die Vergütung zuzüglich der Mehrwertsteuer zahlt. Dieser Betrag muss dann vom Anlagenbetreiber an das Finanzamt abgeführt werden, quasi als „durchlaufender Posten“. Die Höhe der regelmäßigen Einnahmen wird dem Finanzamt mit der Umsatzsteuervoranmeldung mitgeteilt, die Jahresrechnung erfolgt üblicherweise zusammen mit der Einkommensteuererklärung.

Bei der Einkommensteuer spielen die Solarstromerlöse nur dann eine Rolle, wenn mit der Anlage jährlich ein Totalüberschuss erzielt wird. Das ist dann der Fall, wenn die Einnahmen der Solaranlage durch den Stromverkauf (beziehungsweise durch die Vergütung) höher sind als die Ausgaben, also die Summe der Betriebskosten. Zu den Einnahmen zählt die Einspeisevergütung. Die Ausgaben beinhalten unter anderem die Abschreibung

auf die Anschaffungskosten, Reparaturkosten, Versicherung und Kreditzinsen. Betreiber kleiner PV-Anlagen bis 10 kW_p können sich in vielen Fällen von der Einkommensteuer befreien lassen. Für die Steuererklärung werden die Originalbelege benötigt. Auf jeden Fall ist auch hier ein fachlich versierter Steuerberater zu konsultieren.

6.5. Recycling

Im Rahmen des Elektro- und Elektronikgerätegesetzes (ElektroG) ist geregelt, dass Inverkehrbringer von elektrischen Geräten, wozu auch PV-Module gehören, die Rücknahme von Altgeräten organisieren müssen. Dazu werden Verkaufsmengen, Rücknahmemengen und Sammel-beziehungsweise Recyclingquoten erfasst und an die zuständigen Behörden übermittelt. In Deutschland ist eine Sammelquote von 85 Prozent vorgeschrieben.

Moderne Recyclingverfahren erreichen Wiedergewinnungsquoten von 95 Prozent. Das Recycling der in PV-Modulen enthaltenen Materialien wie Silizium und Aluminium verringert die sonst zum Abbau notwendigen Eingriffe in die Umwelt und ermöglicht auch den Wiedereinsatz in der Produktion von neuen PV-Modulen. Mit dem Recycling wird gewährleistet, dass mit der Photovoltaik eine über den gesamten Lebenszyklus nachhaltige Technologie zur Verfügung steht.

Hierzulande wurden für die Organisation der Rücknahmeprozesse privatwirtschaftliche Unternehmen gegründet, denen sich Hersteller von Solarprodukten anschließen können. Viele Hersteller organisieren die Entsorgung jedoch auch selbst. Die Entsorgung ist für den Betreiber in der Regel nicht mit Zusatzkosten verbunden.

7 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit einer PV-Anlage ergibt sich vor allem durch die Stromkosteneinsparung und Einnahmen durch die Stromeinspeisung. Während im privaten beziehungsweise Kleinanlagenbereich auch die Einspeisevergütung für einen wirtschaftlichen Betrieb wichtig ist, dominiert im stromintensiven Gewerbe vor allem die Stromkosteneinsparung. Besonders die Höhe des Strompreises, die Menge des Stromverbrauchs, die Eigenverbrauchsquote sowie die Strompreisentwicklung haben großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit.

Auf der Ausgabenseite sind die Investitionskosten und die laufenden Kosten (Wartung, Versicherung, gegebenenfalls Zinsen) und die reduzierte

EEG-Umlage zu nennen. Während Anlagen unter 30 kW_p von der EEG-Umlage auf selbstgenutzten Strom befreit sind, muss für Anlagen über 30 kW_p eine reduzierte EEG-Umlage (40 Prozent der jeweils aktuell gültigen EEG-Umlage) pro selbst produzierte und verbrauchte kWh abgeführt werden.

Übliche Amortisationszeiten für kleine Anlagen (5 bis 30 kW_p) liegen zwischen 12 bis 14 Jahren, während sich größere PV-Anlagen auf Gewerbedächern (je nach individuellen Bedingungen) bereits innerhalb von 7 bis 10 Jahren rechnen können.

Der kostenlose [PV-Rechner](#) von NRW Energy4Climate kann einen ersten



Folgende Investitionskosten sind aktuell (Stand 2022) zu erwarten:

Kosten pro kW _p (netto):	Bei einer Anlagengröße bis	
	1.200 Euro	10 kW _p
1.050 Euro	60 kW _p	
920 Euro	100 kW _p	
870 Euro	150 kW _p	
780 Euro	300 kW _p	

Überblick über den zu erwartenden Ertrag einer PV-Anlage und über die Höhe der Einsparungen und Einspeisevergütung geben. Schritt für Schritt führt der Rechner über Fragen zu Anlagenart, Standort, Nutzfläche, aktuellem Stromverbrauch und Finanzierungsbedarf zum Ergebnis. Eine Grobkalkulation und eine Wirtschaftlichkeitsrechnung zeigen auf, ob und in welcher Form sich eine PV-Anlage auf dem eigenen Dach rechnet.

7.1. Investitionskosten

Die Investitionskosten [Euro] beziehungsweise spezifischen Investitionskosten [Euro/kW_p] beinhalten die technischen Komponenten, die Installation, Sicherungsmaßnahmen (z. B. Gerüste) und den Netzanschluss. Dabei sinken die spezifischen Investitionskosten in der Regel mit der Anlagengröße.

Wenn die Anlage mit Fremdkapital finanziert werden soll, ist es besonders wichtig, das richtige Kreditinstitut auszuwählen. Idealerweise fällt die Entscheidung für eine Bank, die bereits Erfahrung in der Finanzierung von PV-Anlagen hat. Dazu kann auch auf die Erfahrungen und Tipps des/der Solarteur:in zurückgegriffen werden.

7.2. Laufende Kosten

Wie bei anderen technischen Anlagen auch, fallen während des PV-Anlagenbetriebs ebenfalls laufende Kosten an. Diese setzen sich vor allem aus folgenden Aufwendungen zusammen und werden in der Regel in Prozent der Investitionskosten pro Jahr angenommen [Prozent/a]:

- Betrieb: 1 Prozent/a (z. B. Software, Arbeitszeit von Mitarbeiter:innen oder Ausgaben für Dienstleister der Direktvermarktung.)
- Wartungskosten: 0,5 Prozent/a (z. B. Vor-Ort Besichtigungen, Fernwartungsverträge)

--- Versicherungen, Zählermieten, Reinigung, Rücklagen: 0,5 Prozent/a (z. B. Betreiberhaftpflicht, Zweirichtungszähler, Wechselrichtertausch)

In Summe können die laufenden Kosten daher mit 1,5 bis 2 Prozent der Investitionskosten pro Jahr angenommen werden. In die Wirtschaftlichkeitsrechnung sollten ebenfalls die Ausgaben für die reduzierte EEG-Umlage auf Eigenverbrauch mit einbezogen werden, die jedoch nicht direkt zu den laufenden Kosten zählen.

Beispiel

Für eine PV-Anlage mit einer Investitionssumme von 150.000 Euro ergeben sich Betriebskosten von zirka 1.500 Euro pro Jahr. Fernwartung und Vor-Ort-Prüfung können mit 750 Euro pro Jahr berücksichtigt werden. Um Ausgaben für Versicherungen, Reinigung und sonstige Rücklagen mit einzubeziehen, werden weitere 750 Euro pro Jahr angesetzt. Damit summieren sich die laufenden Kosten in diesem Beispiel auf 3.000 Euro pro Jahr. Werden 50.000 kWh des Solarstrom selbst genutzt, müssen zudem 1.350 Euro an reduzierter EEG-Umlage abgeführt werden.

8 Förderungen und Umsetzung



8.1. Förderungen

KfW-Kredit:

Über das KfW-Programm 270 „Erneuerbare Energien – Standard“ kann die Investition in eine PV-Anlage mithilfe eines Kredits finanziert werden. Weitere Informationen sind auf der [Webseite der KfW-Bank](#) zu finden.

progres.nrw – „Förderung von Beratungsleistungen zum Photovoltaik-Ausbau“:

Gefördert werden Machbarkeitsstudien, Wirtschaftlichkeitsanalysen, Vorplanungsstudien und Voruntersuchungen der Statik und Standsicherheit für die Errichtung von PV-Anlagen auf Gewerbeflächen.

progres.nrw – „Förderung von stationären elektrischen Batteriespeichern in Verbindung mit einer neu zu errichtenden Photovoltaik-Anlage“:

Gefördert wird die Installation eines neuen stationären elektrischen Batteriespeichers in Verbindung mit einer neu zu errichtenden PV-Anlage.

progres.nrw – „Emissionsarme Mobilität“:

Gefördert wird die Installation steuerbarer öffentlicher sowie nicht-öffentlicher Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge. Dabei gelten höhere Fördersätze, wenn die Ladeinfrastruktur in Verbindung mit einer neu zu errichtenden PV-Anlage installiert wird. Förderberechtigt sind unter anderem juristische Personen, Personengesellschaften, Gemeinden und kommunale Betriebe, sofern diese keine wirtschaftlichen Tätigkeiten im Sinne des europäischen Beihilfrechts ausüben.

Weitere Informationen zu der progres.nrw-Förderung sind auf der [Webseite der Bezirksregierung Arnsberg](#) zu finden.

Aktuelle Informationen zu möglichen Förderungen bietet auch das [Förder.Navi](#) von NRW.Energy4Climate.

8.2. Umsetzung

Ob eine PV-Anlage im Einzelfall möglich ist und ob sie auch wirtschaftlich betrieben werden kann, können professionelle Solarateur:innen am besten beurteilen. Vor der Auswahl eines/einer Solarateur:in kann es sich anbieten, zwei bis drei unterschiedliche Angebote einzuholen, um eine gewisse Vergleichbarkeit zu bekommen. Das Angebot des Fachbetriebs sollte sehr genau geprüft werden. Es sollte den Erwartungen und bisherigen Absprachen entsprechen. Die wesentlichen Komponenten (Solarmodule, Wechselrichter, Zähler, Netzanschluss, Kabel, Arbeitszeit) sollten benannt und detailliert beschrieben sein oder anhand beigefügter Datenblätter der Hersteller unter Angabe der Garantiebedingungen spezifiziert werden. Sämtliche Montage- und Fahrtkosten sollten ausgewiesen sein. Weiterhin ist auf die Zahlungs-, Liefer- und Geschäftsbedingungen zu achten.

Gegebenenfalls müssen Regelungen des Denkmal- oder Ensembleschutzes beachtet werden. Dies sollte unbedingt zuvor mit der zuständigen Denkmalbehörde geklärt werden. Näheres dazu regeln die Landesbauordnungen.

Gleichzeitig ist der Netzanschluss der PV-Anlage beim zuständigen Netzbetreiber anzumelden und von diesem zu bestätigen. Bei Anlagen über 30 kW_p wird eine Netzverträglichkeitsprüfung durchgeführt. Dazu sind vom Netzbetreiber geforderte Dokumente einzureichen, mit denen dieser prüft, ob die PV-Anlage in die lokal bestehende Netzinfrastruktur integriert werden kann. Eine Genehmigung kann dabei unter Auflagen erfolgen (z. B. Verkleinerung der Anlage, Zubau eines Transformators, Einrichtung eines Energiemanagements). Meist wird die Anmeldung beziehungsweise Prüfung bereits durch den/die Solarateur:in in die Wege geleitet. Der Netzbetreiber hat bis zu acht Wochen Zeit, den

Anschluss zu prüfen. Ohne Zustimmung des Netzbetreibers wird eine Anlage nicht angeschlossen.

Ist die Freigabe erfolgt, kann der Auftrag an eine/n Solarateur:in vergeben werden und der Bau kann nach Bestellung und Lieferung der Komponenten beginnen. Um die Berechtigung zum Bezug der Einspeisevergütung gemäß EEG zu erlangen, muss der Anlagenbetreiber die Anlage bei der Bundesnetzagentur zudem im Marktstammdatenregister anmelden.



Bildnachweise

Titel & Rückseite: iStock, lovelyday12
Inhalt & Seite 4: Adobe Stock, Alessandro2802
Inhalt & Seite 6: Adobe Stock, Naypong Studio
Seite 8 & 9: Adobe Stock, ABCDstock
Inhalt & Seite 10: Adobe Stock, ATKWORK888
Seite 12: Adobe Stock, Ines Porada
Inhalt & Seite 14: Adobe Stock, rawpixel.com
Seite 18: Adobe Stock, Calado
Inhalt & Seite 20: iStock, LariBat
Seite 23: Adobe Stock, digitalstock

Gestaltung

www.tippingpoints.de

Impressum

NRW.Energy4Climate GmbH
Kaistraße 5
40221 Düsseldorf
0211 822086-555
kontakt@energy4climate.nrw
www.energy4climate.nrw
(c) NRW.Energy4Climate
B22002

Stand
07/2022

