

Planung und Auslegung des Systems PV-Anlage, Wärmepumpe und Speicherung

Einleitung

Dieses Informationsblatt liefert Planern, Architekten und Installateuren eine erste Auslegungshilfe zur Planung und Auslegung eines Systems aus Photovoltaik-Anlage, Wärmepumpe und Speicher für Ein- und Zweifamilienhäuser. Betrachtet werden Wärmepumpenheizungsanlagen zum Heizen, Kühlen und zur Brauchwasserbereitung und Brauchwasserwärmepumpen in Kombination mit einer PV-Anlage bis 10 kWp im Netzparallelbetrieb.

Die Attraktivität eines Systems aus Photovoltaik, elektrischer Wärmepumpe und eines thermischen Speichers und/oder eines Stromspeichers wird durch zahlreiche Faktoren gefördert:

- Die über das EEG in Deutschland seit dem Jahr 2000 festgelegte Einspeisevergütung für Erträge aus Photovoltaikanlagen sinkt sukzessive immer weiter ab.
- Es ergibt sich eine bessere Wirtschaftlichkeit, den selbst erzeugten PV-Strom durch Eigennutzung zu verbrauchen, anstatt Strom über den Energieversorger zu beziehen.
- Der Auslauf der ersten geförderten Anlagen aus dem gesetzlichen Vergütungszeitraum von 20 Jahren erfolgt ab 31.12.2020.
- Die Kosten für PV-Anlage und Batteriespeicher sind in den letzten Jahren gesunken.
- Die politisch geforderte Umstellung der Wärmeversorgung in Deutschland auf erneuerbare Energien führt zu einem vermehrten Einsatz von Strom im Wärmemarkt.

Begriffe

Autarkiegrad

- Der Autarkiegrad zeigt den Anteil der Selbstversorgung auf, mit dem sich ein Haushalt aus der eigenen PV-Anlage mit Strom versorgen kann. Die zusätzlich benötigte Energie wird aus dem Stromnetz bezogen.

Eigenverbrauchsquote/Deckungsanteil

- Die Eigenverbrauchsquote beschreibt den Anteil des selbst genutzten Stroms an der Eigenstromerzeugung. Die restliche erzeugte Energie wird in der Regel in das Stromnetz eingespeist.

Messkonzept

- Die Messkonzepte sind vom Energieversorger wählbare Verschaltungsschemen, welche je nach Nutzungsart (Einbindung von Stromerzeugeranlagen, Batteriespeichern und gesteuerten oder ungesteuerten Verbrauchseinrichtungen) unterschiedliche Stromtarife ermöglichen können.

Ordnungsrechtliche Rahmenbedingungen

EnEV im Neubau

Die Energieeinsparverordnung, kurz EnEV, regelt seit 2002, wie viel Heizenergie ein neu errichtetes Gebäude maximal verbrauchen darf. Der geltende EnEV-Standard ist zudem die Richtmarke, an der sich die Effizienzstandards der KfW-Bankengruppe („KfW-Effizienzhaus“) für Neubauten und umfassend sanierte Altbauten orientieren. Ein zeitgemäßer Effizienzstandard garantiert langfristig den Werterhalt einer Immobilie.

Durch die schrittweise Verschärfung der primärenergetischen Anforderungen der Energieeinsparverordnung seitens des Gesetzgebers soll der Weg für den ab 2021 EU-weit vorgeschriebenen „Niedrigstenergiestandard“ geebnet werden. Zum 1. Januar 2016

BDH
Bundesverband der
Deutschen Heizungsindustrie

bwp | Bundesverband
Wärmepumpe e.V.

Bundesverband der
Deutschen Heizungsindustrie e. V.
Frankfurter Straße 720–726
51145 Köln
Tel.: (0 22 03) 9 35 93-0
Fax: (0 22 03) 9 35 93-22
E-Mail: Info@bdh-koeln.de
Internet: www.bdh-koeln.de

wurden die primärenergetischen Anforderungen der EnEV pauschal um 25 % verschärft, wurde der Transmissionswärmeverlust der Gebäudehülle um ca. 20 % reduziert und der Primärenergiefaktor für Strom von 2,4 auf 1,8 gesenkt.

Betrachtung eines Systems aus Wärmepumpe, PV-Anlage und Batteriespeicher

Auch der Gesetzesgeber hat die Potenziale des Systems für die Energiewende erkannt und in den Regularien für die EnEV und KfW-Betrachtung berücksichtigt.

Demnach darf der eigenerzeugte Strom aus erneuerbaren Energien von dem nach § 3 und § 4 (EnEV 2014) berechneten Endenergiebedarf abgezogen werden, wenn sichergestellt ist, dass die Erzeugung (in diesem Fall durch die Photovoltaikanlage) in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Gebäude steht und vorrangig in diesem Gebäude unmittelbar oder über eine vorübergehende Speicherung selbst genutzt wird und nur der Überschuss in ein öffentliches Netz eingespeist wird.

Nähere Informationen bezüglich der KfW-Förderung können den aktuellen KfW-Programmen 151, 430 und 153 entnommen werden.

Gebäudeenergieausweis in Neubau / Bestand

Nach der Energieeinsparverordnung (EnEV) müssen Vermieter und Verkäufer seit dem 1. Mai 2014 verschiedene energetische Kenndaten aus dem Gebäudeenergieausweis angeben. Eine Einflussgröße ist der Energieverbrauch der Heizungsanlage.

Die Einbindung einer Wärmepumpe zeigt einen positiven Effekt auf die Energieeffizienzklasse des Gebäudes. Weil Wärmepumpen den Energieverbrauch älterer Gebäude mit verhältnismäßig wenig Aufwand signifikant senken, hebt der Umstieg auf erneuerbare Umweltenergie das Haus auch ohne eine aufwendige energetische (Voll-)Sanierung in eine zeitgemäße Energieeffizienzklasse und sichert so den Wert der Immobilie.

Anforderung an die Messtechnik

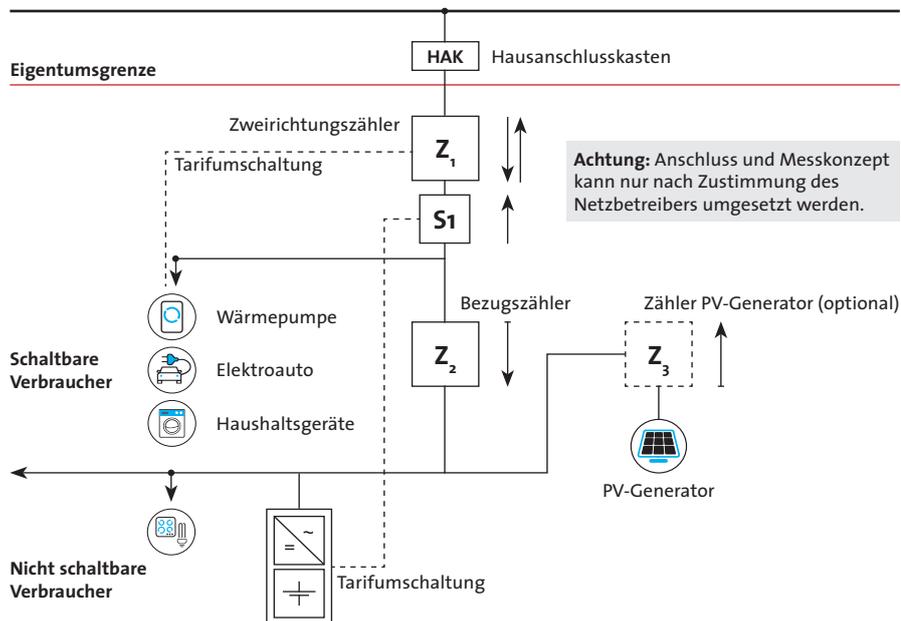
Zählerkonfiguration

Da es in der heutigen Zeit für Anlagenbetreiber immer interessanter wird, den selbst erzeugten Strom zum Teil im eigenen Haus zu verbrauchen, steigt somit auch die Anforderung an die Zählertechnik. Wo früher noch Bezugszähler ausreichend waren, benötigt man heute zumindest einen Zweirichtungszähler, der nicht nur den Bezug aus dem Stromnetz, sondern auch die Einspeisung misst.

Anspruchsvoll ist die Einspeisung in ein dreiphasiges Hausnetz aus einem einphasigen Wechselrichter. In diesem Fall erfolgt die Einspeisung des erzeugten Solarstroms immer nur auf die angeschlossenen Phasen. Die Verbraucher im Haushalt greifen jedoch alle drei Phasen ab. Daher müssen in solche Anlagen saldierende Zähler eingesetzt werden. Sie verrechnen den Betrag des gesamten erzeugten Stroms im Haushalt mit dem gesamten Netzbezug unabhängig von den einzelnen Phasen. Saldierende Zähler betrachten nicht jede einzelne Phase, sondern das Gesamtsystem. Diese Variante der Zählertechnik ist bereits in den meisten Haushalten als Standard gesetzt und installiert.

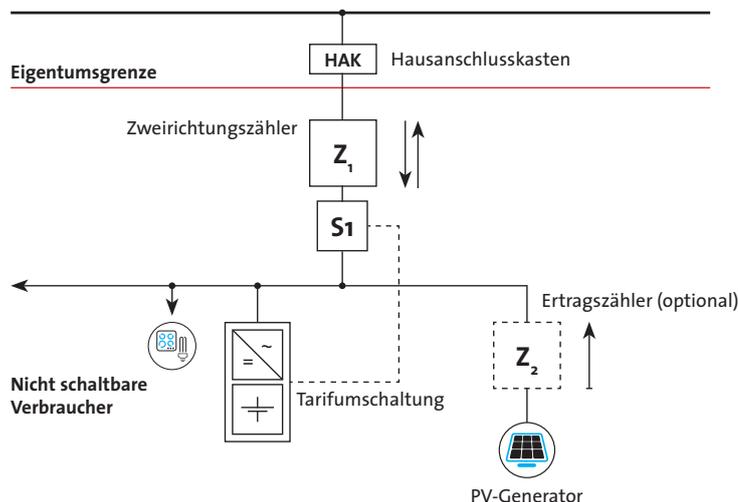
Anders arbeiten die phasenbezogenen Zähler, sie bilanzieren jede Phase einzeln. Damit ist Netzbezug bei gleichzeitiger Einspeisung möglich, der Eigenverbrauch des Haushaltes ist nicht korrekt abgebildet. Einphasige Wechselrichter würden damit wie folgt bilanzieren: Der Wechselrichter speist seine Leistung auf der angeschlossenen Phase ins Hausnetz ein. Wenn jetzt an dieser Phase zu wenig Verbraucher angeschlossen sind, wird der Überschuss an das Stromnetz abgegeben und vergütet. Der gleichzeitige Strombezug auf den anderen beiden Phasen hingegen wird abgerechnet. Gleiches gilt, wenn auch weniger stark ausgeprägt, für den Betrieb von dreiphasigen Wechselrichtern. Für die Einspeisung in das Netz sollten daher immer saldierende Zähler eingesetzt werden. In der heutigen Zeit rückt das Thema „Optimierung des Eigenverbrauchs“ immer stärker in den Vordergrund, eine Schnittstelle des Zählers für die Hausautomatisierung wird empfohlen.

PV-Eigenverbrauch über Haushalt und Wärmepumpe als separat gezählter Verbraucher



Das oben dargestellte Messkonzept ermöglicht es, zwei verschiedene Verbraucher mit unterschiedlichen Stromtarifen in die Eigenstromversorgung der PV-Anlage einzubinden. Dabei wird der Strombedarf der schaltbaren Verbraucher (z. B. Wärmepumpe) über den Gesamtbezug an Z₁ abzüglich des Bezuges der nicht schaltbaren Verbraucher an Z₂ ermittelt. Zusätzlich verhindert der Schalter S₁ eine Netzeinspeisung aus der Batterie.

PV-Eigenverbrauch über Haushalt und Wärmepumpe als gemeinsam gezählte Verbraucher



Bei diesem Messkonzept werden alle Verbraucher des Haushaltes sowie die Wärmepumpenanlage summarisch betrachtet. In dieser Variante wird die Wärmepumpe mit dem Haushaltsstrom betrieben. Die Wärmepumpe kann nicht extern angesteuert werden, Sperrzeiten entfallen und ein zusätzlicher Verbrauchszähler ist entbehrlich.

Unabhängig von der Nutzungsart und vom Messkonzept ist eine Abstimmung mit dem Energieversorger und eine Freigabe des Vorhabens bereits im Vorfeld unabdingbar.

Eingangsgrößen für Dimensionierung

Für die Dimensionierung der Gesamtanlage (Erzeugung, Verbrauch und Speicherung) sind mehrere Faktoren ausschlaggebend:

Für einen Netzparallelbetrieb sollte die Gesamtanlage auf eine möglichst hohe Eigenverbrauchsquote ausgelegt werden. Hierbei können unter ökonomischen Gesichtspunkten Werte zwischen 50–75 % erreicht werden.

Für eine Einschätzung der Eigenverbrauchsquote sind folgende Eingangsgrößen zu ermitteln:

Erzeugung

- Standort der Anlage
- Ausrichtungsmöglichkeiten und Größe der PV-Anlage (Generator)

Verbrauch/Bedarf

- Jährlicher Stromverbrauch des Haushaltes
- Heizwärmebedarf des Gebäudes
- Warmwasserbedarf
- Nutzerverhalten der Bewohner (Heizzeiten, Spitzenlasten, Warmwasser)

Tabella 1: Praxisnahe Kombinationen aus Heizleistung, Leistung PV-Anlage und Wärmepumpenleistung

Stromverbrauch Haushalt in kWh/a	Bedarf Warmwasser in l/d	Stromverbrauch Wärmepumpe in kWh/a	4 kWp			5 kWp			6 kWp			7 kWp			10 kWp		
			NBK in kWh	EQ in %	AQ in %	NBK in kWh	EQ in %	AQ in %	NBK in kWh	EQ in %	AQ in %	NBK in kWh	EQ in %	AQ in %	NBK in kWh	EQ in %	AQ in %
Max. Heizleistung 4 kW (Heizwärmebedarf ca. 7000 kWh/a)																	
3000	100	3300	7,5	69	41	10,0	63	48	12,5	58	53	15,0	52	57	17,5	41	64
3500	150	3500	7,5	74	39	10,0	68	46	12,5	63	51	15,0	57	55	17,5	45	63
4000	200	3800	5,0	71	34	7,5	68	42	10,0	65	48	12,5	60	53	15,0	48	60
4500	250	4000	5,0	72	32	7,5	70	40	10,0	68	46	12,5	64	51	15,0	51	59
5000	300	4200	5,0	75	31	7,5	73	38	10,0	71	44	12,5	67	50	15,0	55	58
Max. Heizleistung 5 kW (Heizwärmebedarf ca. 8800 kWh/a)																	
3000	100	4200	7,5	68	36	10,0	63	42	12,5	58	47	15,0	53	51	17,5	43	58
3500	150	4400	7,5	72	34	10,0	67	41	12,5	62	45	15,0	57	50	17,5	46	57
4000	200	4600	5,0	69	30	7,5	67	37	10,0	64	42	12,5	59	47	15,0	48	55
4500	250	4900	5,0	71	29	7,5	69	35	10,0	67	41	12,5	63	46	15,0	52	54
5000	300	5100	5,0	74	28	7,5	71	34	10,0	70	40	12,5	66	45	15,0	54	53
Max. Heizleistung 7 kW (Heizwärmebedarf ca. 12 300 kWh/a)																	
3000	100	5900	7,5	69	29	10,0	63	34	12,5	60	39	15,0	55	43	17,5	45	49
3500	150	6100	7,5	73	28	10,0	68	34	12,5	64	38	15,0	59	42	17,5	48	49
4000	200	6400	5,0	69	25	7,5	67	31	10,0	65	36	12,5	61	40	15,0	50	47
4500	250	6700	5,0	71	24	7,5	69	30	10,0	67	35	12,5	64	39	15,0	53	46
5000	300	6900	5,0	73	23	7,5	71	29	10,0	70	34	12,5	66	38	15,0	55	46
Max. Heizleistung 10 kW (Heizwärmebedarf ca. 17 600 kWh/a)																	
3000	100	6700	7,5	69	27	10,0	64	32	12,5	60	35	15,0	56	39	17,5	46	46
3500	150	6900	7,5	73	26	10,0	68	31	12,5	64	35	15,0	59	39	17,5	49	46
4000	200	7200	5,0	70	24	7,5	67	29	10,0	65	33	12,5	61	37	15,0	50	44
4500	250	7400	5,0	72	23	7,5	70	28	10,0	67	33	12,5	64	37	15,0	53	44
5000	300	7600	2,5	66	20	7,5	72	27	10,0	70	32	12,5	66	36	15,0	56	43

NBK Empfohlene nutzbare Batteriekapazität

EQ Eigenverbrauchsquote (in %) = Eigenstromverbrauch/Eigenstromerzeugung

AQ Autarkiequote (in %) = Eigenstromverbrauch/Gesamtstromverbrauch

Speichersysteme

In dem betrachteten System einer Photovoltaikanlage in Verbindung mit einer Wärmepumpe gibt es prinzipiell zwei verschiedene Möglichkeiten der Speicherung von aktuell nicht genutztem Ertrag aus der Photovoltaikanlage – die thermische und die elektrische Speicherung.

Thermische Speicherung

Zum einen kann der Ertrag aus der Photovoltaikanlage durch eine Erhöhung der Warmwassersolltemperatur bzw. der Puffersolltemperatur gespeichert werden. Des Weiteren kann durch eine Erhöhung oder Absenkung der Raumtemperatur auch die Gebäudemasse als Puffer genutzt werden. Dieser Form des Lastmanagements sind aber Grenzen durch den Komfortanspruch der Nutzer gesetzt. Auch ein aktiver Kühlbetrieb ist nutzbar, sofern die Wärmeverteilung und -übergabe hierfür geeignet ist (kondensatfeste Ausführung, Stellantriebe mit Wirkrichtungsumkehr).

Die einzelnen Varianten der thermischen Speicherung werden im Folgenden noch näher erläutert.

Batteriespeicher und Ladesystem

Um eigenerzeugten PV-Strom langfristig wirtschaftlich speichern und selbst nutzen zu können, sind neben der Kapazität des Batteriespeichersystems die Anzahl von Lade- und Entladezyklen ein wichtiges Entscheidungskriterium.

Batterien werden heute im wesentlichen als Blei-Gel- oder Lithium-Ionen-Speicher angeboten.

- Blei-Gel-Batteriespeicher

Die Funktionsweise dieser Technologie entspricht der aus dem Automobilbereich. Innerhalb des Batteriespeichers wird die elektrische Energie der PV-Anlage in chemische Energie umgewandelt:

Zwischen zwei Bleiplatten, von denen die eine positiv und die andere negativ geladen ist, befindet sich eine Füllung aus Schwefelsäure. Bei der Ausführung Blei-Gel-Batteriespeicher ist die Schwefelsäure durch Kieselsäure gebunden und die Batterie verschlossen.

Beim Laden bildet sich um die Elektroden Blei-Sulfat. Dieses Blei-Sulfat löst sich zwar beim Entladen, jedoch bleibt immer ein Rest zurück. Die Hauptunterschiede zu Lithium-Ionen-Batteriespeichern sind eine geringere Anzahl von Lade- und Entladezyklen und eine geringere Entladetiefe.

- Lithium-Ionen-Batteriespeicher

In Lithium-Ionen-Batteriespeichern befinden sich an der negativen Elektrode häufig eine Graphit-Matrix, an der positiven Elektrode liegen lithiumhaltige Übergangsmetalle. Die beiden Zellen sind durch eine Polymermembran getrennt, die einen Durchtritt von Lithium-Ionen erlaubt. Die elektrische Energie der Photovoltaik-Anlage wird dadurch gespeichert, dass das Lithium in ionisierter Form durch die Membran zwischen den beiden Polen hin- und herwandert. Im Gegensatz zum Blei-Säure-Batteriespeicher gibt es bei dieser Technologie keinen Memory-Effekt, die Selbstentladung ist geringer ausgeprägt und die Energiedichte ist höher als die von Blei-Gel-Speichern.

Wichtig für die Amortisationsberechnung eines Photovoltaiksystems ist, dass Lithium-Ionen- eine höhere Lebensdauer als Blei-Gel-Batterien haben. Ein weiterer Aspekt sind die deutlich höhere Anzahl von Lade- und Entladezyklen der Lithium-Ionen-Variante. Auch können Lithium-Ionen- kompakter ausgelegt werden, als Blei-Gel-Batteriespeicher-Systeme.

Ladekonzepte von Photovoltaiksystemen mit Batteriespeichern

Prinzipiell gibt es bei Photovoltaiksystemen mit Batteriespeichern drei verschiedene Ladekonzepte:

- AC-gekoppelte Systeme (Wechselstrom)
- DC-gekoppelte Systeme (Gleichstrom)
- PV-generatorgekoppelte Systeme

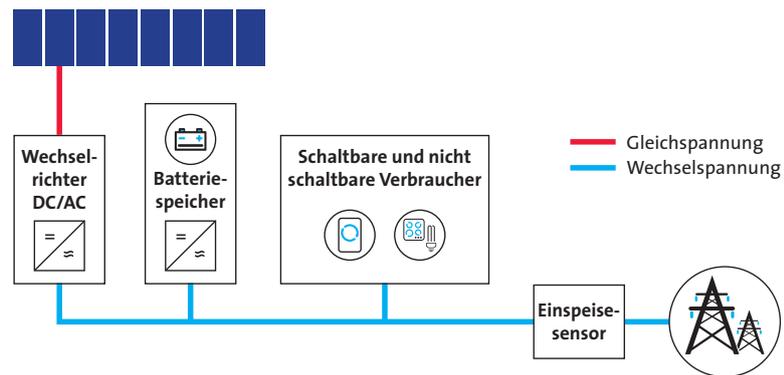
Bei allen oben genannten Varianten besteht das System aus den Hauptkomponenten:

- Photovoltaik-Generatoren
- Wechselrichter
- AC-Einspeisesensor zum öffentlichen EVU-Netz
- Batteriespeicher

AC-gekoppelte Systeme

Bei dieser Konstellation wird der von den Photovoltaikmodulen erzeugte Gleichstrom über einen Wechselrichter in Wechselstrom umgewandelt. Das in dem System integrierte Batteriespeichersystem besitzt einen eigenen Wechselrichter.

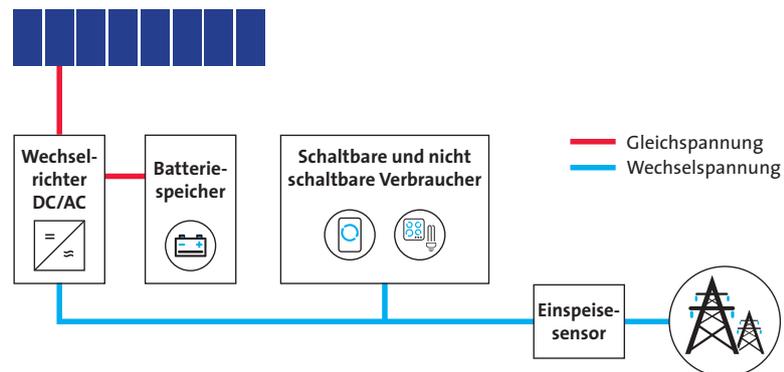
Im Regelfall versorgt der Wechselrichter der PV-Module über die DC/AC-Wandlung die Verbraucher im Haus direkt. Erfolgt kein Eigenstromverbrauch, dann wird der aus diesem Wechselrichter resultierende Wechselstrom über den Batterie-Wechselrichter in Gleichstrom umgewandelt und die Batterie geladen. Die Entladung des Batteriesystems erfolgt dann umgekehrt über die DC/AC-Wandlung des Batteriewechselrichters direkt zu den Verbrauchern.



DC-gekoppelte Systeme

Der Hauptunterschied zu den AC-gekoppelten Systemen besteht darin, dass in diesem Fall nur ein Wechselrichter benötigt wird. Das Batteriespeichersystem wird vom System als weiterer „Verbraucher“ betrachtet. Der über die Photovoltaikmodule erzeugte Strom wird über einen DC/AC-Wechselrichter in Wechselstrom umgewandelt und versorgt dann die elektrischen Verbraucher im Haus. Liegt kein bzw. zu geringer Eigenstrombedarf für die erzeugte Leistung vor, dann wird ein Teil bzw. der ganze über die Photovoltaik-Module erzeugte Strom im DC/AC-Wechselrichter schon an der Gleichstromseite (DC-Seite) an das Batteriespeichersystem geführt und die Batterie geladen.

Die Entladung der Batterie erfolgt dann über den DC/AC-Wechselrichter analog der Einspeisung über die PV-Module.

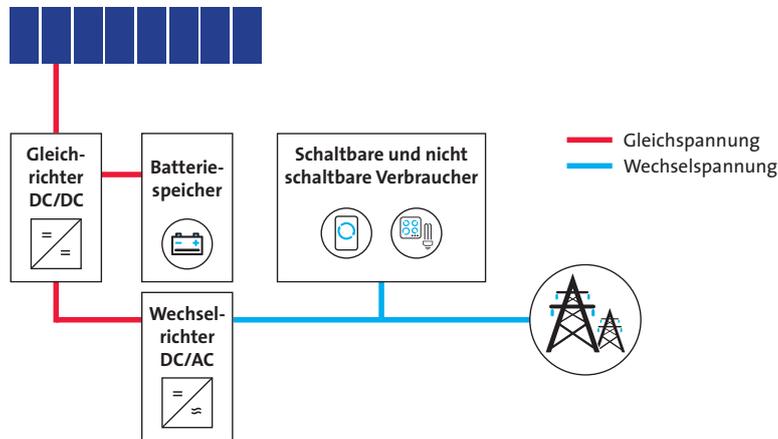


PV-generatorgekoppelte Systeme

Das PV-generatorgekoppelte System hat im ersten Augenschein große Ähnlichkeiten im Aufbau mit dem Gleichstrom-gekoppelten System.

Der über die Photovoltaikmodule erzeugte Strom wird über einen DC/DC-Wandler geführt. Von dort wird der Strom entweder direkt über einen DC/AC-Wechselrichter zu den Verbrauchern im Haus oder in das öffentliche Netz eingespeist. Besitzt das installierte Batteriespeichersystem noch Ladekapazität, wird bei Eigenstromüberschuss der erzeugte Gleichstrom der Photovoltaikmodule über den DC/DC-Wandler direkt an das Batteriespeichersystem zur Ladung weitergeleitet.

Wird Eigenstrom im Haus benötigt und erzeugen die Photovoltaikmodule aktuell keinen Strom, erfolgt über den DC/DC-Wandler und den Wechselrichter die Umwandlung des Batteriestromes in Wechselstrom zur Versorgung des Eigenbedarfs.



Batterieladestrategie

Über den installierten Energiemanager erfolgt dann in Abhängigkeit der Verbrauchersituation des Haushaltes die Ladung der Batterien. Für alle drei Systeme gilt, dass die Ladung erst dann erfolgt, wenn aktuell kein Eigenstromverbrauch im Haushalt erfolgt und eine Einspeisung erfolgen würde.

Dimensionierung der Komponenten

Batterie

Eine mögliche Dimensionierung von Stromspeichern kann auf Basis der Kompensation eines Tages-Energiebedarfs erfolgen. Bei der Kombination aus PV-Anlage, Haushaltsstrom und Stromspeicher kann man in diesem Fall überschlägig wie folgt vorgehen:

1. Ermittlung des Strombedarfs pro Tag

Strombedarf pro Tag = jährlicher Haushaltsstrombedarf / 365 Tage

Beispiel: $3.500 \text{ kWh/a} / 365 \text{ Tage} = 9,59 \text{ kWh}$

2. Ermittlung der Erzeugung pro Tag

Erzeugung pro Tag = Anlagengröße der Photovoltaikanlage (in kWp) x 0,7 kWh/kWp (Photovoltaik-Erzeugung an einem Wintertag)

Beispiel: $5 \text{ kWp} \times 0,7 \text{ kWh/kWp} = 3,5 \text{ kWh}$

3. Ermittlung der nutzbaren Batteriekapazität

Strombedarf pro Tag – Erzeugung pro Tag

Beispiel: $9,59 \text{ kWh} - 3,5 \text{ kWh} = 6,09 \text{ kWh}$

Für eine überschlägige Auswahl des Stromspeichers sollte man einen Speicher mit einer Kapazität wählen, die mindestens der Größe der Erzeugeranlage entspricht:

5 kWp Generator -- > Stromspeicher $\geq 5 \text{ kWh}$

Eine anschließende Simulation der Gesamtanlage ist zu empfehlen.

Bei der Kombination aus PV-Anlage, Haushaltsstrom, Wärmepumpe und Stromspeicher sollte der Stromspeicher überschlägig, wie im oberen Fall, abhängig von der Erzeugeranlage dimensioniert werden. Die Wärmepumpe trägt zur direkten Erhöhung der Eigenverbrauchsquote bei. Hierbei kann eine thermische Speicherung des Stroms in Warmwasser- oder Pufferspeichern sinnvoll sein.

PV-Anlage

- Ausrichtungen von PV-Anlagen

Für eine sinnvolle Auslegung einer Photovoltaikanlage muss die Ausrichtung, Dachneigung und die verfügbare Dachfläche betrachtet werden.

Grundsätzlich bringt eine Photovoltaikanlage mit einer reinen Süd-Ausrichtung und einem möglichst steilen Neigungswinkel den höchsten Ertrag für den Verbraucher. Auch im Winter, bei einem verhältnismäßig niedrigen Stand der Sonne, wird so mehr Leistung vom Generatorfeld erzeugt, als bei einer geringeren Neigung. Allerdings spielt hier das jeweilige Nutzerverhalten auch eine starke Rolle. In den meisten Fällen produziert eine Anlage in Südausrichtung genau dann die meiste Energie, wenn der Stromverbrauch im Haushalt gering ist. Dadurch sinkt natürlich die Eigenverbrauchsquote des Systems. Selbst das Verwenden einer Batterie zur Zwischenspeicherung bringt an Hand der jeweiligen Kapazität nur bedingt Abhilfe.

Praxiserfahrungen haben gezeigt, dass die Anlage nicht mehr als das 1,3-Fache des benötigten Jahres-Strombedarf produzieren sollte.

Dächer mit Ost/West-Ausrichtung bieten den Vorteil, dass Solarstrom früher am Morgen und/oder später am Abend zur Verfügung steht. Außerdem können bei Satteldächern mit Ost/West-Ausrichtung beide Dachhälften belegt und so die Fläche des Photovoltaik-Generators verdoppelt werden. In der Praxis hat sich ein großer PV-Generator für die hier beschriebene Art von Anlagen bewährt.

Ein höherer sommerlicher Stromverbrauch, z. B. durch den Betrieb einer Klimaanlage, hat zur Folge, dass in diesem Haushalt der höchste Autarkiegrad bei einem eher flachen Neigungswinkel des PV-Generators von ca. 25° erzielt wird. Dagegen begünstigt ein eher steilerer Neigungswinkel (ca. 45°) einen höheren PV-Ertrag im Winter, was den Autarkiegrad im Haushalt mit Wärmepumpe steigen lässt. Allerdings sinkt bei einer Abweichung vom Optimum der Autarkiegrad nur wenig.

Ertragsverhalten bei unterschiedlicher Dachausrichtung und -neigung

Werte gerechnet auf 1 kWp		Dachneigung						
		10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
Ausrichtung	Ost -90°	1041,77 kWh	1035,41 kWh	1029,18 kWh	1020,63 kWh	1010,99 kWh	1001,47 kWh	990,72 kWh
	Südos -45°	1094,74 kWh	1112,6 kWh	1128,25 kWh	1139,29 kWh	1146,81 kWh	1150,96 kWh	1151,61 kWh
	Süd 0°	1113,82 kWh	1142,44 kWh	1165,19 kWh	1183,32 kWh	1196,71 kWh	1204,45 kWh	1207,36 kWh
	Südwest 45°	1090,51 kWh	1106,78 kWh	1120,86 kWh	1130,19 kWh	1135,87 kWh	1138,16 kWh	1136,94 kWh
	West 90°	1035,87 kWh	1027,21 kWh	1017,18 kWh	1007,25 kWh	995,84 kWh	984,62 kWh	972,03 kWh

Tabelle 2: Standort Potsdam – Wirkungsgrad 100 %

Thermischer Speicher

Trinkwarmwasserspeicher

Die Warmwasserbereitung ist zu einem sehr hohen Anteil mit PV-Strom möglich, wenn der Speicher so dimensioniert wird, dass mindestens ein Tag ohne PV-Ertrag aus dem Speicher bedient werden kann und die maximale Leistung der PV-Anlage die Antriebsleistung der Wärmepumpe um den Faktor 5–6 übersteigt.

Im Einfamilienhaus kommt häufig eine Trinkwarmwasser-Wärmepumpe zum Einsatz, da durch die kleine Aufnahmeleistung des Verdichters (ca. 500 W) eine PV-Anlage mit einer Leistung von 3 kW Peak schon Deckungsgrade von über 80 % ermöglicht.

Der Deckungsgrad ist von folgenden Einflussfaktoren abhängig:

- PV-Ertrag
- Aufnahmeleistung der Wärmepumpe
- Warmwasserbedarf
- Größe des Warmwasserspeichers
- Wärmeverluste des Speichers und der Zirkulationsleitung

Die Regelung der Wärmepumpe muss in der Lage sein, die geforderte Mindesttemperatur zu halten (z. B. 50° C) und bei PV-Ertrag die Warmwassersolltemperatur automatisch zu erhöhen (z. B. + 5 K). Brauchwasser-Wärmepumpen mit dem SG Ready Label stellen diese Funktionalität über einen digitalen Eingang zur Verfügung. Viele Wechselrichter sind in der Lage Brauchwasser-Wärmepumpen mit SG Ready direkt anzusteuern.

Im Mehrfamilienhaus sind die Anforderungen der DIN 1988-200 einzuhalten.

Nutzung eines Pufferspeichers

Bei einer autarken, d. h. von der Wärmepumpe unabhängigen, Raumtemperaturregelung ist eine kontrollierte Überhitzung des Gebäudes bei PV-Ertrag nicht möglich, da bei Überschreitung der Raumsolltemperatur die Wärmezufuhr in die Räume gestoppt wird. In diesem Fall kann für die Wärmespeicherung ein zusätzlicher Pufferspeicher ins System eingebunden werden.

Bei der hydraulischen Einbindung ist darauf zu achten, dass der Speicher bei fehlendem PV-Ertrag nicht durchströmt wird und zur Minimierung der Bereitschaftsverluste auf dem niedrigsten möglichen Temperaturniveau gehalten wird.

Das Volumen des Speichers ist unter Berücksichtigung der folgenden Kriterien auszulegen:

- PV-Ertrag
- Heizleistung der Wärmepumpe
- Max. Temperaturhub = max. Aufheiztemperatur des Speichers abzüglich der benötigten Heizwassertemperatur
- Geforderte Erhöhung des Deckungsanteils

Bereits ein Pufferspeichervolumen von 25 l je kW Heizleistung kann die in der Mittagszeit zur Verfügung stehenden solaren Erträge für die Abendstunden nutzbar machen und zu einer Erhöhung des Deckungsanteils um ca. 10 % führen. Eine weitere Vergrößerung des Pufferspeichers führt zu einer Erhöhung des Deckungsanteils um maximal bis zu 20 %. Größere Pufferspeicher, die die Energie über mehrere Tage speichern können (z. B. Saisonspeicher), ermöglichen noch deutlich höhere Deckungsgrade, allerdings erhöhen sich auch die damit verbundenen Speicherverluste. Hier ist für die sinnvolle Planung eine Simulation erforderlich.

Nutzung des Gebäudes als Speicher

Bei einer intelligenten Raumtemperaturregelung findet ein Informationsaustausch zwischen Wärmeerzeuger und Raumtemperaturregelung statt, um z. B. den Wärmeerzeuger zu sperren, wenn kein Raum Wärme anfordert.

In Verbindung mit Smart-Home-Systemen (z. B. Gebäudeleittechnik) kann bei PV-Ertrag die Raumsolltemperatur innerhalb definierter Komfortgrenzen erhöht und so das Gebäude als thermischer Speicher genutzt werden.

Eine Flächenheizung (ca. 150 m²) ist dabei in der Lage, die Speicherkapazität eines 500 l Pufferspeichers (Temperaturhub ca. 25 K) zu ersetzen. Gleichzeitig entstehen durch das niedrigere Temperaturniveau geringere Speicher- und Effizienzverluste.

Berechnungsbeispiel

- Beheizte Fläche: 150 m²
- Beheizbarer Fußbodenaufbau: 9 cm (Estrich / Beton / Fliesen)
- Wärmekapazität von Estrich: 1000 J / kg K = 0,27778 Wh / kg K
- Raumgewicht Estrich: 2000 kg / m²
- Temperaturerhöhung 2 K

$$150 \text{ m}^2 \times 0,09 \text{ m} \times 2.000 \text{ kg} \times 2 \text{ K} \times 0,00027778 \text{ kWh} / \text{kg K} = 15 \text{ kWh}$$

$$500 \text{ l} \times 0,00116 \text{ kWh} / \text{kg K} \times 25 \text{ K} = 15 \text{ kWh}$$

Digitale Schnittstellen

SG Ready

Das SG-Ready-Label wird an Wärmepumpen-Baureihen vergeben, deren Regelungstechnik die Einbindung der einzelnen Wärmepumpe in ein intelligentes Stromnetz (engl. smart grid = SG) ermöglicht.

Zur Vergabe des Labels müssen die vier Betriebszustände entsprechend der festgelegten Definition dargestellt werden. Das Label wird nur in Deutschland vergeben und besitzt darüber hinaus keine Gültigkeit. Die Liste der Wärmepumpen mit SG-Ready-Label ist auf der Seite des BWP, Bundesverband Wärmepumpe, abrufbar.

Anforderungen für das SG-Ready-Label

Heizungswärmepumpen

Heizungswärmepumpen müssen über einen Regler verfügen, der vier Betriebszustände abdeckt:

- **Betriebszustand 1** (1 Schaltzustand, bei Klemmenlösung: 1:0):
Dieser Betriebszustand ist abwärtskompatibel zur häufig zu festen Uhrzeiten geschalteten EVU-Sperre und umfasst maximal 2 Stunden „harte“ Sperrzeit.
- **Betriebszustand 2** (1 Schaltzustand, bei Klemmenlösungen: 0:0):
In dieser Schaltung läuft die Wärmepumpe im energieeffizienten Normalbetrieb mit anteiliger Wärmespeicher-Füllung für die maximal zweistündige EVU-Sperre.
- **Betriebszustand 3** (1 Schaltzustand, bei Klemmenlösung 0:1):
In diesem Betriebszustand läuft die Wärmepumpe innerhalb des Reglers im verstärkten Betrieb für Raumheizung und Warmwasserbereitung. Es handelt sich dabei nicht um einen definitiven Anlaufbefehl, sondern um eine Einschaltempfehlung entsprechend der heutigen Anhebung.
- **Betriebszustand 4** (1 Schaltzustand, bei Klemmenlösung 1:1):
Hierbei handelt es sich um einen definitiven Anlaufbefehl, insofern dieser im Rahmen der Regeleinstellungen möglich ist.

Für diesen Betriebszustand müssen für verschiedene Tarif- und Nutzungsmodelle verschiedene Regelungsmodelle am Regler einstellbar sein:

Variante 1: Die Wärmepumpe (Verdichter) wird aktiv eingeschaltet.

Variante 2: Die Wärmepumpe (Verdichter und elektrische Zusatzheizungen) wird aktiv eingeschaltet, optional: höhere Temperatur in den Wärmespeichern

Optional kann die Raumtemperatur als Führungsgröße für die Regelung der Systemtemperaturen (Vor- bzw. Rücklauftemperatur) herangezogen werden. Eine Sperrung der Wärmepumpe durch einen Raumthermostat in Abhängigkeit von der Raumtemperatur ist nicht ausreichend.

Warmwasserwärmepumpen

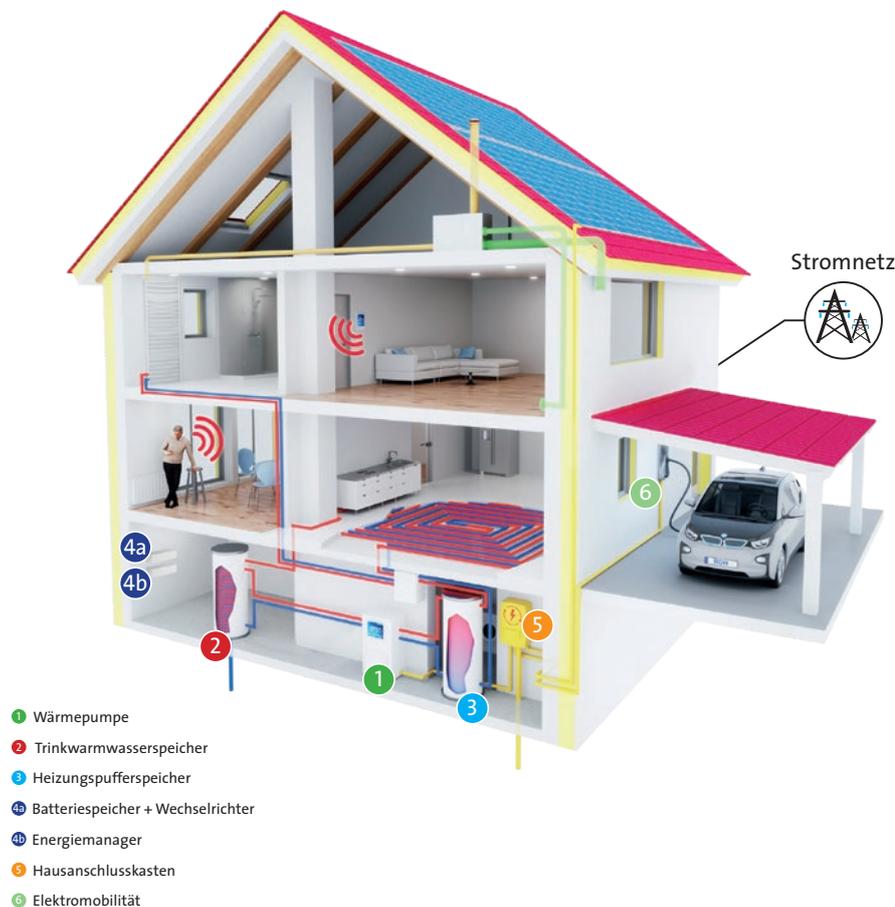
Warmwasserwärmepumpen müssen über einen Regler verfügen, welcher mittels einer automatischen Ansteuerung eine Erhöhung der Warmwasser-Solltemperatur zum Zweck der thermischen Speicherung ermöglicht.

Energiemanager und die hierzu notwendigen Systemvoraussetzungen

Über die Steuerung der Wärmepumpe mittels SG-Ready-Schnittstelle wird in Kombination mit einer Photovoltaikanlage mit und ohne Batteriespeichersystem nur das Heizsystem und die Warmwasserbereitung als Verbraucher betrachtet.

Zielführend ist es jedoch, mittels eines Energiemanagers alle elektrischen Verbraucher in einem Haushalt in die Betrachtung mit einzubeziehen, um somit eine möglichst hohe Eigenverbrauchsquote und je nach Dimensionierung der PV-Anlage auch einen möglichst hohen Autarkiegrad zu erreichen. Diese Zusammenhänge sind ausführlich im Infoblatt Nr. 68 beschrieben.

Zusammenspiel der Komponenten



Der Energiemanager steuert die Speicherung und den Verbrauch des gesamten Systems. Je nach Energiemanager und Verbraucher kann die Ansteuerung mittels schaltbarem Freigabekontakt an der Wärmepumpe (SG-Ready-Schnittstelle), schaltbaren Steckdosen oder über eine modulierende Ansteuerung entsprechend der zur Verfügung stehenden Energie erfolgen (z. B. leistungsgeregelte Wärmepumpensysteme und modulierende Elektroheizstäbe).

Im Energiemanager werden dann verbraucherspezifische Kenndaten wie z. B. Schaltschwelle (ab welchem Wert in kW soll der Kontakt geschaltet werden) und Freigabedauer/Mindestlaufzeit im Rahmen der Inbetriebnahme eingestellt. Auch werden dort die Prioritäten der Freigaben festgelegt, d. h. in welcher Reihenfolge die Verbraucher frei geschaltet werden sollen.

Voraussetzung ist, dass die jeweiligen Verbraucher die entsprechenden Möglichkeiten sicherstellen. Diese müssen vom Hersteller für die Ansteuerung, z. B. über eine schaltbare Steckdose freigegeben sein.

Bei älteren elektrischen Verbrauchern der Hausgerätetechnik, wie z. B. Waschmaschinen und Trocknern, sollte im Vorfeld geprüft werden, ob diese nach Spannungsausfall selbstständig wieder anlaufen oder ob der jeweilige Vorgang manuell neu gestartet werden müsste.

Die Hierarchie des Verbrauchs muss über den Energiemanager geregelt werden. Es wird empfohlen, den erzeugten Strom zuerst für den aktuell vorliegenden Eigenverbrauch des Haushaltes bzw. des Heizsystems zu nutzen. Anschließend erfolgt die Beladung des elektrischen Speichers (Batterie) gefolgt von den thermischen Speichern (Trinkwarmwasserspeicher, Pufferspeicher, Baukörper).

Dadurch wird ein möglichst hoher Autarkiegrad erreicht und die Einspeisung in das öffentliche Stromnetz minimiert.

Gerade bei der Nutzung von Smart-Home-Systemen ist ein bidirektionaler Informationsaustausch von Stromverbrauchern und -erzeugern über digitale Schnittstellen wichtig, um das Gesamtsystem zu optimieren.

Fazit

Nach dem einführenden Infoblatt Nr. 68 mit Begriffserklärungen und prinzipieller Funktionalität der Komponenten zeigt das hier vorliegende Infoblatt Nr. 70 erste Auslegungshilfen zur Dimensionierung des Systems aus PV-Anlage, Batterie und thermischem Speicher.

- Dem Energiemanager kommt als Kommunikator zwischen den einzelnen Komponenten eine besondere Bedeutung zu.
- Durch Einbindung von Batteriespeicher und thermischem Speicher im Wärmepumpensystem kann die Eigenverbrauchsquote auf bis zu 65 % erhöht werden.
- Durch den Einsatz einer SG-Ready-Wärmepumpe kann die Eigenverbrauchsquote deutlich erhöht werden.

Bei einem Neubau kann durch eine vorausschauende Planung der erforderlichen Anlagenteile eine kostenoptimierte Errichtung realisiert werden. Bei einem Bestandsgebäude können bestehende Komponenten zu einem neuen System kombiniert werden. In jedem Fall ist eine genaue Anlagenplanung durch den Haustechnikplaner bzw. Fachhandwerker Voraussetzung für ein effizient arbeitendes System.

BDH-Informationen dienen der unverbindlichen technischen Unterrichtung. Eine Fehlerfreiheit der enthaltenen Informationen kann trotz sorgfältiger Prüfung nicht garantiert werden.

Weitere Informationen unter:
www.bdh-koeln.de

Herausgeber:
Interessengemeinschaft
Energie Umwelt Feuerungen GmbH
Infoblatt 70 April/2018