

Photovoltaik- anlagen

Technik, Eigenverbrauch und
Speicherung



LandSchaftEnergie

TEAM ENERGIEWENDE BAYERN



Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie

Bayerisches Staatsministerium für
Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus



C.A.R.M.E.N.



Photovoltaik- anlagen

Technik, Eigenverbrauch und Speicherung

Einleitung

Mit über 1.500 Sonnenstunden pro Jahr verfügt Deutschland über ein hohes Potenzial für die Stromerzeugung durch Photovoltaik (PV). Die Technologie trug 2024 mit ca. 72 Terrawattstunden etwa 14 Prozent zur öffentlichen Stromerzeugung Deutschlands bei. Allein im sonnenreichsten Monat Juli konnten über 10 TWh an Solarstrom erzeugt werden (Fraunhofer ISE 2025). Dennoch bestehen trotz des stark beschleunigten Zubaus der letzten Jahre noch große Potenziale zum Ausbau dieser Erzeugungsform.

Maßgeblich für den hohen Zubau sind die stark gesunkenen Investitionskosten für PV-Anlagen sowie gestiegene Verbraucherstrompreise. Inzwischen ist der spezifische Anlagenpreis so weit gesunken, dass die Erzeugungskosten für Solarstrom kleiner

Hausanlagen deutlich unterhalb des Bezugspreises für Haushaltsstrom liegen. Damit gewinnen, vor allem bei Neuinvestitionen in Photovoltaikanlagen, die Steigerung des Eigenverbrauchs und der Einsatz von Batteriespeichern an Bedeutung.

Technische Grundlagen

Das Kernstück einer Photovoltaikanlage stellt die Solarzelle dar. Dort wird die Strahlungsenergie der Sonne durch Nutzung des sogenannten Photoeffektes in elektrische Energie umgewandelt. Mehrere Solarzellen werden zu einem PV-Modul zusammengeschaltet. Die installierte Leistung eines PV-Moduls wird in Kilowatt-Peak (kWp) angegeben. Dabei handelt es sich um eine technische Kenngröße, die unter genormten Bedingungen ermittelt wird. Wie hoch die tatsächliche Ertragsfähigkeit einer PV-Anlage ist, ergibt sich vor allem aus dem

Anlagenstandort (d. h. der Höhe der Globalstrahlung vor Ort), der Ausrichtung und Neigung der Module (siehe Abbildung 1) sowie möglicher Verschattung. Durch technologische Fortschritte sind die Module widerstandsfähiger geworden und weisen einen langsameren Alterungsprozess als noch vor einigen Jahren auf. Heute werden auch bei privaten Anlagen vielfach unempfindliche Glas-Glas-Module verbaut. In der Regel wird ein Zeitraum von über 20 Jahren als übliche Nutzungsdauer für die Gesamtanlage angenommen, die Module können aber meist weit darüber hinaus für die Stromproduktion genutzt werden. Bei den heute eingesetzten Modulen kann im Allgemeinen von einer Lebensdauer von 30 Jahren und mehr ausgegangen werden. Die Hersteller geben für marktübliche Module häufig eine Leistungsgarantie von 80 % nach 20 Jahren.

		Nord									Ost/ West				Süd					
		180°	170°	160°	150°	140°	130°	120°	110°	100°	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
waagrecht	0°	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86
	10°	77	77	78	78	79	80	81	83	84	85	87	88	89	90	91	92	92	92	92
	20°	68	68	69	70	72	74	76	79	82	84	87	89	91	93	94	96	97	97	97
	30°	58	59	60	62	64	68	71	75	78	82	86	89	92	94	96	98	99	100	100
	40°	49	49	51	54	57	61	66	70	75	79	83	87	91	93	96	98	99	100	100
senkrecht	50°	40	41	43	46	51	56	61	66	71	75	80	84	88	91	94	96	97	98	98
	60°	32	33	36	40	45	50	55	60	65	70	75	79	83	87	89	92	93	94	94
	70°	26	28	30	34	39	44	49	54	60	65	69	73	77	81	83	85	87	88	88
	80°	22	23	25	29	33	38	43	48	53	58	62	66	70	73	75	77	78	79	79
	90°	18	19	21	24	28	32	36	41	46	50	54	58	61	64	66	67	68	69	69

Abb. 1: Prozentualer Jahres-Stromertrag einer Photovoltaikanlage im Vergleich zum Optimum (ca. 30 – 40° Neigung und direkte Südausrichtung)

Eine Photovoltaikanlage kann auf verschiedene Arten realisiert werden. Dabei stellen Freiflächenanlagen und Dachanlagen die am weitesten verbreiteten Anwendungen dar:

- Freiflächenanlagen
 - Feste Aufständerung
 - Nachführung mit automatisierter Ausrichtung an den Tagesverlauf der Sonne
- Dachanlagen
 - Aufdachmontage (dachparallel)
 - Aufständerung bei Flachdächern

Daneben existiert noch eine Vielzahl an Varianten und Sonderformen:

- Montage an Gebäudefassaden oder Schallschutzwänden
- In-Dach-PV: die Nutzung von dachintegrierten PV-Modulen oder PV-Dachziegeln
- Floating-PV: die schwimmende Installation auf stehenden Gewässern
- Agri-PV: die kombinierte Flächennutzung von Photovoltaik und Landwirtschaft

In aller Regel sind PV-Anlagen netzgekoppelt. Sie können entweder den gesamten erzeugten Strom in das öffentliche Stromnetz einspeisen („Volleinspeisung“) oder einen Teil des Stromes über die hauseigenen Leitungen nutzen und nur den Überschuss ins Netz einspeisen

(„Teileinspeisung“). In Ausnahmen oder speziellen Einsatzbereichen, wie etwa in Berghütten, findet man auch sogenannte Inselanlagen. Diese sind nicht an das öffentliche Stromnetz angeschlossen und oft mit Energiespeichern oder weiteren Energieerzeugern kombiniert.

Eine **netzgekoppelte PV-Anlage** besteht grundsätzlich aus dem Solargenerator (Zusammenschluss der PV-Module), mindestens einem Wechselrichter, dem Haus- und Netzanschluss sowie einem passenden Mess- und Zählersystem. Heute werden die meisten neuen privaten Dachanlagen mit einem Stromspeicher ausgestattet. Inzwischen üblich sind zudem Monitoring- und Energiemanagementsysteme. Mit diesen können die Betreibenden nicht nur den Ertrag und den Eigenverbrauch überwachen, sondern es können auch kompatible Verbraucher angesteuert werden. Das kann z. B. eine Wallbox sein, deren Ladeleistung in Abhängigkeit von

der Verfügbarkeit von Solarstrom geregelt wird.

Stromspeicher im Heimbereich

Die Stromerzeugung durch PV-Anlagen unterliegt, wie auch diejenige anderer Erneuerbarer-Energie-Anlagen, witterungsbedingten sowie tages- und jahreszeitlichen Schwankungen. Strom aus Sonnenenergie kann also nicht immer genau dann produziert werden, wenn er im Haushalt gebraucht wird. Umgekehrt kann es zu einem erhöhten Stromangebot bei gleichzeitig geringer Nachfrage kommen. Hier können Stromspeicher einen Ausgleich schaffen, indem sie Stromüberschüsse aufnehmen und diese bedarfsorientiert wieder abgeben.

Die **Nutz- oder Nettokapazität** eines Batteriespeichers wird in Kilowattstunden (kWh) angegeben. Sie beschreibt, welches Speichervermögen tatsächlich genutzt

Smarte Messtechnik

Im Zuge des sogenannten „Smart-Meter-Rollouts“ sollen alle konventionellen Stromzähler spätestens bis zum Jahr 2032 entweder durch digitale („moderne Messeinrichtung“) oder durch intelligente Stromzähler („intelligentes Messsystem“ / „Smart Meter“) ersetzt werden. Moderne Messeinrichtungen speichern tagesgenaue Stromverbrauchsdaten der vergangenen zwei Jahre. Intelligente Messsysteme hingegen erfassen die jeweils aktuelle Strombilanz im 15-Minuten-Takt und leiten diese an den Messstellenbetreiber weiter. Mit diesen Daten werden für die Stromabnehmenden variable Stromtarife möglich und die Netzbetreiber können langfristig Einfluss auf die Netzstabilität nehmen.

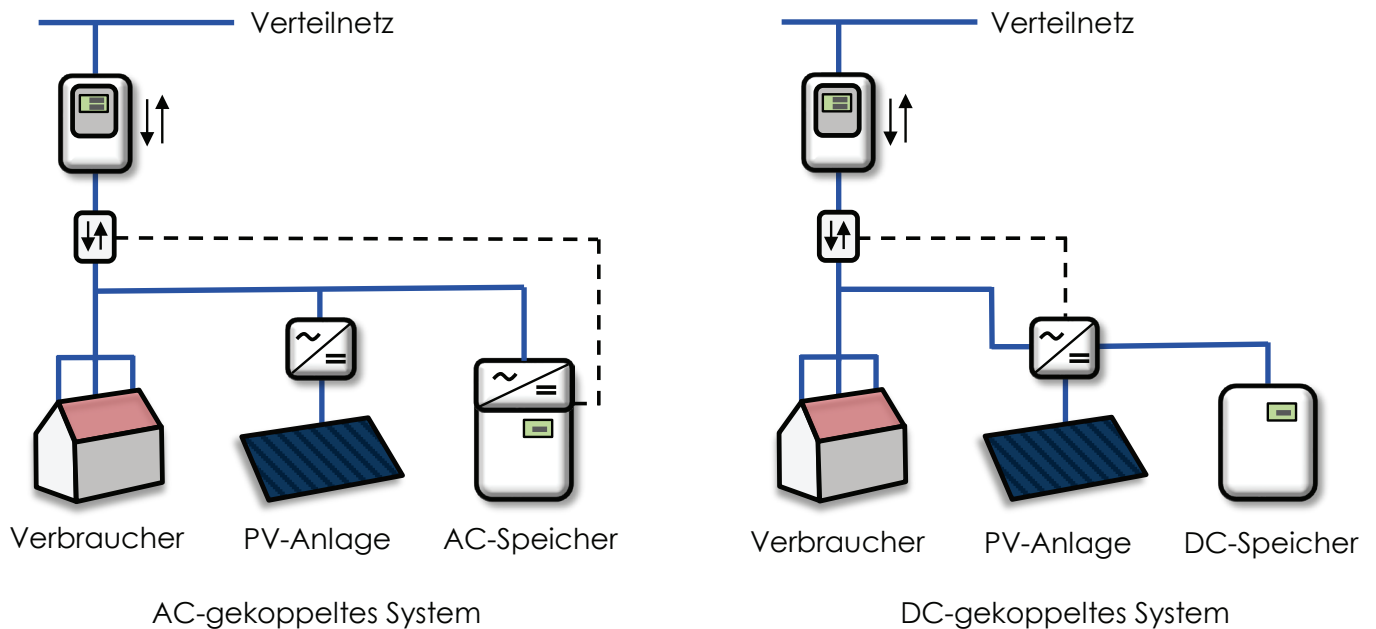


Abb. 2: AC- und DC-seitige Einbindung von Batteriespeichersystemen

werden kann, wenn die zulässige Entladetiefe und die Beladungsgrenze (in Abbildung 3 orange dargestellt) eingehalten werden.

Die Nennkapazität (Gesamtkapazität) beschreibt den maximal möglichen Energieinhalt des Speichers.

Batterietechnologien für Photovoltaikanlagen im Eigenheimbereich basieren derzeit größtenteils auf Lithium-Ionen-Technologie. Aufgrund der hohen Sicherheit kommen für Heimspeicheranwendungen heute meist sogenannte Lithium-Eisenphosphat-Speicher zum Einsatz. Daneben sind Speicher auf Basis unterschiedlicher technologischer Ansätze mit Blei, Natrium oder der

Redox-Flow-Technologie erhältlich.

Grundsätzlich können Batteriespeicher anhand ihrer Anbindung in den End- bzw. Erzeugerstromkreis klassifiziert werden (siehe Abbildung 2):

- **AC-gekoppelt:** Bei AC-gekoppelten Systemen erfolgt der Anschluss meist nach dem PV-Wechselrichter und damit auf Wechselstromseite. Hierzu ist ein separater Batterie-wechselrichter notwendig, der den Wechselstrom in Gleichstrom umwandelt. AC-Speicher eignen sich in der Regel besonders für die Nachrüstung an einer bestehenden PV-Anlage, da sie einfacher in die

bestehende Elektroinstallation eingebunden werden können.

- **DC-gekoppelt:** Bei DC-gekoppelten Systemen fungiert ein gemeinsamer Hybridwechselrichter sowohl als Wandler für die PV-Anlage als auch für den Speicher. Dadurch entfällt im Vergleich zu AC-gekoppelten Systemen der dort zusätzlich nötige Wandlungsschritt beim Einspeichern des Stroms. DC-Speicher bieten sich insbesondere für Neu-Installationen von PV-Anlagen an.

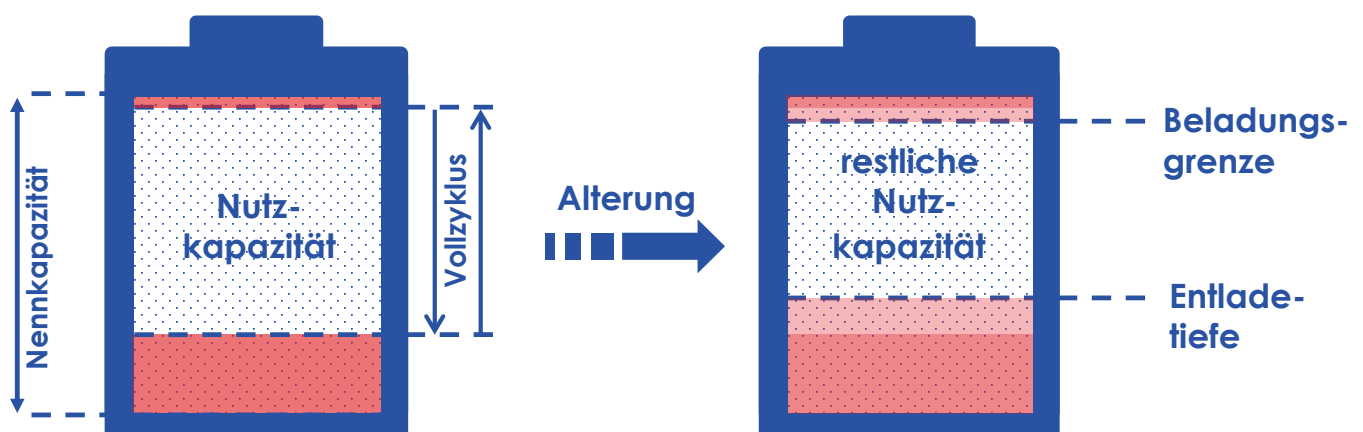


Abb. 3: Auswirkungen von Alterungseffekten auf die nutzbare Speicherkapazität von Batteriespeichern

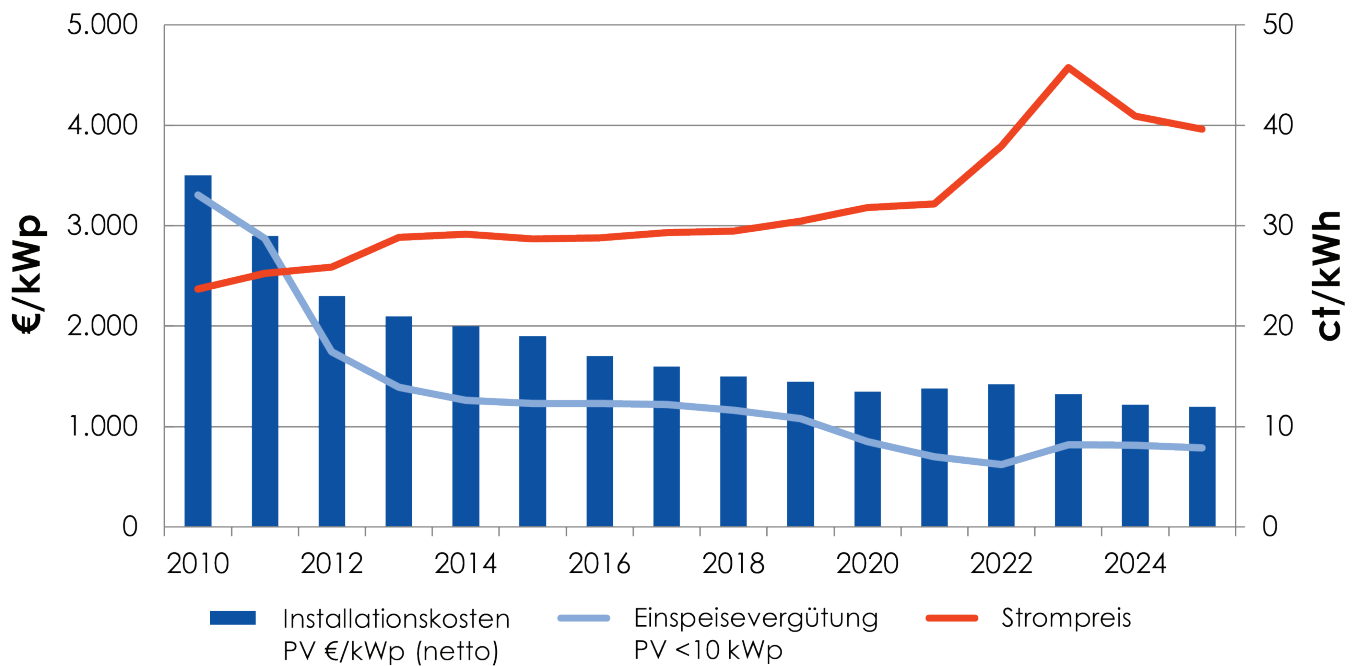


Abb. 4: Netto-Installationskosten für kleine Dach-PV-Anlagen (ohne Speichersystem), EEG-Einspeisevergütung für Dach-PV-Anlagen bis 10 kWp und Verbraucherstrompreis (inklusive Grundgebühr)

Wirtschaftlichkeit und Nutzung des erzeugten Stroms

Für Strom aus Photovoltaikanlagen, der in das öffentliche Netz eingespeist wird, können Anlagenbetreibende eine Förderung über das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) erhalten. Förderfähig sind Photovoltaikanlagen auf, an oder in baulichen Anlagen sowie Freiflächenanlagen in der EEG-Flächenkulisse. Die Art und Höhe der EEG-Vergütung ist unter anderem abhängig von der installierten Leistung der

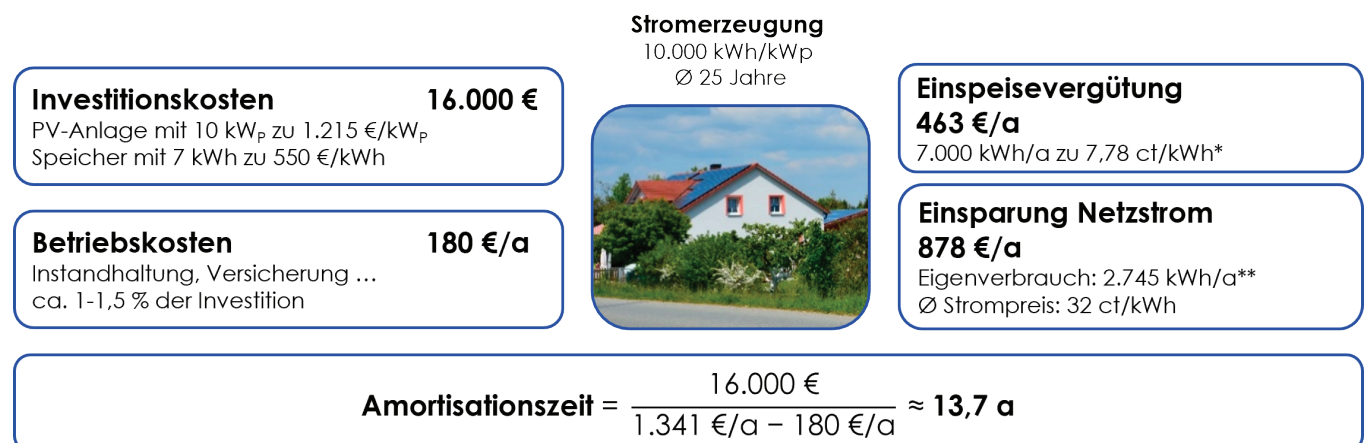
Photovoltaikanlage in Kilowatt-Peak (kWp):

- Bis 100 kWp: feste Einspeisevergütung
- Über 100 kWp bis 1 MWp: nach dem Marktprämienmodell geförderte Direktvermarktung der eingespeisten Strommenge
- Über 1 MWp: Ermittlung des anzulegenden Wertes durch die Teilnahme an einem Ausschreibungsverfahren der Bundesnetzagentur

Für private Dachanlagen ist die feste Einspeisevergütung von Bedeutung. Die individuelle Höhe der Vergütung hängt von der Größe der Anlage, deren Installationsort und dem Inbetriebnahmezeitpunkt ab.

Wirtschaftlichkeit Photovoltaik

Während die EEG-Einspeisevergütung in der Vergangenheit bei zeitweise über 40 Cent pro Kilowattstunde (ct/kWh) lag, beträgt die Festvergütung bei Eigenverbrauch derzeit etwa 6 bis 8 ct/kWh.



* Annahme: 15 % der Netzeinspeisung finden zu Zeiten negativer Strompreise statt.

** Speicherungsverluste berücksichtigt.

Abb. 5: Stark vereinfachte Wirtschaftlichkeitsberechnung einer Dach-PV-Anlage mit Stromspeicher für einen Haushalt mit 3.500 kWh Jahresstromverbrauch (Betrachtungszeitraum: 25 Jahre)

Wer für den Stromspeicher eine „**netzdienliche Betriebsweise**“ wählt, trägt zur Stabilität des Stromnetzes bei – ein immer wichtiger werdendes Thema der Energiewende. Bei der netzdienlichen Betriebsweise wird zu Zeiten der maximalen Einspeiseleistung der PV-Anlage, und somit auch zu Zeiten hoher Auslastung des Stromnetzes, Strom in den Speicher eingespeichert. Somit kann die sogenannte „PV-Spitze“ zu Mittagszeiten erheblich abgesenkt werden, was wiederum zur langfristigen Sicherung der Aufnahmefähigkeit des Netzes für PV-Strom beiträgt.

Trotzdem können PV-Anlagen auch weiterhin eine Investition mit guter Rendite sein, da die Installationskosten in den letzten 15 Jahren um etwa 75 Prozent gesunken sind. Abbildung 4 stellt die Kostenentwicklung für schlüsselfertige Dach-PV-Anlagen bis 10 kWp im Verlauf der letzten Jahre dar.

Der Stromertrag einer PV-Anlage hängt maßgeblich von der geographischen Lage und den örtlichen Gegebenheiten ab. Die durchschnittlichen Erträge pro Jahr liegen in Deutschland bei ungefähr 1.000 kWh pro kWp installierter Leistung (kWh/kWp). In Norddeutschland sind sie dabei mit rund 900 kWh/kWp niedriger als im Süden, wo unter optimalen Bedingungen bis etwa 1.200 kWh/kWp erzielt werden können. Den höchsten Jahresstromertrag erzeugen Module mit direkter Südausrichtung und ca. 30 bis 35° Neigung – also wenn ein Großteil der Sonnenstrahlen möglichst senkrecht auf die Moduloberfläche trifft.

Bei Satteldächern hängt in der Praxis die mögliche Ausrichtung der Module zwar von den vorhandenen Dachflächen ab, aber auch Dächer mit direkter Ost- oder West-Orientierung kommen für den wirtschaftlichen Betrieb einer PV-Aufdachanlage in Frage. Damit sinken zwar die Erträge insgesamt leicht, dafür steigt der Anteil in den Morgen- und Abendstunden, in denen der Stromverbrauch in Haushalten meist vergleichsweise hoch ist. Bei entsprechend geringer Dachneigung kann heute im Einzelfall sogar eine zusätzliche Belegung mit Modulen in nördlicher Orientierung in Frage kommen.

Um die Kosten einer PV-Anlage einschätzen zu können, stellt der

Anlagenkomplettpreis (inklusive Module, Anschlusskästen, Unterkonstruktion, Wechselrichter, Verkabelung, Anschluss, Transport, Gerüst, Montage, Inbetriebnahme und Einweisung) die ausschlaggebende Größe dar. Vergleichbar werden unterschiedliche Solarmodule und Komplettanlagen anhand der spezifischen Kosten in Euro (netto) pro kW installierter PV-Leistung (€/kWp).

Beispiel

In Abbildung 5 wird eine stark vereinfachte statische Amortisationsrechnung dargestellt (Installation der fiktiven Anlage mit Batteriespeicher im Februar 2026). Die Zahlen beruhen auf Durchschnittswerten.

Die beispielhaft dargestellte Anlage wäre nach 14 Jahren amortisiert und könnte während der verbleibenden EEG-Förderdauer etwa 1.300 Euro Einnahmen pro Jahr erwirtschaften. Unberücksichtigt bleiben bei dieser Betrachtung die Auswirkungen steigender Preise und Stromkosten sowie Kreditkosten für eine Finanzierung der Anlage. Aus steuerlicher Sicht sind die Einnahmen und Ersparnisse aus privaten Photovoltaikanlagen auf Wohngebäuden im Regelfall nicht

zu berücksichtigen, da diese sowohl von der Einkommenssteuer als auch von der Mehrwertsteuer befreit sind.

Stromspeicher

Die Kosten von Batteriespeichersystemen können vergleichbar gemacht werden, indem die Investitionskosten auf die Nutzkapazität bezogen werden. Der Preis variiert je nach eingesetzter Technologie und den individuellen Eigenschaften des Systems.

In den letzten Jahren sind die Kosten stark gesunken. Dennoch stellt die Investition in einen Batteriespeicher einen wesentlichen Kostenpunkt dar, der bei kleinen PV-Anlagen mehr als ein Viertel der Gesamtinvestition ausmachen kann. Um kleinere Speichersysteme im Sinne der Wissenschaftlichkeit eigenverbrauchsoptimiert auszulegen, empfiehlt sich als grober Richtwert folgende Faustformel: Pro 1.000 kWh Jahresstromverbrauch sollte der Speicher eine Kapazität bis ca. 1,5 kWh aufweisen. Zudem sollte die Speicherkapazität in kWh nicht wesentlich höher sein als die installierte Leistung in kWp. Ein überdimensionierter Speicher weist über das Jahr nur wenige Vollzyklen auf, sodass die spezifischen Kosten pro gespeicherte kWh hoch sind.

Anschaffung eines Batteriespeichersystems

Die Entscheidung, ob ein Batteriespeichersystem angeschafft wird, sollte auf Grundlage von mehreren Kostenvoranschlägen getroffen werden. Ebenso gilt es, die Finanzierung und mögliche Fördermittel vorab zu klären. Bei einer Inanspruchnahme von Fördermöglichkeiten muss in der Regel vor einer Auftragserteilung auf den Bewilligungsbescheid oder eine Zustimmung zum Maßnahmenbeginn gewartet werden.

Ausführliche Informationen zu den Kenngrößen von Speichersystemen finden Interessierte in der **C.A.R.M.E.N.-Marktübersicht Batteriespeicher** auf der C.A.R.M.E.N.-Homepage.

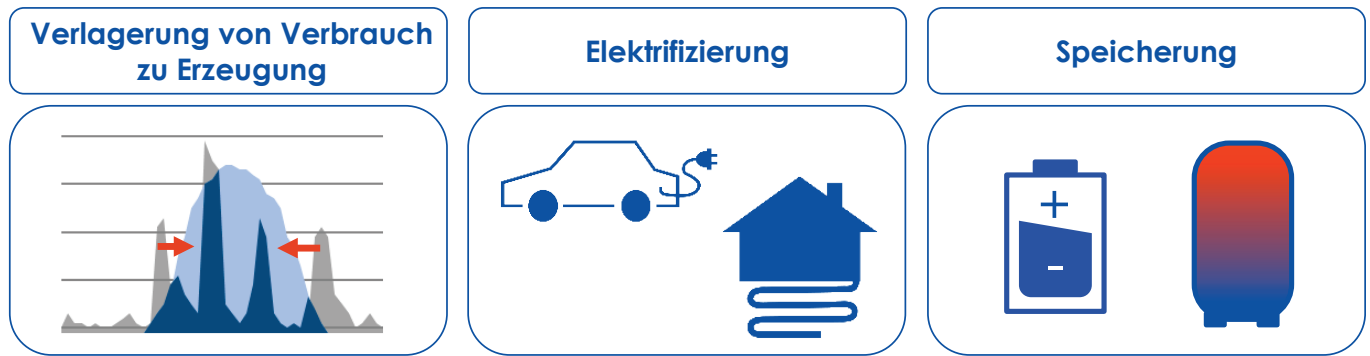


Abb. 6: Strategien zur Eigenverbrauchsoptimierung von PV-Strom

Um die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes eines Batteriespeichers zu beurteilen, müssen einige Faktoren berücksichtigt werden, wie etwa die voraussichtliche Lebensdauer des Speichers, die Betriebskosten, der Systemwirkungsgrad, die Entladetiefe, die Anzahl der Vollzyklen pro Jahr sowie der Strombezugspreis.

Manche Aspekte eines Batteriespeichers lassen sich schwer in eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einbeziehen. So kann beispielsweise im Falle eines Stromausfalles ein Batteriespeicher mit Notstromfunktion die elektrische Versorgung im Haus aufrechterhalten. Bei PV-Anlagen, die wie oben beschrieben als Inselssysteme ausgeführt sind, verhelfen Batteriespeicher zu einer deutlichen Erweiterung der Zeit, in der Strom zur Verfügung steht.

Eigenverbrauchsoptimierung

Neben dem Be- und Entladen von

Batteriespeichern gibt es im Heimbereich weitere Möglichkeiten, um eine Erhöhung des Eigenverbrauchs des erzeugten PV-Stroms zu erreichen:

Durch den Einsatz von Energiemanagementsystemen (EMS) können die Einschaltzeiten von elektrischen Geräten mit der Produktion von Solarstrom zusammengebracht werden. EMS erfassen die Stromerzeugung der PV-Anlage sowie den Stromverbrauch im Haushalt und erkennen so, wann Überschüsse aus der Anlage vorhanden sind. Über die Visualisierung wird diese Information an die Anlagenbetreiber übermittelt und diese können gezielt Verbraucher zur Erhöhung des Eigenverbrauchs zuschalten (z. B. Waschmaschine, Spülmaschine etc.). Bestimmte kompatible Geräte können in ein EMS eingebunden werden, sodass diese automatisch eingeschaltet bzw. geregelt werden.

den. Ein mögliches Beispiel hierfür ist eine Wallbox, deren Ladeleistung durch das EMS dynamisch den Stromüberschüssen aus der PV-Anlage angepasst wird.

Aus wirtschaftlichen Gründen kann es interessant sein, selbst produzierten Photovoltaikstrom für die Erzeugung von Wärme einzusetzen. Dieser Prozess wird als **Power-to-Heat (PtH)** bezeichnet und die damit einhergehende Verbindung von Strom- und Wärmeerzeugung als Sektorenkopplung.

- Eine einfache Möglichkeit besteht darin, einen Heizstab in den bestehenden Brauchwasserspeicher einzuschrauben (entsprechende Muffen sind häufig vorhanden). Ein regelbarer Heizstab ermöglicht es, die Leistungsaufnahme abhängig von der Stromlieferung durch die PV-Anlage zu variieren.

Heizstab Zusatzheizung im Brauchwasserspeicher – häufig nachrüstbar Primärer Wärmeerzeuger wird insbesondere im Sommer entlastet	~1:1
~ 3:1	Brauchwasser-Wärmepumpe Innenstehende Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Nutzung der Raumluft Brauchwasserspeicher ca. 200 – 300 l
Heizungs-Wärmepumpe Ansteuerung über EMS, Smart Meter oder Relais am Wechselrichter Wärmequellen: insbesondere Außenluft, Grundwasser, Erdreich, Abwärme	~ 3-5:1

Abb. 7: Möglichkeiten zur Wärmebereitstellung und das Verhältnis von Nutzwärme zu eingesetztem PV-Strom

Häufigkeit	Maßnahme
Täglich	Kontrolle der Betriebsanzeigen auf Fehlermeldungen
Monatlich	Erfassung der Zählerstände und Vergleich der Erträge zum Vormonats bzw. Vorjahreswert zur frühzeitigen Erkennung von aufgetretenen Fehlern
Monatlich/ mehrmals im Jahr/ nach starken Wetterereignissen	Sichtkontrolle aller Anlagenkomponenten auf offensichtliche Mängel wie lose Kabel, Schäden an der Kabelisolierung, Glasbruch oder Rahmenschäden am Modul
Spätestens alle 4 Jahre	Überprüfung der Gesamtanlage, z. B. über Isolationsprüfung, Strangprüfung, Kennlinienmessung und Thermografie

Tab. 1: Wartungsarbeiten an PV-Anlagen

- Eine weitaus effizientere Variante der PtH-Anwendung im Eigenheim stellt die Kombination einer PV-Anlage mit einer Wärmepumpe dar. Dadurch kann hochwertige elektrische Energie genutzt werden, um ein Mehrfaches an Umweltwärme aus Luft, Erde oder Grundwasser bereitzustellen.
- Um die Kommunikation zwischen der PV-Anlage und der Wärmepumpenheizung zu ermöglichen, statten viele Hersteller die Wärmepumpen mit einer Smart-Grid-Ready-Funktionalität („SG-ready“) aus.

Wenn neben einer PV-Anlage auch ein **Elektrofahrzeug** im Haushalt vorhanden ist, kann PV-Strom direkt in den Speicher des E-Mobils fließen, anstatt in das öffentliche Netz eingespeist zu werden.

Je nachdem, wann das Fahrzeug mit der PV-Anlage verbunden werden kann und wie hoch die Fahrleistung ist, reichen die im E-Mobil gespeicherten Solarstrommengen für den Alltagsbetrieb komplett aus.

Gegebenenfalls kann das Laden des Fahrzeugs auch zum Wochenende hin verschoben werden. Für eine jährliche Fahrleistung von 10.000 km wird eine Energiemenge von 1.500 bis 2.000 kWh benötigt. In Zukunft wird es auch praxisnahe Anwendungen geben, die Batterie von Elektroautos mittels sogenannter bidirektionaler An-

bindung als Stromspeicher für die Stromversorgung des Hauses oder zur Einspeisung in das Stromnetz (Vehicle to Home bzw. Vehicle to Grid) zu nutzen.

Betrieb der Photovoltaikanlage

Während die Anlage und deren Installation einen erheblichen Investitionsaufwand darstellen, verursacht der laufende Betrieb einen relativ geringen Aufwand. Allerdings können Verschattungen, Verschmutzungen und Defekte der Anlage zu erheblichen Stromertragseinbußen führen. Nach Möglichkeit sollten deshalb regelmäßige Wartungen sowie nach Bedarf Reinigungen und Instandhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden.

Reinigung

Verschmutzungen auf Photovoltaikanlagen entstehen durch:

- Blätter, Baumnadeln oder Blütenpollen,
- Schmutzpartikel aus der Luft,
- Vogelkot, der außerdem die Moduloberfläche angreifen kann, sowie
- Moose oder Flechten.

Grundsätzlich tritt bei ausreichend geneigten Modulen durch die Witterung ein gewisser Selbstreinigungseffekt ein. Leichte Verschmutzungen werden durch Regen und Schnee von den Solarmodulen weggespült. Sollte die Selbstreinigung allerdings

nicht wie gewünscht eintreten, müssen die Verschmutzungen durch eine manuelle Reinigung entfernt werden. Der Reinigungsaufwand sollte dabei gegen die beobachtete Ertragsminderung abgewogen werden.

Eine sachgerechte Reinigung sollte mit entkalktem, temperiertem Wasser, einer weichen Bürste und am besten ohne den Einsatz von Reinigungsmitteln erfolgen. Generell empfiehlt es sich, für die Solarmodulreinigung einen Fachbetrieb zu Rate zu ziehen. So verhindert man potenzielle Modulbeschädigungen und mindert die Unfallgefahr bei der Reinigung.

Wartung und Instandhaltung

Um über die lange Lebensdauer der PV-Module hinweg den bestmöglichen Stromertrag zu erzielen, aber auch, um die Betriebssicherheit der gesamten Anlage zu gewährleisten und den Versicherungsschutz nicht zu riskieren, sind darüber hinaus Wartungen und Instandhaltungen unerlässlich. Während kleinere Kontrollen auch von den Anlagenbetreibern selbst durchgeführt werden können, muss für die Prüfung der Gesamtanlage und Beseitigung elektrischer Mängel eine Fachkraft hinzugezogen werden. Alternativ kann die gesamte Wartung und Instandhaltung inklusive Fernüberwachung an einen Fachbetrieb vergeben werden.

Ausgeförderte Anlagen: Weiterbetrieb, Rückbau und Recycling

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) räumt Strom aus regenerativen Energiequellen und somit auch aus PV-Anlagen gegenüber konventionellem Strom einen Vorrang bei der Einspeisung in das öffentliche Stromnetz ein. Außerdem erhalten PV-Anlagen über einen Zeitraum von 20 Jahren (zuzüglich des restlichen Inbetriebnahmejahres) für den eingespeisten Strom eine feste Vergütung. Nach diesem Zeitraum handelt es sich bei diesen ausgeförderten Anlagen weiter um Anlagen im Sinne des EEGs mit einhergehenden Rechten und Pflichten. Es existiert jedoch eine Anschlussregelung für ausgeförderte Anlagen bis 100 kWp. Nach dem Auslaufen der EEG-Förderung empfiehlt es sich, den Zustand der PV-Anlage dahingehend zu erfassen und zu bewerten, ob die Anlage aus technischer Sicht noch für mehrere Jahre sinnvoll weiter betrieben werden kann. Kostenintensive Reparaturen lassen einen weiteren wirtschaftlichen Betrieb häufig nicht zu. Betriebskosten wie etwa Versicherungs- und Zählergebühren sowie mögliche Umrüstkosten sind ebenfalls in diese Überlegungen miteinzubeziehen.

Eine Möglichkeit für den Weiterbetrieb ist, den gesamten erzeugten Strom weiterhin in das öffentliche Stromnetz einzuspeisen. Die Anlagenbetreibenden erhalten dafür die sogenannte „Anschlussvergütung“ für ausgeförderte Anlagen. Die Vergütungshöhe wird in Abhängigkeit von den Börsenstrompreisen jährlich neu bestimmt und lag im Jahr 2025 bei 4,15 ct/kWh. Diese Regelung ist vorerst bis Ende 2032 begrenzt. PV-Anlagen gehen nach Ablauf des 20-jährigen EEG-Förderzeitraums automatisch in diese Anschlussvariante über, sollten die Anlagenbetreibenden keine gegenteilige Meldung beim Netzbetreiber einreichen.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, eine ausgeförderte Volleinspeisungs-Anlage in eine Eigenverbrauchsanlage umzurüsten. Für den in das Netz eingespeisten Überschussstrom erhalten die Anlagenbetreibenden die Anschlussvergütung. Zu beachten ist, dass bei der Umstellung auf Eigenverbrauch Umrüstkosten zu erwarten sind. Ist die elektrische Anlage des Hauses schon älter, muss gegebenenfalls ein Überspannungsschutz eingebaut oder der Sicherungskasten getauscht werden. Hier sollten die Umrüstkosten mit den zu erwartenden Einsparungen durch vermiedene

ne Strombezugskosten verglichen werden. Abbildung 8 gibt einen Überblick, wie der Weiterbetrieb von ausgeförderten Anlagen umgesetzt werden kann.

Soll von der Anschlussvergütung nicht Gebrauch gemacht werden, kann der Strom auch an ein Direktvermarktungsunternehmen verkauft werden, welches den Strom anschließend vermarktet. Hierbei sind Umrüst- und Vermarktungskosten zu beachten.

Eine weitere Möglichkeit zur Stromnutzung ohne EEG-Vergütung ist die Direktlieferung an Dritte, bei der ein individueller Strompreis ausgehandelt wird und der Strom nur über eigene Leitungen geleitet wird. In diesem Fall müssen keine Netzentgelte oder netznutzungsabhängige Umlagen für den gelieferten PV-Strom gezahlt werden. Ein Beispiel für ein solches Lieferverhältnis sind Mieterstromkonzepte, bei denen die Anlagenbetreibenden Mietparteien mit Strom versorgen. Man sollte beachten, dass die Belieferung von Letztverbrauchenden verschiedene energierechtliche Aufgaben und Pflichten mit sich bringt (z. B. §§ 40 - 42 EnWG).

Sollte ein Weiterbetrieb der PV-Anlage wirtschaftlich uninteressant oder aus technischen Gründen

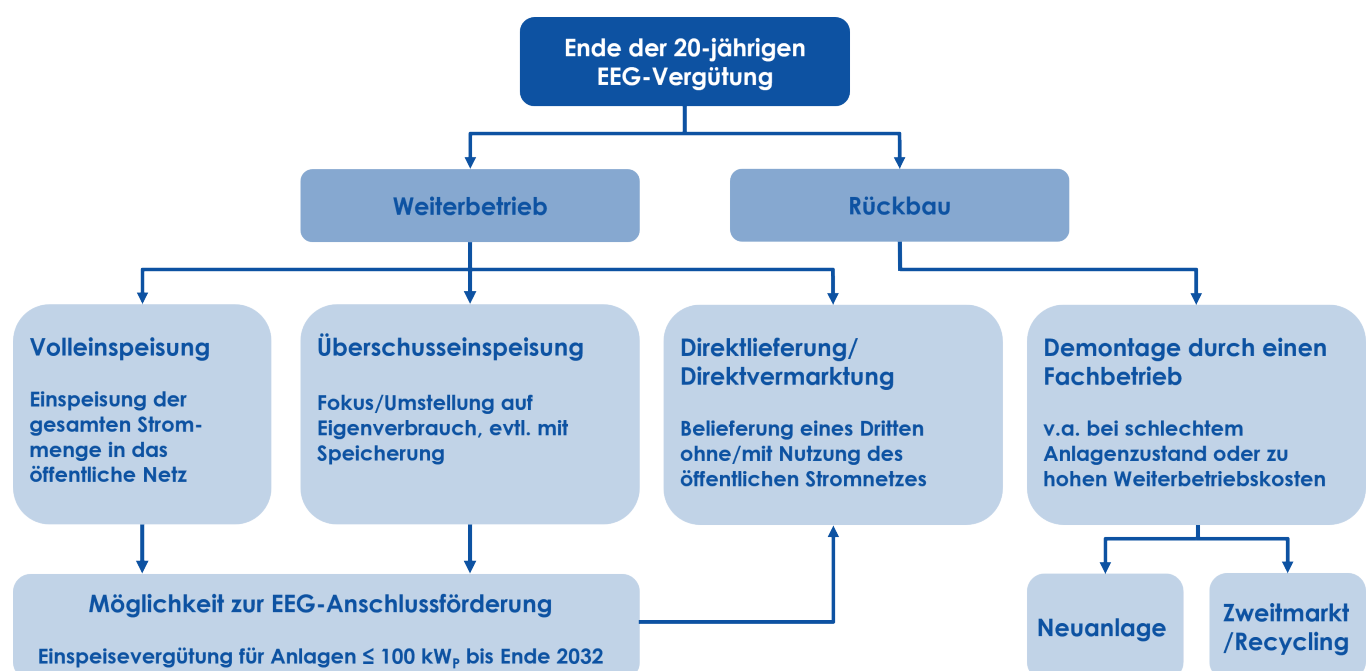


Abb. 8: Überblick über Möglichkeiten für ausgeförderte Anlagen

nicht möglich sein, ist die Demontage durch einen Fachbetrieb eine Option. Die Anlage sollte dann entweder dem Recycling oder dem Zweitmarkt zugeführt werden. Die nun freigewordene Fläche kann (nach vorheriger Überprüfung des Dachzustands) für eine neue PV-Anlage genutzt werden. Aufgrund der technischen Weiterentwicklung ist es möglich, bei gleicher Dachfläche eine Anlage mit signifikant höherer Leistung zu deutlich geringeren Kosten zu realisieren. Mit einer Neuanlage kann erneut eine 20-jährige EEG-Einspeisevergütung in Anspruch genommen werden.

Für Photovoltaikanlagen existieren mittlerweile diverse **Zweitmarkt-Plattformen**, über die noch funktionsfähige Anlagen bzw. PV-Module unkompliziert verkauft werden können. Der Zweitmarkt bietet PV-Anlagenbetreibern die Möglichkeit, z. B. bei Defekten oder Diebstahl ältere Modultypen oder nicht mehr lieferbare Module zu ersetzen.

Recycling von PV-Modulen

Ist die Anlage nicht für einen Weiterbetrieb oder den Zweitmarkt geeignet, muss sie fachgerecht entsorgt werden. Die Pflicht zu einer sachgerechten Entsorgung von Modulen liegt laut der europäischen Richtlinie zur Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten, kurz WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment), bei den Herstellern und Importeuren. Vorgeschrieben ist allerdings nicht die Abholung bei den Endkunden, wodurch diese für die Demontage der Anlage und die Anlieferung der Module an Sammelstellen, z. B. an Wertstoffhöfen, zuständig sind. Die Entsorgung erfolgt nach den Vorgaben des Elektrogesetzes (Gesetz über das Inver-

kehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten). Ausgediente PV-Module können in haushaltsüblichen Mengen kostenfrei an geeigneten Sammelstellen abgegeben werden. Eine solche Sammelstelle kann über den Handel oder den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger in Erfahrung gebracht werden. Alle PV-Modulhersteller müssen ihre Produkte mittlerweile vor Inverkehrbringen bei der Stiftung „ear“ (Stiftung Elektro-Altgeräte Register) registrieren und eine insolvenz sichere Garantie für die Entsorgung leisten.

Durch **Recycling von PV-Modulen** können wertvolle Materialien zurückgewonnen werden, was zur Schonung der teils knappen Ressourcen beiträgt.

Die Masse eines PV-Moduls wird maßgeblich durch das verwendete Glas bestimmt. Je nach Modultyp ergibt sich ein Glas-Anteil von 65 bis 95 Prozent, ein Aluminium-Anteil von 10 bis 12 Prozent, der Silizium-Anteil beträgt typischerweise 3 bis 4 Prozent und etwa 1 bis 11 Prozent sind Kunststoffe. Zu etwa einem Prozent findet man noch weitere Materialien wie Gold, Blei, Silber und Kupfer.

Der Recyclingprozess besteht im Wesentlichen aus drei Schritten:

- Schreddern und Brechen,
- Leichtstofftrennung sowie
- Metallsortierung.

Kunststoffteile, Kabelisolierung und Folien werden thermisch verwertet. Die weiteren Fraktionen wie Glas, Silizium, Kupfer und Aluminium können als Rezyklate zurückgewonnen und wiederverwendet werden.

Mit den derzeit zunehmenden Mengen an Altmodulen steigt der Bedarf an Lösungen für effiziente Recyclingmethoden. Technologische Innovationen zielen darauf ab, die Rückgewinnungsraten wertvoller Materialien weiter zu erhöhen und die Prozesse wirtschaftlicher zu gestalten.

Fazit und Ausblick

Strom als Energieträger spielt eine zunehmend zentrale Rolle in unserem Energiesystem. Aufgrund seiner Flexibilität bietet er in vielen Bereichen die Möglichkeit zum Umstieg auf Erneuerbare Energien. Auch für die Wärme und Mobilität im privaten Umfeld nimmt die Bedeutung zu, was trotz steigender Energieeffizienz zu einem anwachsendem Bedarf an elektrischer Energie führen wird. Mit der eigenen Photovoltaikanlage ist bereits ein wesentlicher Schritt für die private Energiewende geschafft, während zugleich die Stromkosten nachhaltig reduziert werden.

Die Eigenstromversorgung kann durch den Einsatz von geeigneten Speichermöglichkeiten und intelligenten Heimenenergiemanagementsystemen noch gesteigert und optimiert werden. Bereits heute existieren wirtschaftlich und ökologisch tragfähige Lösungen in diesen Bereichen. Zugleich bleiben die Entwicklungen weiterhin dynamisch. Durch technische Neuerungen (z. B. neue Zellchemien) und die Erweiterung der Einsatzbereiche (z. B. Kombination mit dynamischen Stromtarifen oder bidirektionales Laden) nehmen sowohl die Möglichkeiten zur Eigenstromversorgung als auch für netzdienliche Anwendungen zu.

Quellen

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2020): Häufig gestellte Fragen rund um Smart Meter. Abrufbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/FAQ/Smart-Meter/faq-smart-meter.html> (letzter Abruf 09.11.2020).

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW) (2024): BDEW-Strompreisanalyse Juli 2024. Abrufbar unter: <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/bdew-strompreisanalyse/> (letzter Abruf: 20.09.2024).

Bundesverband Solarwirtschaft e.V. (BSW-Solar) (2016): Photovoltaik-Preismonitor Deutschland. Abrufbar unter: <https://www.solarwirtschaft.de/presse/marktdaten/> (letzter Abruf: 09.11.2020).

Deutscher Wetterdienst (o. J.): Globalstrahlungskarten, Monats- und Jahressummen. Abrufbar unter: https://www.dwd.de/DE/leistungen/solarenergie/lstrahlungskarten_su.html (letzter Abruf: 09.11.2020).

Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2023: Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.

Fraunhofer ISE (2024): Öffentliche Stromerzeugung 2024: Deutscher Strommix so sauber wie nie. Abrufbar unter: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2025/oeffentliche-stromerzeugung-2024-deutscher-strommix-so-sauber-wie-nie.html> (letzter Abruf: 31.03.2025).



Über uns

C.A.R.M.E.N. e.V. – das Centrale Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk – ist die bayerische Koordinierungsstelle für Nachwachsende Rohstoffe, Erneuerbare Energien und nachhaltige Ressourcennutzung.

C.A.R.M.E.N. e.V. bündelt Informationen und bietet kostenfreie, neutrale Beratung für alle Interessengruppen. Das Netzwerk ist Teil des Kompetenzzentrums für Nachwachsende Rohstoffe (KoNaRo) in Straubing.



Unsere Themen



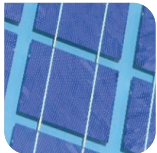
Holzenergie & Wärmenetze

Holzbrennstoffe, Holzheizungen, Biomasseheizwerke, Holzvergasungsanlagen, Wärmenetze



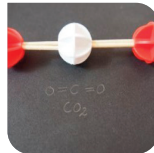
Stoffliche Nutzung

Nachhaltig Bauen, Biowerkstoffe, Nachhaltige Beschaffung, Industriepflanzen



Erneuerbare Energien

Energiespeicher, Photovoltaik, Solarthermie, Umweltwärme, Windenergie



Erneuerbarer Kohlenstoff

CCU, Bioraffinerie, Alternative Recyclingtechnologien, ressourceneffizienter Straßen- und Wegebau



Biogas

Einsatzstoffe, Wirtschaftlichkeit, Ausschreibungen, Technik



Nachhaltigkeit

Nachhaltige Entwicklung, Klimaschutz, Kreislaufwirtschaft, Zertifizierung, Nachhaltigkeit im Unternehmen



Mobilität

Elektromobilität, Alternative Kraftstoffe, Nachhaltige Mobilität



Akzeptanzmanagement

Bioökonomie
Energieeffizienz
Energieeinsparung

Unser Service

- **Beratung:**
Privatpersonen, Kommunen und Verwaltungen, Unternehmen, land- und forstwirtschaftliche Betriebe, Akteursgruppen im ländlichen Raum, fachlich oder inhaltlich Interessierte
- **Informationstransfer:**
Publikationen, Vorträge, Fachveranstaltungen, Exkursionen, Messen, umfangreiche Website, Social Media
- **Vernetzung:**
Mitarbeit in Verbänden, Vernetzen von Forschung, Wirtschaft, Politik und Anwendenden, Stakeholder-Dialoge
- **Projekte:**
Begutachtung, Betreuung und Koordination, Evaluierung, Durchführung eigener Vorhaben, Mitwirkung an Projekten Dritter

Impressum

Herausgeber: C.A.R.M.E.N. e.V.
Centrales Agrar-Rohstoff
Marketing- und Energie-Netzwerk
Schulgasse 18 · 94315 Straubing
Tel.: 09421 960 300 · Fax -333
E-Mail: contact@carmen-ev.de
Internet: www.carmen-ev.de
V.i.S.d.P.: Edmund Langer
Text und Konzeption:
C.A.R.M.E.N. e.V.
Bildnachweis: C.A.R.M.E.N. e.V.
Stand: Februar 2026



C.A.R.M.E.N.