

ct PHOTOVOLTAIK

Solar planen, bauen und optimieren



Rauf aufs Dach

Mehr Ertrag aus der PV-Anlage
Module putzen lohnt sich nicht

Clever heizen

PV-Überschuss: Warmes Wasser mit Tauchsieder
Das leisten Wärmepumpen wirklich

Photovoltaik lohnt sich

Mieterstrom endlich gut
Weniger Bürokratie dank neuem Solarpaket

€ 19,90
CH CHF 34,40
AT € 21,90
LUX € 22,90

Balkonkraftwerke für alle

Die aktuelle Rechtslage • Die beste Technik
Die günstigste Installation



FREITAG IST c't-TAG!*

Jetzt 5x c't lesen
für 24,00 €
statt 31,75 €**

** im Vergleich zum Standard-Abo

*Endlich Wochenende! Endlich genug Zeit, um in der c't zu stöbern. Entdecken Sie bei uns die neuesten Technik-Innovationen, finden Sie passende Hard- und Software und erweitern Sie Ihr nerdiges Fachwissen. **Testen Sie doch mal unser Angebot: Lesen Sie 5 Ausgaben c't mit 30 % Rabatt – als Heft, digital in der App, im Browser oder als PDF. On top gibt's noch ein Geschenk Ihrer Wahl.**

30 %
Rabatt!



Jetzt bestellen:
ct.de/meintag



Editorial

Liebe Leserin, lieber Leser,

die Technik, um aus dem Sonnenlicht Strom zu erzeugen, wird immer billiger. Und die bürokratischen Hürden schrumpfen überraschenderweise stetig. Immer mehr spricht daher für eine eigene PV-Anlage, sei es am Balkon der Mietwohnung, auf dem Dach des Eigenheims oder der Garage, im Schrebergarten oder fürs Wohnmobil. Als zusätzliches Argument hätten wir vor einiger Zeit die steigenden Strompreise genannt, doch die haben sich nach der 2022er-Energiekrise wieder etwas beruhigt.

Aber der Strommarkt wird komplizierter, etwa durch variable Strompreise, die jeder Versorger ab 2025 anbieten muss. Das massiv vereinfachte Mieterstromkonzept könnte PV-Anlagen auf Mehrfamilienhäusern realistisch erscheinen lassen, also für Vermieter und für Eigentümergemeinschaften interessant sein und für Wohnungen zusätzliche Optionen bieten.

Wir haben für dieses c't-Sonderheft über 20 Artikel, die in den vorigen Monaten im c't Magazin und auf heise+ erschienen sind, kuratiert und an die aktuelle Gesetzeslage angepasst. Hier erfahren Sie, wie Sie eine PV-Anlage dimensionieren und planen – und zwar sowohl spezialisiert für Balkonkraftwerke als auch für große Dachanlagen. Die Artikel beschreiben, wie Wechselrichter funktionieren, was Leistungsoptimierer bringen und wie Sie Ihre Anlage sogar selbst bauen können. Im Betrieb kommen dann Energiemanager ins Spiel, eine Leistungs- und Ertragsüberwachung, die Einbindung ins Smart Home. Nächstes Jahr werden dynamische Stromtarife interessanter; wir haben schon jetzt Praxiserfahrung gesammelt – speziell im Zusammenspiel mit PV-Anlagen. Nicht zu vergessen: E-Auto und Wärmepumpe und wie man sie mit möglichst viel Solarstrom speist und ins Energiemanagement einbindet, sowohl mit als auch ohne PV-Akku gedacht.

Die Artikel haben wir um so viele aktuelle Erfahrungen, überraschende Wendungen und neue Entwicklungen wie möglich ergänzt. Dennoch stoßen Sie vielleicht auf den einen oder anderen Widerspruch; einige weitere Aspekte dürften diskussionswürdig bleiben oder sich nach Redaktionsschluss verändern. Schreiben Sie uns, diskutieren Sie mit uns!

Viel Freude beim Lesen!



Jörg Wirtgen

Inhalt

PHOTOVOLTAIK LOHNT SICH

Solaranlagen werden noch attraktiver, weil der Gesetzgeber die Bürokratie deutlich zusammenstreicht, sogar für Mehrfamilienhäuser. Dennoch sind vor dem Bau der PV einige Überlegungen zur Effizienz und zum Energiemanagement wichtig.

- 6** Ihr Einstieg in die Solarenergie
- 18** Photovoltaik im Mehrfamilienhaus
- 22** Stromverbrauch smart managen

RAUF AUFS DACH!

Die große PV auf dem Einfamilienhaus will sorgfältig geplant und fachkundig gebaut sein – was größtenteils in Eigenleistung machbar ist. Wer sich das nicht zutraut, profitiert dennoch von den Artikeln und kann den Monteuren wissend über die Schulter schauen.

- 28** PV-Anlagen dimensionieren
- 36** So arbeiten Solarwechselrichter
- 42** Kabel für PV richtig verbinden
- 46** Mehr PV-Ertrag per Leistungsoptimierer
- 52** PV-Anlagen reinigen: Warum, wann, wie?
- 58** PV*SOL: PV-Anlagen planen
- 62** Recycling von Solarmodulen

BALKONKRAFTWERKE FÜR ALLE

Wohnen Sie im Mehrfamilienhaus? Die Preise und die behördlichen Hürden für Balkonkraftwerke fallen, sodass sie schnell installiert sind und auch auf Ost- oder Westbalkonen rentabel sein können. Vielleicht auch im Schrebergarten oder auf der Garage.

- 70** Balkonkraftwerke: Der aktuelle Stand
- 76** So bauen Sie Balkonkraftwerke

SOLARERTRAG ÜBERWACHEN

Der Wechselrichter, der Energiemanager und manches smarte Gerät plappern über Erträge und Verbräuche – gar nicht so einfach, darin die richtigen Informationen zu finden. Zudem probieren wir einen dynamischen Stromtarif und nutzen das E-Auto als Notstromakku.

- 84** Überwachungs-Apps für Photovoltaik
- 94** Fertige OpenDTUs
- 102** Tibber: Dynamische Strompreise im Test
- 108** Notstrom mit dem E-Auto

CLEVER HEIZEN

Die Königsdisziplin ist, die PV-Anlage mit der Wärmepumpe zu kombinieren – aber die Praxis erweist sich als überraschend kompliziert. Vielleicht bringt ein Elektroheizstab etwas, und auch die klassischen smarten Thermostate sind einer Überlegung wert.

- 116** Wärmepumpen: Was PV, Dämmung & Co. bringen
- 122** Wärmepumpen optimal betreiben
- 128** Smarte Heizungsthermostate im Test
- 136** AC ELWA: Wärme aus PV-Überschuss
- 140** PV ohne Akku mit Wärmepumpe nutzen

ZUM HEFT

- 3** Editorial
- 115** Impressum
- 121** Vorschau: c't Desinfec't 2024/25

c't PHOTOVOLTAIK
Solar planen, bauen und optimieren

Rauf aufs Dach

46 Mehr Ertrag aus der PV-Anlage
52 Module putzen lohnt sich nicht

Clever heizen

136 PV-Überschuss: Warmes Wasser mit Tauchsieder
116 Das leisten Wärmepumpen wirklich

Photovoltaik lohnt sich

18 Mieterstrom endlich gut
70 Weniger Bürokratie dank neuem Solarpaket

Balkonkraftwerke für alle

6, 28 Die aktuelle Rechtslage • Die beste Technik
70, 84, 116 Die günstigste Installation

€ 19,90
OF OF 14,40
VAT 7,00
USt 19,00

Ihr Einstieg in die Solarenergie

Noch nie war es so günstig, mit Photovoltaikmodulen selbst Strom zu erzeugen: PV-Module mit Spitzenleistungen von gut 400 Watt locken mit Preisen um die 80 Euro. Auch die Kosten für die übrigen Komponenten einer PV-Anlage sind in den vorigen Monaten deutlich gesunken. Egal ob kleines Balkonkraftwerk oder große Dachanlage: Wir zeigen, was geht, wie so eine PV-Anlage funktioniert und wo Stolperfallen den Spaß am selbst erzeugten Strom dämpfen können.

Von **Georg Schnurer**



Bild: Moritz Reichartz

Ihr Einstieg in die Solarenergie	6
Photovoltaik im Mehrfamilienhaus	18
Stromverbrauch smart managen	22

So eine Solaranlage ist eine feine Sache: Die Sonne scheint auf die Module, der ange schlossene Wechselrichter wandelt die dabei entstehende Gleichspannung in Wechselspannung um und speist die Energie ins Hausnetz ein. Jede erzeugte Kilowattstunde (kWh) muss man nicht vom Energieversorger kaufen. Bei durchschnittlichen Energiepreisen von etwa 30 bis 35 Cent pro kWh (ct/kWh) für private Haushalte macht sich das schnell in der Haushaltskasse bemerkbar.

Wird die mit Sonnenhilfe erzeugte Energie nicht selbst genutzt, fließt sie entweder in das Netz des Energieversorgers und wird mit knapp 8 ct/kWh honoriert oder aber sie lädt einen Akku, der idealerweise so groß ist, dass er die in der Nacht benötigte Energie bereitstellt. So kommt man zumindest in den Sommermonaten weitgehend mit eigenem Strom aus und zahlt nur noch die unumgängliche Grundgebühr an den Energieversorger. Wer ein E-Auto besitzt, kann überschüssige Energie auch über eine mit dem Wechselrichter verbundene Wallbox in den Fahrzeugakku verfrachten. Tipps zur bedarfsgerechten Auslegung einer PV-Anlage geben wir im Artikel „PV-Anlagen dimensionieren“.

Keine heile Welt

Ganz so einfach und rosig ist die solare Eigenversorgung allerdings nicht, denn Planungs-, Bau- und Auslegungsfehler können schon mal zum teuren Desaster führen. Das sollte aber niemanden davon abhalten, zumindest zu prüfen, ob eine PV-Anlage möglicherweise eine lohnende Investition sein könnte, zumal der Einstieg etwa über ein Balkonkraftwerk mit weniger als 500 Euro keine unüberwindliche finanzielle Hürde darstellt. Zu den Chancen und Tücken bei Balkonkraftwerken später mehr, zunächst empfiehlt sich etwas Sachkunde: Wie sehen die Komponenten einer PV-Anlage eigentlich aus und wie funktionieren sie? Was sollte man beim Kauf und beim Prüfen von Angeboten beachten?

Wer mit einer PV-Anlage liebäugelt, muss zunächst klären, ob die Wohnung oder das Haus überhaupt geeignete Flächen für solare Energiegewinnung bietet. Ideal sind unverschattete Bereiche mit Südausrichtung. Das kann ein Balkon, eine Wandfläche oder eben ein Dach sein. Wirtschaftlich kaum rentabel sind PV-Module an Flächen mit Nordausrichtung. Ost-/West-Dächer oder Balkone eignen sich hingegen durchaus für die Montage eines PV-Moduls – der Energieertrag ist dann zwar nicht so üppig wie bei einer klar nach Süden ausgerichteten Solaranlage,

doch ein Ost-/West-Dach ist für die Optimierung des Eigenverbrauchs durchaus interessant, da es morgens und abends mehr Sonne abbekommt.

Ist eine geeignete Fläche vorhanden, muss geklärt werden, ob die Montage von PV-Modulen dort möglich und zulässig ist. Anfang Juli beschloss der Bundestag eine Reform (siehe Kasten „Erleichterungen des Solarpakets I“), die die rechtlichen Hürden senkt: Balkonkraftwerke zählen künftig zu den privilegierten baulichen Veränderungen, sodass Vermieter und Eigentümergemeinschaften diese nicht mehr einfach ablehnen können. Sagt der Vermieter trotzdem „Nein“, haben Mieter vor Gericht gute Chancen, ihr Ansinnen durchzusetzen. Eigentümerge meinschaften müssen per Beschluss festlegen, wie Balkonkraftwerke gestaltet sein sollen, dürfen dabei aber keine überzogenen Vorgaben machen, die die Installation letztlich verhindern (siehe c't 17/2024, S. 28). Bis Redaktionsschluss hatte der Bundesrat dieser Reform noch nicht zugestimmt.

Der Denkmalschutz und regionale Bebauungs vorschriften können aber durchaus hinderlich sein. Je nach Bundesland kommen noch Abstandsregeln zu Nachbargebäuden hinzu, was vor allem in Reihenhausiedlungen zu Problemen führen kann.

Sind die formalen und geografischen Gegebenheiten geklärt, bleibt bei Dachanlagen noch der Statik-Check: Ist der Dachstuhl tragfähig genug für die vorgesehenen PV-Module? Bei Flachdächern: Sind die Dacheindeckung und die Unterkonstruktion solide genug, damit sie die hier üblicherweise auf geständerten Module nebst Ballast auch tragen? Und ganz wichtig bei allen Dachformen: In welchem Zustand ist die Dacheindeckung? Steht hier in den nächsten Jahren eine Sanierung an, sollte diese vorgezogen werden. Andernfalls muss die PV-Anlage wieder demontiert und neu aufgebaut werden. Das ist sehr teuer, denn ein wesentlicher Kostenfaktor ist bei PV-Anlagen die Arbeitszeit.

Ist am Aufstellungsort der PV-Module alles überprüft, gilt bei größeren Anlagen der nächste kritische Blick dem Zählerkasten. Damit eine PV-Anlage angeschlossen werden kann, muss die vorhandene Installation halbwegs modern sein und noch genug Platz für den Wurzelzähler (dazu später mehr), Leitungsschutzschalter (Sicherung) und einen Fehlerstromschutzschalter (Fl, meist Typ B) bieten. Bei einer dreiphasig angeschlossenen Anlage sind dafür mindestens zehn freie Teilungseinheiten (TE) erforderlich. Wenn noch nicht vorhanden, muss auch noch ein Überspannungsschutz und ein selektiver Leitungsschutzschalter im Zählerkasten eingebaut

oder erneuert werden. Welche Umbauten am Zählerkasten tatsächlich erforderlich sind, ermittelt der Elektriker in der Regel bei der Ortsbegehung.

Hier lauert dann auch schon die erste Falle, denn vor allem die bei Google so schnell gefundenen überregionalen PV-Anlagenanbieter erstellen Angebote oft ohne vorherige Ortsbesichtigung. Im Angebot steht dann mitunter „Anschlussarbeiten nach Aufwand“. So ein Angebot ist eigentlich gar keines, denn ein Zählerkastenumbau kann gern mal mit zwei- bis dreitausend Euro zu Buche schlagen. Generell empfehlen wir, bei Anlagengrößen jenseits eines Balkonkraftwerks nur Kauf- und Installationsverträge zu unterschreiben, die die Kosten fix und nicht nach Aufwand angeben. So eine Kalkulation ist seriös nur nach einer Ortsbegehung mit Check des Aufstellungsorts, des Zählerkastens und der Kabelwege möglich.

Angebote, die Positionen „nach Aufwand“ oder nicht näher spezifizierte Öffnungsklauseln bei „Mehraufwand“ enthalten, sind nicht zu empfehlen. Dennoch findet man solche Scheinangebote mit oft verblüffend niedrigen Preisen zuhauf. Das ist auch nicht weiter verwunderlich, denn viele Anbieter im Netz bauen die offerierten PV-Anlagen gar nicht selbst auf. Sie vermitteln nur den Auftrag an lokale Partner und erhalten dafür eine Provision. Das ausführende Unternehmen ist dann der eigentliche Auftragnehmer, der die Gegebenheiten vor Ort erst mal in Augenschein nimmt und die Installation erledigt. Öffnungsklauseln im Angebot führen dann „wegen des erheblichen Mehraufwands“ gern mal zu deutlich höheren Kosten. Wer dann auch noch eine Anzahlung bei Auftragserteilung geleistet hat, tut sich schwer, wegen der gestiegenen Kosten noch vom Vertrag zurückzutreten.

Die Technik

Die bislang aufgeworfenen Fragen kann man zumeist grob vorab klären und den Anbieter bei der Ortsbesichtigung vor Angebotserstellung auf mögliche Besonderheiten hinweisen. So kommt man zu einem seriösen, weil realistischen Angebot. Um die offerierten Komponenten zu beurteilen, benötigt man etwas Sachkunde. Bei den PV-Modulen selbst ist das inzwischen recht einfach geworden: Angeboten werden zumeist nur noch Elemente, die aus monokristallinen Halbzellen aufgebaut sind.

Ältere PV-Module mit polykristallinen Solarzellen oder Vollzellen findet man eigentlich nur noch im

Gebrauchsmarkt und auf so mancher Resterampe. Bei Neuanlagen sollte man solche Module nicht mehr verwenden, da diese nicht nur einen deutlich geringeren Wirkungsgrad (12-16 Prozent) als monokristalline Zellen (16-22 Prozent) aufweisen, sondern durch die Degradation während der Nutzung weniger Ertrag als im Neuzustand liefern. PV-Module altern nämlich über die Zeit. Besonders in den ersten Nutzungstagen verlieren kristalline Solarzellen ein bis zwei Prozent ihres anfänglichen Wirkungsgrads. Das berücksichtigen die meisten Hersteller aber bereits bei dem im Datenblatt angegebenen Wirkungsgrad. Danach beträgt die Degradation bei modernen Zellen etwa 0,1 Prozent pro Jahr. Deshalb kann man bei aktuellen PV-Modulen von einer Lebensdauer von etwa 30 Jahren ausgehen.

Ältere Zellen verlieren pro Jahr vor allem durch Spannungsschwankungen und Umwelteinflüsse bis zu 0,5 Prozent ihres ursprünglichen Wirkungsgrads. Nach zehn Jahren hat ein älteres Modul also noch 95 Prozent seines anfänglichen Wirkungsgrads (15 -> 14,25 Prozent). Das ist kein Grund, ältere Solarmodule gleich zu verschrotten: Als geprüfte und aufgearbeitete Module können sie durchaus noch ein zweites Leben auf Flächen haben, bei denen es nicht auf maximale Energieausbeute pro Quadratmeter ankommt.

Zweigesichtig

Die Module mit dem höchsten Wirkungsgrad nutzen bifaziale Solarzellen. Hier erzeugt nicht nur das auf die Vorderseite fallende Licht Energie, sondern auch das, das die Zellenrückseite erreicht. Die Produktion einer bifazialen Zelle erfordert nur wenige zusätzliche Bearbeitungsschritte: Die Rückseite der Zellen wird poliert und durch Passivierung photoaktiv gemacht. Das geschieht, indem durch einen Plasmaprozess eine wasserstoffreiche Silizium-Nitrid-Schicht (SiN:H) auf der Solarzellenoberfläche aufgebracht wird. Anschließend folgt ein thermischer Prozess, wodurch der Wasserstoff aus dieser Schicht in das Volumen der Solarzelle eindringen kann. Der Wasserstoff bildet dort sogenannte Rekombinationszentren und gleicht so beispielsweise Verunreinigungen aus. Die so bearbeitete Rückseite wird dann für die Kontaktierung geöffnet. All das lässt sich leicht in den etablierten Herstellungsprozess integrieren, weshalb heute oft bifaziale Module angeboten werden. Ihr Einsatz lohnt sich vor allem, wenn die Module tatsächlich Sonnenlicht auf die Rückseite abbekommen. Solar-

zäune, aber auch Carports und Dächer mit hellen Ziegeln bieten hier gute Voraussetzungen.

Der sogenannte bifaziale Zugewinn liegt je nach Bauart und Ausstellungssituation zwischen 5 und 30 Prozent. Ein monofaziales Modul mit einem angenommenen Wirkungsgrad von 15 Prozent kann als bifaziales Modul also einen Wirkungsgrad zwischen 15,75 und 19,5 Prozent erreichen.

Einen ähnlichen Weg nutzen sogenannte PERC Module (Passivated Emitter and Rear Cell). Sonnenlicht besteht aus einem weiten Spektrum aus Licht verschiedener Wellenlängen. Besonders die langwellige roten Anteile durchdringen die Zelle, ohne dabei Elektronen freizusetzen. Um diesen Lichtanteil zu nutzen, besitzen PERC-Module an der Rückseite eine durch Passivierung erzeugte reflektierende Schicht, die das langwellige Licht erneut durch das Modul schickt. Das erhöht den Wirkungsgrad um etwa ein Prozent.

Zum höheren Wirkungsgrad moderner PV-Module trägt auch die Verwendung sogenannter Halbzellen (oft HC für „half cut“ abgekürzt) bei. Halbzellen sind im Prinzip nichts anderes als durchgeschnittene Standardzellen. Durch die Halbierung verringert sich der Strom, der durch die einzelne Zelle fließt und

das verringert wiederum die dabei auftretende Verlustleistung ($P_v = R \times I^2$).

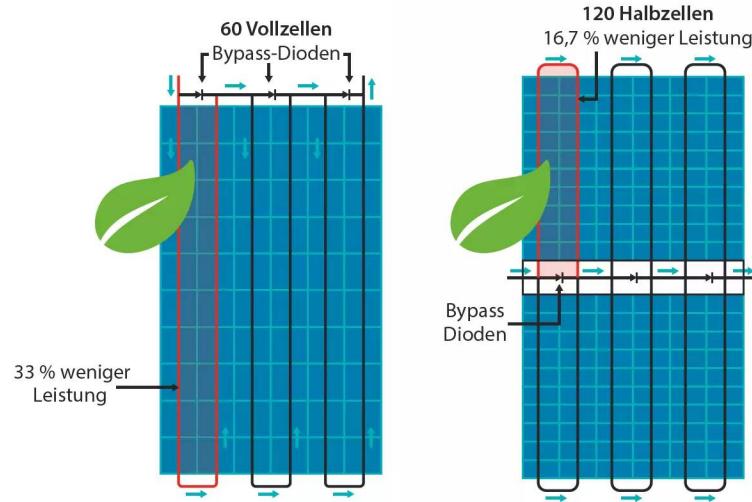
Typische PV-Module bestehen aus 60 Vollzellen, die aus drei Strings mit je 20 Zellen und je einer Bypassdiode verschaltet werden. Bei Halbzellmodulen werden 120 Halbzellen auf sechs Strings und drei Bypassdioden verteilt. Das verbessert auch das Verhalten des Moduls bei Teilverschattung. Zudem entsteht durch die Halbzellen zusätzlicher Raum zwischen den Zellen. Das bewirkt mehr Reflexion innerhalb des Laminats und erhöht so die Ausbeute des Moduls. Dieser Effekt ist auch für die bessere Ausbeute bei diffuser Sonneneinstrahlung verantwortlich.

Bauformen

Ein typisches PV-Modul besteht aus einer dünnen Schicht (0,8-3,2 Millimeter) gehärtetem Solarglas, dem Laminat mit den kontaktierten und vergossenen Solarzellen und einer Rückseite. Günstige Module nutzen eine Plastikfolie als Rückseite (Glas-Folie), robustere Module verwenden auch rückseitig eine Glasscheibe (Glas-Glas). Die zusätzliche Glasscheibe auf der Rückseite schützt nicht nur, sondern

Beschattungsverhalten von PV-Modulen

Bei Halbzellenmodulen sinkt die Leistung bei Teilverschattung weniger als bei Modulen mit Vollzellen.





PV-Module gibt es in den unterschiedlichsten Bauformen. Von links nach rechts: der Klassiker mit Rahmen, rahmenloses Glas-Glas-Modul, flexibles Folienmodul, Solarziegel und In-Dach-Module.

stellt auch sicher, dass sich die Solarzellen in der Mitte bei Belastung gleichmäßig und spannungsfrei biegen. Das beugt nicht nur Zellenbrüchen besser vor, sondern erhöht auch die Schneefestigkeit. Dafür sind Glas-Glas-Module etwas teurer und deutlich schwerer als Glas-Folien-Module. Ein Aluminiumrahmen trägt und schützt die Konstruktion.

Für Sonderanwendungen wie etwa Terrassenüberdachungen oder Carports werden gern rahmenlose Glas-Glas-Module genutzt. Diese sind teiltransparent, lassen also in den Lücken zwischen den eingebetteten Solarzellen noch Sonnenlicht durch. Die Transparenz schwankt hier zwischen 5 und 51 Prozent, je nachdem, wie viel Abstand der Hersteller zwischen den Solarzellen gelassen hat. Die Leistung solcher Module ist naturgemäß geringer als bei klassischen Modulen, denn wo keine Solarzelle ist, kann schließlich auch kein Licht in elektrische Energie umgewandelt werden. Zudem nutzen aktuell alle Hersteller nur Vollzellenmodule. Rahmenlose Glas-Glas-Module sind deutlich teurer (ab 170 Euro für 245 Wp) und schwerer als PV-Module mit Rahmen. Es gibt sie mit Glasstärken zwischen hauchdünnen 5 (2-1-2) und robusten 9 Millimetern (4-1-4).

Die Sonderform unter den Sonderformen sind Isolierglas-Solarmodule. Sie ersetzen normale Isolierglas-Elemente und werden mitunter für Wintergärten, Glasfassaden und andere glasüberdachte Wohnbereiche eingesetzt. Der Spaß ist allerdings sündhaft teuer, dafür gibt es solche PV-Elemente aber auch in individuellen Maßen und Formen.

Neben den typischen auf dem Dach montierten PV-Modulen bieten einige Hersteller auch sogenannte In-Dach-PV-Module als Alternative zu Dach-

ziegeln an. Das verspricht auf den ersten Blick geringere Kosten vor allem bei Neubauten; schließlich entfällt hier die klassische Dacheindeckung. Das Ganze hat aber einen entscheidenden Haken: Mangels Standardisierung kocht hier jeder Anbieter sein eigenes Süppchen. Geht also mal eines dieser integrierten Module kaputt, muss es gegen ein baugleiches Modell vom gleichen Hersteller ersetzt werden.

Ahnliches gilt auch für Solardachziegel: Auch hier gibt es bislang keinen einheitlichen Standard und als Kunde kann man nur hoffen, dass es im Falle eines Falles noch passende Ersatzziegel gibt. Zudem haben Solarziegel sehr viele elektrische Kontakte und jeder zusätzliche Kontakt ist auch immer eine potenzielle Fehlerquelle.

Vor dem Modulkauf sollte man sich die wichtigsten Kenngrößen der ins Auge gefassten Module genau ansehen: Passen die Module von ihren Dimensionen (Abmessungen, Bauform, Gewicht) zum Aufstellungsort? Was leistet das Modul unter Idealbedingungen (Nennleistung (PMPP), Wirkungsgrad)? Passen die elektrischen Kenngrößen (Leerlaufspannung (UOC), Nennspannung (UMPP), Nennstrom (IMPP), Kurzschlussstrom (ISC) zum Wechselrichter?

Wechselrichter

Neben den PV-Modulen ist der Wechselrichter das zweite bestimmende Element einer Solaranlage. Bei Wechselrichtern unterscheidet man je nach Konstruktionsweise zwischen Mikrowechselrichtern, String-Wechselrichtern und Hybridwechselrichtern. Solaranlagen mit nur wenigen Modulen nutzen üblicherweise Mikrowechselrichter. Diese können

ein bis sechs Module ansteuern. Das Besondere ist hier, dass jedes Modul einzeln an den Wechselrichter angeschlossen wird. Ein sogenannter MPP-Tracker (Maximum Power Point) pro PV-Anschluss sucht hier für jedes Modul den optimalen Arbeitspunkt. Der MPP-Tracker passt dazu kontinuierlich die Last an und bestimmt so das ideale Strom- und Spannungsverhältnis.

Die meisten Mikrowechselrichter sind für Balkonkraftwerke vorgesehen. Sie steuern ein oder zwei

PV-Module an und liefern nur dann Energie, wenn sie ans Netz angeschlossen sind und dort auch Spannung anliegt. Das ist vor allem für Balkonkraftwerke mit einfacherem Schuko-Stecker elementar, damit die Kontakte bei gezogenem Stecker keine Spannung führen. Bei Stromausfall liefern sie deshalb auch keinen Notstrom. Dafür sind Mikrowechselrichter einfach in der Handhabung. Hohe Gleichspannungen treten hier nicht auf. Damit so ein Mikrowechselrichter korrekt arbeitet, müssen die an-



**Für jeden Anwendungsfall
der richtige Wechselrichter:
In kleinen Anlagen kommen
meist Mikrowechselrichter
zum Einsatz. String-Wechsel-
richter und Hybridwechsel-
richter versorgen üblicher-
weise größere Dachanlagen.**

geschlossenen Module passen. Das heißt, sie dürfen keine höhere Leerlaufspannung (UOP) liefern als die maximale Eingangsspannung des Wechselrichters. Gleichermaßen gilt für die Maximallistung des Moduls. Sie muss im Bereich der zulässigen Eingangsleistung (STC) liegen. Auch den maximalen Eingangstrom des Wechselrichters darf das angeschlossene PV-Modul nie überschreiten.

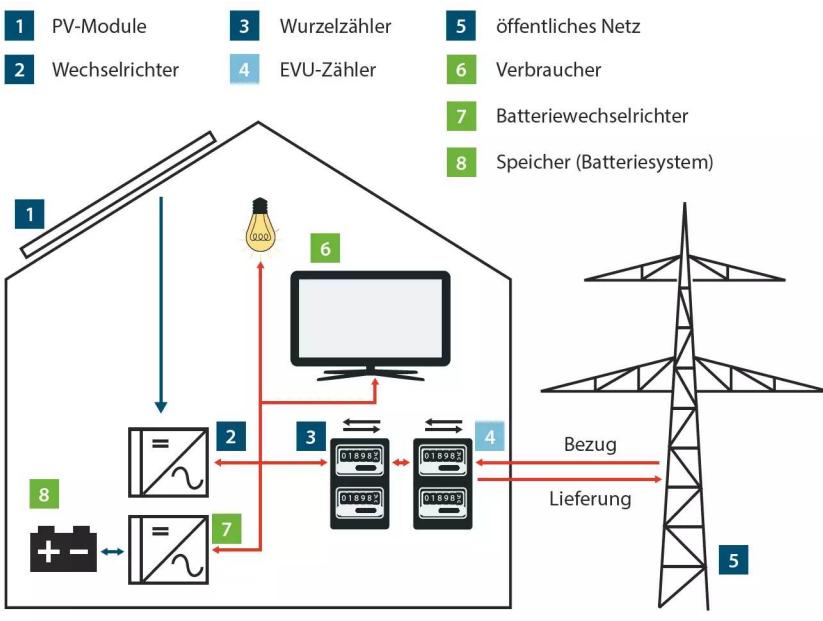
Eine Sondervariante der Mikrowechselrichter sind sogenannte Modulwechselrichter. Sie steuern jeweils nur ein PV-Modul an, werden aber an der Netzeite parallelgeschaltet. Eine Zentrale steuert die einzelnen Wechselrichter und ermöglicht auch eine modulgenaue Ertragsüberwachung. Modulwechselrichter sind durchaus für den Aufbau größerer PV-Anlagen gedacht. Ihre Hersteller versprechen besonders bei wechselnder Verschaltung einen besseren Gesamtertrag, weil jedes Modul stets im optimalen Arbeitspunkt betrieben wird. Ohne (wechselnde) Verschaltung haben Modulwechselrichter allerdings einen geringeren Gesamt-

wirkungsgrad als etwa die nachfolgend behandelten String-Wechselrichter. Zudem besteht eine PV-Anlage mit Modulwechselrichtern aus sehr vielen Einzelkomponenten und einer recht üppigen Verdrahtung. Das erhöht die Ausfallwahrscheinlichkeit, auch wenn ein Defekt an einem einzelnen Modul oder einem Modulwechselrichter hier nicht zum Ausfall der gesamten Anlage führt. Zudem sind größere PV-Anlagen mit Modulwechselrichtern in der Regel teurer als solche mit String-Wechselrichtern.

Werden einzelne Teile der PV-Anlage zeitweise beschattet, bieten sich als Alternative zu Modulwechselrichtern sogenannte Leistungsoptimierer an. Sie haben einen integrierten MPP-Tracker, steuern wie ein Modulwechselrichter ein einzelnes PV-Modul an und sorgen in der Theorie auch bei Teilverschattung für einen optimalen Arbeitspunkt. Ihr Ausgang liefert Gleichspannung und wird in den jeweiligen String eingebunden. Der Einsatz von Moduloptimierern ist aber in der Praxis oft nicht sinnvoll: Zum einen ist der Optimierer ein zusätz-

AC-gekoppelter Solarspeicher

Wechselspannungsgekoppelte Speichersysteme (AC-gekoppelt) kommen vornehmlich zum Nachrüsten infrage. Ihr Speichersystem hat einen eigenen Wechselrichter.



licher Kostenfaktor und eine zusätzliche Fehlerquelle. Zum anderen sind moderne PV-Module mit Halbzellen mit ihren sechs Bereichen und den integrierten Bypass-Dioden in vielen Beschattungssituationen annähernd gleichwertig. Zudem raten viele Wechselrichterhersteller explizit von der Nutzung von Leistungsoptimierern ab.

An einem Strang

An einen String-Wechselrichter werden nicht einzelne Module, sondern ein oder mehrere Strings, also in Reihe geschaltete PV-Module, angeschlossen. Pro String gibt es einen MPP-Tracker. Deshalb ist es wichtig, dass alle PV-Module im Strang die gleiche Ausrichtung haben, und idealerweise kein Modul verschattet wird. Hat man also ein Dach mit Ost-West-Ausrichtung, werden alle PV-Module auf dem Ost-Dach in einem String zusammengefasst. Die Module auf dem West-Dach bilden dann den zweiten Strang. Gibt es noch Dachteile mit weiterer Ausrich-

tung, muss man gegebenenfalls einen zusätzlichen Wechselrichter vorsehen.

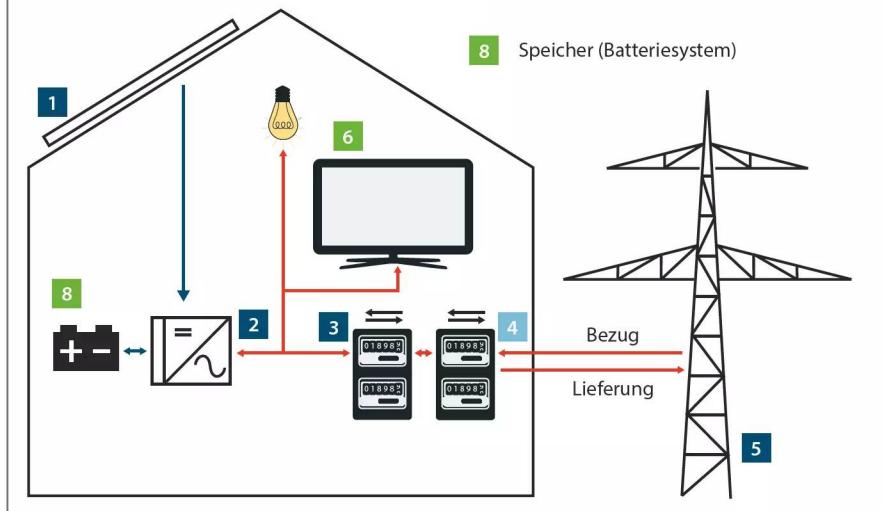
Durch die Reihenschaltung der PV-Module entstehen am Wechselrichter mitunter Gleichspannungen von mehreren hundert Volt. Das erfordert besondere Vorsicht beim Anschluss der Module und der Strings an den Wechselrichter. Gleichspannungen jenseits von 120 Volt können schließlich zu einem potenziell tödlichen Stromfluss durch den menschlichen Körper führen. Auch beim String-Wechselrichter müssen die maximale Strangspannung, die Gesamtleistung und die übrigen elektrischen Parameter zur Modulanzahl und Modulaufteilung passen. Die Montage einer Dachanlage mit String-Wechselrichter ist deshalb eher nichts für fachfremdes Personal.

Ein Hybridwechselrichter ist im Prinzip ein String-Wechselrichter mit zusätzlichem Gleichspannungsein- und -ausgang, der mit einem Akku verbunden werden kann. Überschüssige, nicht direkt von der Hausinstallation genutzte Energie speichert der Hybridwechselrichter im angeschlossenen Akku; liefern die PV-

DC-gekoppelter Solarspeicher

Gleichspannungsgekoppelte Speicher (DC-gekoppelt) sind typisch für PV-Anlagen im privaten Umfeld. Deren Hybridwechselrichter steuert auch den Akku an.

- | | | | | | |
|----------|----------------|----------|--------------|----------|-------------------|
| 1 | PV-Module | 3 | Wurzelzähler | 5 | öffentliches Netz |
| 2 | Wechselrichter | 4 | EVU-Zähler | 6 | Verbraucher |

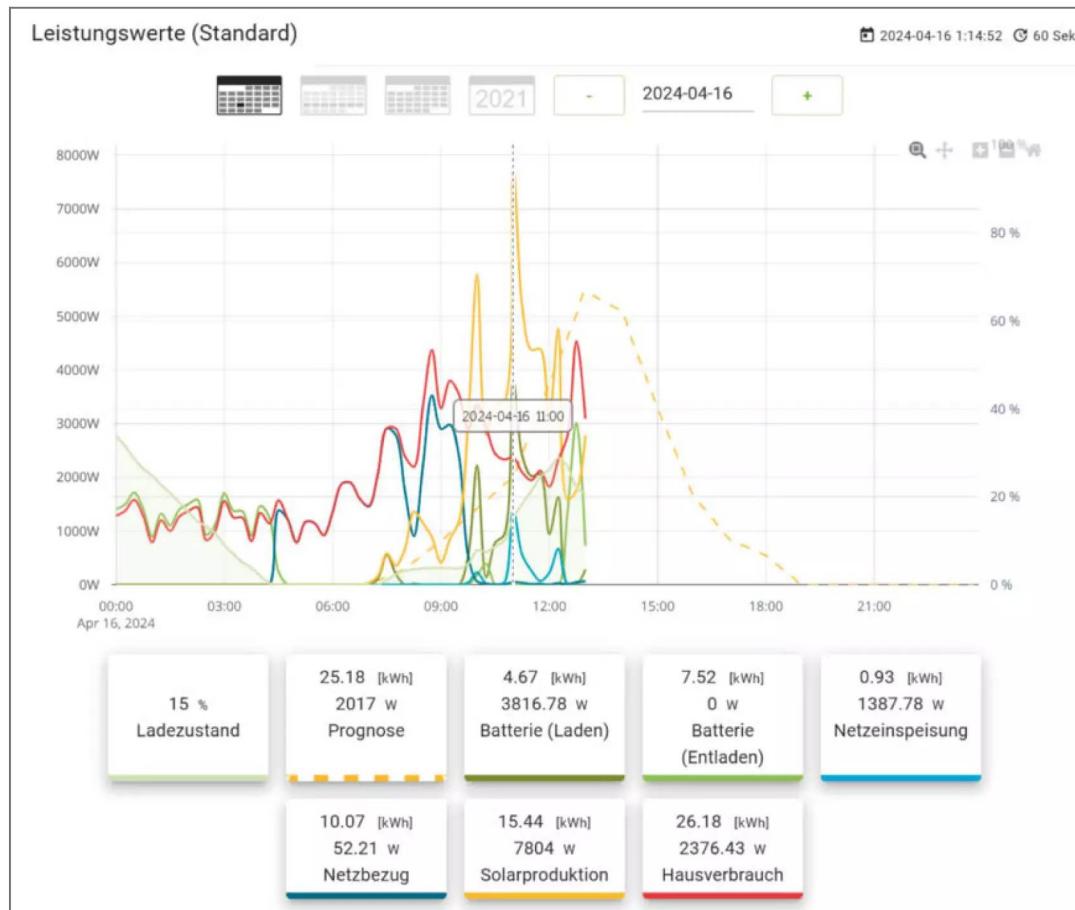


Module hingegen nicht mehr die benötigte Energie, zapft der Hybridwechselrichter den Akku an, bis dieser leer ist. Erst dann holt sich das System Energie aus dem Netz des Versorgers. Sind die Komponenten richtig ausgelegt, muss man zumindest in der sonnigen Jahreshälfte keinen teuren Strom einkaufen.

Manche Hybridwechselrichter bieten bei angeschlossenem Akku auch noch eine Notstromversorgung an. Je nach Bauform steht der Notstrom nach einem Netzausfall an einem speziellen Ausgang oder aber auch im gesamten Haus zur Verfügung. Anders als bei einer USV wird die Spannungsversorgung nicht kontinuierlich sichergestellt. Schließlich muss der Wechselrichter bei einem Netzausfall zunächst das Netz von der Hauselektrik trennen, bevor er das Gebäude mit der aus dem Akku und

der noch von den PV-Modulen gelieferten Energie versorgt. Ohne Netztrennung würde man die gesamte Straße mit Energie versorgen. Das ist zum einen gefährlich, denn ein Netzausfall oder eine Netzbabschaltung hat in der Regel einen Grund. Zum anderen wäre jeder noch so große Akku ratzefatz leer, wenn alle Nachbarn Energie abzapfen.

Ähnlich wie beim Netzausfall verhält sich der Wechselrichter auch bei der Wiederkehr des Netzes: Der Wechselrichter unterbricht zunächst die Hausversorgung via Akku beziehungsweise PV-Modulen und stellt danach wieder eine Verbindung zum Netz des Energieversorgers her. In beiden Fällen gibt es deshalb eine kurze Unterbrechung der Energieversorgung. Für Server und andere kritische Elemente muss deshalb immer noch eine USV her.



Obwohl der PV-Akku noch längst nicht voll ist und genug Solar-energie zur Verfügung steht, wird Strom ins Netz eingespeist. Schuld daran ist die Begrenzung der maximalen Ladeenergie beim Akku-System.

Wer sich die Leistungskurven einer PV-Anlage mit Akku genauer ansieht, wird immer mal wieder bemerken, dass Energie ins Netz eingespeist wird, obwohl der Akku noch gar nicht voll ist. Das liegt daran, dass jedes Akkusystem und jeder Wechselrichter eine maximale Ladeleistung hat. Diese liegt je nach System meist zwischen zwei und sechs Kilowatt und damit deutlich unterhalb der üblicherweise aus dem Wechselrichter-Akku-Gespann beziehbaren Ausgangsleistung.

Hybridwechselrichter gibt es auch mit integriertem Akku. Das macht das System sehr kompakt, schränkt aber die Erweiterbarkeit des Akkus mitunter ein. Wer mit so einer Lösung liebäugelt, sollte viel Sorgfalt bei der Wahl der Akkukapazität walten lassen. Zwar gibt es für einige dieser integrierten Lösungen Akku-Erweiterungssysteme, doch häufig ist eine Akku-Erweiterung nur innerhalb des ersten Betriebsjahres und ausschließlich über den Hersteller möglich. Das liegt an der unvermeidlichen Alterung der Akkuzellen: Mischt man alte und neue Zellen, kommt das Batteriemanagementsystem möglicherweise ins Trudeln.

Jeder größere Wechselrichter arbeitet mit einem sogenannten Wurzelzähler. Er sitzt zwischen dem Zähler des Energielieferanten und dem Hausanschluss. Über diesen Zwischenzähler erfährt der Wechselrichter, wie viel Energie aktuell vom Haus umgesetzt wird und wie viel Energie zurück ins Netz des Versorgers fließt. So kann beispielsweise ein Hybridwechselrichter entscheiden, ob der angeschlossene Akku lädt oder Energie abgeben soll. Schließlich will man den Akku nur mit Solarstrom und nicht mit teurem Netzstrom befüllen.

Der Wurzelzähler ist oft ein eigenständiges Gerät, das meist via Modbus (RS-485 oder Modbus TCP) angesprochen wird. Einige Hybridwechselrichter integrieren den Wurzelzähler aber auch. Das macht den Anschluss ans Hausnetz etwas komplizierter, weil dann zwei dicke Leitungen ($5 \times 16 \text{ mm}^2$) vom Zählerkasten zum Wechselrichter geführt werden müssen.

Batteriespeicher

Speichersysteme für PV-Anlagen arbeiten zumeist als sogenannte gleichspannungsgekoppelte Systeme (DC-gekoppelt). Der Akku wird direkt vom Hybridwechselrichter angesteuert und in der Regel ausschließlich über die von den Solarmodulen gelieferte Gleichspannung geladen. Das macht die Anlage nicht nur kompakt, sondern ermöglicht auch eine vergleichsweise unkomplizierte Steuerung.

Zum Nachrüsten setzt man hingegen oft wechselspannungsgekoppelte Speichersysteme (AC-gekoppelt) mit zwei getrennten Wechselrichtern ein: einer für die eigentliche PV-Anlage, einer zur Ansteuerung des Akkus. Der Akku wird in so einem System aus dem Hausnetz (Wechselspannung) geladen. Damit das immer nur dann passiert, wenn überschüssiger Solarstrom zur Verfügung steht, muss der zweite Wechselrichter entweder direkt mit dem Wechselrichter der PV-Anlage kommunizieren oder über einen eigenen, zusätzlichen Wurzelzähler verfügen.

Moderne PV-Akkus nutzen in der Regel Lithium-Eisenphosphat-Zellen (LiFePO₄, ca. 10 kg/kWh). Diese haben zwar eine geringere Energiedichte als etwa Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt- (Li-NMC, 6-7 kg/kWh) oder Lithium-Nickel-Kobalt-Aluminiumoxid-Zellen (Li-NCA). Dafür sind sie in der Anschaffung günstiger und im Betrieb sicherer. Zudem spielen das höhere Gewicht und Volumen beim stationären Einsatz keine so große Rolle wie etwa in Elektrofahrzeugen. Aktuelle LiFePO₄-Akkus halten bei entsprechend optimiertem Batteriemanagementsystem 15 bis 20 Jahre, die energiedichteren Li-NMC- oder Li-NCA-Akkus altern hingegen deutlich schneller.

Bei PV-Speichersystemen unterscheidet man zwischen Hochvolt- und Niedervoltakkus. Hochvoltsysteme arbeiten mit Gleichspannungen zwischen 100 und 500 Volt. Sie eignen sich gut für leistungsstarke PV-Akkus. Niedervoltsysteme mit typischerweise 48 Volt Spannung findet man hingegen häufiger in kleinen Anlagen oder bei Insellösungen, also PV-Anlagen ohne Netzanschluss. Welcher Speichertyp benötigt wird, bestimmt der Wechselrichter.

Rechtliche Hürden

PV-Anlagen mit einer Maximalleistung jenseits von 800 Watt müssen von einer Fachfirma installiert und aktuell sowohl im Markenstammregister als auch beim Netzbetreiber angemeldet werden. Während die Registrierung im Markenstammregister weitgehend standardisiert ist und in Eigenregie erledigt werden kann, wird die Anmeldung beim Netzbetreiber gern mal zum nervenaufreibenden Marathon. Jeder Netzbetreiber kocht da nach wie vor sein eigenes Süppchen und wartet schon mal mit überraschenden Zusatzforderungen auf, wie etwa der Installation eines sogenannten APZ-Feldes im Zählerschrank für später zu installierende intelligente Stromzähler. Die Anmeldung muss stets durch einen beim Netzbetreiber registrierten

Erleichterungen des Solarpakets I

Das Solarpaket I bringt vor allem für Privatleute erhebliche Vereinfachungen mit sich. So wurde die Meldepflicht für Balkonkraftwerke beim Netzbetreiber abgeschafft und die Menge der im Markenstammregister anzugebenden Daten drastisch reduziert. Gleichzeitig ist die zulässige Wechselrichterleistung bei Balkonkraftwerken von derzeit 600 Watt auf 800 Watt gestiegen. Auch nahm der Gesetzgeber den Energieversorgern die Möglichkeit, die Inbetriebnahme eines Balkonkraftwerk durch einen verzögerten Zählerwechsel zu blockieren. Übergangsweise sind jetzt auch rückwärts laufende Zähler geduldet. Es ist dann am Netzbetreiber, für einen zügigen Zählerwechsel zu sorgen. Auch das leidige Thema „Wieland-Stecker“ adressiert das Solarpaket. Allerdings ist das keine gesetzgeberische, sondern vielmehr eine eher technische Frage. Das soll in einer überarbeiteten Norm durch den VDE geregelt werden.

Für größere PV-Anlagen mit einer Maximalleistung von bis zu 30 kWp findet inzwischen das vereinfachte Netzanschlussverfahren Anwendung. Bislang galt das nur für kleine Anlagen mit bis zu 10,8 kWp. Auch die technischen Anforderungen an kleinere Anlagen bis zu 25 kWp sind gesunken. So ist keine Pflicht mehr zur Installation von Steuerungselementen zur Anlagenabschaltung durch den Netzbetreiber vorgesehen. Das soll die optionale Direktvermarktung des erzeugten Stroms vereinfachen. Die konkrete technische Umsetzung einer Steuerungsoption soll vielmehr in bilateralen Verträgen zwischen dem privaten Erzeuger und dem Direktvermarkter geregelt werden. Auch das Repowering von Dachanlagen, also der Austausch älterer PV-Module gegen leistungsfähigere, soll vereinfacht werden.

Die Einführung der „Gemeinschaftlichen Gebäudeversorgung“ ermöglicht eine unbürokratische Lieferung von PV-Strom innerhalb eines Gebäudes. Die Weitergabe von PV-Strom ist von weitergehenden Lieferantenpflichten wie etwa der Pflicht zur Reststromlieferung befreit. Damit sind Modelle möglich, bei denen private und gewerbliche Mieter und Eigentümer innerhalb eines Gebäudes erst einmal mit dem auf dem Gebäude erzeugten PV-Strom versorgt werden und jeder Mieter den verbleibenden Energiebedarf von einem anderen Lieferanten beziehen kann.

Auch beim klassischen Mieterstrom-Modell gibt es Erleichterungen: Mieterstrom darf künftig auch auf gewerblichen Gebäuden und Nebenanlagen erzeugt werden, solange der Stromverbrauch ohne Netzdurchleitung erfolgt. Zudem dürfen mehrere PV-Anlagen zu einer zusammengefasst werden, was den zuvor unverhältnismäßig hohen technischen Aufwand bei der Energieerzeugung, Verteilung und vor allem der Abrechnung reduziert.

Daneben bietet das Solarpaket I noch viele weitere Erleichterungen für gewerbliche PV-Anlagen. Beispielsweise ist die Pflicht zur Direktvermarktung bei Anlagen mit mehr als 100 kWp entfallen. Überschussmengen können nun an den Netzbetreiber weitergegeben werden, wenngleich ohne Vergütung für die eingespeiste Energie. Das ist vor allem für Anlagen mit hohem Eigenverbrauch interessant. Zudem ist die aufwendige Anlagenzertifizierung künftig erst ab einer Einspeiseleistung von 270 kW beziehungsweise einer installierten Leistung von mehr als 500 kWp erforderlich. Weitere Regulierungen fördern den Ausbau von Freiflächenanlagen.

Fachbetrieb erfolgen. Zudem darf die PV-Anlage erst in Betrieb genommen werden, wenn der Energieversorger sein OK gibt. Das kann sich durch den allfälligen Zählertausch – es wird ein Zweirichtungszähler benötigt – schon mal über Monate hinziehen.

Etwas einfacher ist die Lage bei kleinen PV-Anlagen mit maximal 800 Watt maximaler Wechselrichterleistung. Solche Balkonkraftwerke darf jeder selbst aufbauen. Sie müssen seit dem Inkrafttreten des sogenannten Solarpaket I nur noch im Markenstammregister angemeldet werden, rückwärtsdre-

hende Zähler dürfen übergangsweise weiterverwendet werden.

Trotz Solarpaket I wird es abgesehen von KfW-Krediten wohl keine übergreifende staatliche Förderung privater PV-Anlagen mehr geben. Wer die Anschaffung einer größeren Anlage (mehr als 800 Watt) plant, sollte sich aber vor Vertragsabschluss umhören, ob es nicht doch regionale Fördertöpfe gibt, die man anzapfen kann. Manche Kommunen und auch einige Stadtwerke geben nach wie vor Zuschüsse, wenn man das eigene Dach mit PV-Modulen belegt.

Mehr zu den Themen
Solarpaket I und
Leistungsoptimierern
ct.de/w9jn

The Conference for Frontend Development



November 12 to 14 | Cologne

Three days full of frontend know-how

40 talks + workshops + friendly atmosphere
many networking opportunities + good food

Meet us at ctwebdev.de





Bild: KU | Beitritung c't

Photovoltaik im Mehrfamilienhaus

Während der Ausbau von Photovoltaik auf Einfamilienhäusern schnell vorangeht, sind viele Dächer von Mehrfamilienhäusern ungenutzt. Das hat eine Reform der Bundesregierung geändert: Die gemeinschaftliche Gebäudeversorgung verspricht günstigen Strom für Mieter und hohe Renditen für Vermieter bei wenig Bürokratie, weil der Strom im Haus verrechnet wird.

Von Jan Mahn

Deutschland hat seine Begeisterung für Photovoltaik wiederentdeckt und im Jahr 2023 über 14 Gigawatt Erzeugungsleistung zugebaut, auf Freiflächen und Dächern von Landwirtschaft, Industrie und Gewerbe, auf Supermärkten und Ein-

familienhäusern. Nur ein Dach wird bis dato kaum genutzt: das auf dem Mehrfamilienhaus. Und das muss absolut nicht sein, wenn man betrachtet, wann eine PV-Anlage besonders wirtschaftlich ist, nämlich dann, wenn der Eigenverbrauch besonders

hoch ist. Während Stromkunden mit allen Abgaben beim Energieversorger oft mehr als 30 Cent pro Kilowattstunde bezahlen müssen, bekommen Anlagenbetreiber fürs Einspeisen nach EEG nur rund 7 Cent.

Weil das so ist, optimieren vor allem die Einfamilienhausbesitzer ihren Eigenverbrauch mit Akkus, steuerbaren Wallboxen und durchs Verlagern des Verbrauchs auf die Sonnenstunden. Denn im Einfamilienhaus leben wenig Menschen pro Quadratmeter Dachfläche. Im Mehrfamilienhaus sieht das ganz anders aus, dort leben mehrere Parteien unter einem Dach, haben also auch ohne Speicher und Optimierungen schon einen vergleichsweise hohen Eigenverbrauch.

Dass diese Dächer dennoch kaum genutzt werden, hat rein bürokratische Gründe, denn im Mehrfamilienhaus hat jede Wohnung einen eigenen Zähler und eine Solaranlage kann man nicht hinter allen Zählern gleichzeitig anschließen. Strom vom Dach muss also irgendwie rechnerisch verteilt werden. Bisher gab es dafür nur ein vom Gesetzgeber vorgesehenes Modell: sogenannten Mieterstrom, der 2017 erfunden wurde. Von 2017 bis Ende 2023 haben sich aber erst mickrige 7900 solcher Anlagen im Marktstammdatenregister der Bundesnetzagentur angesammelt, die zusammen nur 135 Megawatt Spitzenleistung liefern. Ein Vermieter, der Mieterstrom nach diesem Modell anbieten will, muss einige Hürden überspringen: Los geht es mit einem technischen Umbau, für die ein Elektriker anrücken und hinter dem Hausanschlusskasten die Verkabelung ändern muss.

In allen Messkonzepten, die für Mieterstrom infrage kommen, wird ein großer Zähler direkt dort installiert, wo das Kabel des Netzbetreibers ins Haus kommt. Damit ändern sich plötzlich auch die Eigentumsverhältnisse im Hausnetz. In einem Mehrfamilienhaus ohne Mieterstrom gehören die Zähler den Messstellenbetreibern, die jeder Mieter selbst wählen kann. Beim Mieterstrom übernimmt der Vermieter diese Aufgabe. Er lässt alle Zähler abbauen und ersetzt sie durch eigene, die er selbst beschafft und die hinter dem großen Summenzähler hängen. Damit ist er Mini-Netzbetreiber und Messstellenbetreiber in seinem Hausnetz, schließt dort auch seine Dachanlage an und versieht sie mit eigenem Zähler.

Weil keine PV-Anlage 100 Prozent des Bedarfs deckt, muss der Mieterstromanbieter den Strom, der im Haus zusätzlich gebraucht wird, bei einem Stromlieferanten kaufen, denn er ist jetzt auch verantwort-

lich, seine Mieter mit Strom zu versorgen. Vermieter hatten ohne spezialisierte Dienstleister, Steuerberater und Energierechtsanwälte fast keine Chance. Hinzu kommen die nötigen Umbauten an der Verteilung, die in manchem Altbau ohne eine Kernsanierung der Elektroverteilung überhaupt nicht zu realisieren sind. Übrig blieben vor allem Mieterstrommodelle in Neubauten, die von großen Immobilienfirmen geplant wurden. Auch für Mieter ist dieses Modell nicht ideal. Die haben nämlich keine Wahlmöglichkeit und können sich nicht mehr für einen anderen Stromanbieter entscheiden.

Alles neu im Solarpaket

Dass Mieterstrom nicht ideal funktioniert, hat auch die Bundesregierung erkannt und sich im Rahmen des sogenannten „Solarspaket 1“ eine Alternative überlegt – oder vielmehr mit Verspätung Artikel 22 der europäischen Erneuerbare-Energien-Richtlinie in deutsche Gesetzgebung überführt. Das dort angelegte „Energy Sharing“ hätte schon bis 2021 in nationales Recht umgesetzt werden müssen, die Vorgängerregierung hatte die Frist untätig verstreichen lassen. Das Gesetz wurde am 19. Oktober in erster Beratung im Bundestag diskutiert (Drucksachen zu finden über ct.de/wq42), damals sprach das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gegenüber c't von einem Inkrafttreten zum 1. Januar 2024. Daraus wurde nichts, erst im Mai waren die Beratungen abgeschlossen und das Gesetz wurde verabschiedet.

Die neue Alternative zum Mieterstrommodell (das nicht abgeschafft wird), trägt den sperrigen Namen „Gemeinschaftliche Gebäudeversorgung“, die Idee ist aber weit weniger sperrig: Los geht es mit einem Vermieter, der eine PV-Anlage auf dem Mehrfamilienhaus bauen und natürlich möglichst viel Geld für jede Kilowattstunde erlösen möchte. An der Verkabelung im Haus muss er nichts ändern, neu angeschlossen wird nur die PV-Anlage. Die braucht wie eine Wohnung einen eigenen Zählerplatz und bekommt einen Zweirichtungszähler von einem ganz gewöhnlichen Messstellenbetreiber. Hinter diesem Zähler hängt der Wechselrichter.

Dann macht der Vermieter seinen Mieter ein Angebot, das preislich so attraktiv ist, dass sie es nicht ablehnen können. Beide Parteien schließen einen Gebädestromnutzungsvertrag, der regelt, zu welchem Preis eine Kilowattstunde vom Dach den Besitzer wechselt. Den Preis kann der Anlagenbetreiber selbst festlegen. Sinnvolle Untergrenze sind

die 7 Cent, die er gemäß Erneuerbare-Energien-Gesetz für eine Einspeisung in jedem Fall bekommt. Solange er weniger verlangt als seine Mieter beim Stromanbieter bezahlen müssen, lohnt es sich für die. Der Spielraum ist so groß, weil beim Verrechnen der Energie innerhalb eines Hauses keine Netzdurchleitungsgebühren und Abgaben fällig werden. Knapp 30 Cent sind eine sinnvolle Obergrenze, so viel kostet etwa der Strom aus dem Netz. Bei einem Preis von zum Beispiel 15 oder 20 Cent machen beide Seiten ein gutes Geschäft. Die einzige Steuer, die anfällt, ist die Umsatzsteuer: Die 19 Prozent muss man bei der Kalkulation also einbeziehen.

Das Besondere am Modell: Die Stromverträge der Mieter bleiben, wie sie sind und es steht jedem Mieter frei, den zusätzlichen Energy-Sharing-Vertrag mit dem Vermieter zu schließen – es darf keine Kopplung an den Mietvertrag geben. Am Ende des Jahres zahlt jeder Teilnehmer an den Vermieter für die Kilowattstunden, die vom Dach in die Wohnung geflossen sind. Strom, der nicht vom Dach kam, bezahlt man als Mieter an den gewöhnlichen Stromanbieter. Weil Elektronen jedoch keine Markierung tragen und die Zähler nicht erkennen können, ob sie vom Dach kommen, erfolgt die Zuordnung nur auf dem Papier bei der Jahresabrechnung. Der Gesetzgeber hat sich dazu entschieden, den Tag in ein 15-Minuten-Raster einzuteilen, beginnend um 00:00.

Voraussetzung für die gemeinschaftliche Gebäudeversorgung sind daher (digitale) Stromzähler, die in diesem Raster zählen können, also für jeden 15-Minuten-Block notieren, wie viele Kilowattstunden konsumiert wurden. Solche Zähler müssen zum Glück nicht extra für diese Anwendung erfunden werden – dafür braucht man ein „intelligentes Messsystem“, also eine Kombination aus einem digitalen Stromzähler (moderne Messeinrichtung) und einem Kommunikationsmodul, dem Smart-Meter-Gateway. Dass diese Gerätekombination die Messwerte zum Beispiel per Mobilfunk, Internetanschluss oder über ein Funkprotokoll versenden kann, ist für die Abrechnung entscheidend, denn am Jahresende braucht der Anlagenbetreiber von allen Zählern (von Mietern und PV-Anlage) je eine Datei, die 35.040 Einträge für die 15-Minuten-Abschnitte enthält (35.136 im Schaltjahr).

Die Logik

Um Erzeugung und Verbräuche gegeneinander zu verrechnen, braucht man einen Algorithmus, der schrittweise jeden 15-Minuten-Abschnitt verarbeitet.

Der arbeitet mit einem Aufteilungsschlüssel, der laut Gesetz dynamisch oder statisch sein kann. Statische Zuteilung ist einfach zu berechnen, aber wenig attraktiv, wie man an einem einfachen Beispiel erkennen kann: Angenommen, eine Anlage kann 10 Kilowatt (kW) leisten, erzeugt in 15 Minuten also maximal 2,5 Kilowattstunden (kWh). Im Haus wohnen fünf Parteien, die jeweils 20 Prozent mit statischem Schlüssel bekommen. Das bedeutet: Jeder darf maximal 20 Prozent der Erzeugung zugewiesen bekommen, hat also einen virtuellen Anteil an der Anlage. An einem schönen Sommertag kommen jetzt von 12:00 bis 12:15 die maximal möglichen 2,5 Kilowattstunden vom Dach. Vier Mieter sind bei der Arbeit, haben nichts verbraucht und nur einer kocht und wäscht. Auf seinem Zähler sammeln sich in den 15 Minuten satte 4 Kilowattstunden an. Der statische Schlüssel würde ihm nur ein Fünftel, also 0,5 Kilowattstunden zuteilen, die anderen 2 Kilowattstunden fließen für die niedrige EEG-Vergütung ins Netz. Ein schlechtes Geschäft für beide Parteien.

Ein dynamischer Verteilungsschlüssel ist sinnvoller. Der sagt: Solange mehr erzeugt wird als die Mieter zusammen verbraucht haben, bekommen alle ihren Verbrauch zugeteilt. Was dann noch übrig ist, geht ins Netz. Sobald die Mieter zusammen mehr Strom gebraucht haben als vom Dach kam, wird das knappe Gut abhängig davon aufgeteilt, wie viel jeder im Zeitabschnitt gebraucht hat.

Um das zu verstehen, ist ein Beispiel nötig: Das Beispielhaus hat wieder eine Anlage mit 10 kW Spitzenleistung und fünf Mieter. 2,5 kWh kommen von 12:00 bis 12:15 vom Dach. Mieter 1 hat 1 kWh konsumiert, Mieter 2 gleich 2,5 kWh. Die anderen drei kommen auf jeweils nur 0,5 kWh. Zusammen kommen alle fünf auf 5 kWh. Der Algorithmus muss also verteilen: Mieter 1 hat 20 Prozent am Gesamtverbrauch gehabt, Mieter 2 kommt auf 50 Prozent, die anderen drei auf jeweils 10 Prozent. Nach diesen Anteilen teilt die Abrechnungssoftware jetzt die zur Verfügung stehenden 2,5 Kilowattstunden auf. Der erste bekommt 0,5 kWh, der zweite 1,25 kWh und die anderen je 0,25 kWh. In den Erläuterungen zu den einzelnen Paragrafen findet sich im Gesetzentwurf bezogen auf den Aufteilungsschlüssel aber auch der Satz: „Grundsätzlich steht den Parteien im Rahmen der dynamischen Aufteilungsschlüssel aber die Vereinbarung von beliebigen Zuteilungslogiken offen.“ In der Praxis wäre es also auch denkbar, die dynamische Verteilung zum Beispiel von der Wohnungsgröße abhängig zu machen.

Das Ende des Balkonkraftwerks?

Bisher gab es für Mieter und Bewohner von Eigentumswohnungen nur einen praktikablen Weg, um Photovoltaik zu nutzen: Zwei Module am Balkongitter und ein Mikrowechselrichter dazu, der die Energie in einen Stromkreis der eigenen Wohnung einspeist. Das Balkonkraftwerk wurde ab 2022 zum Verkaufsschlager und aktuell sind bereits über 200 Megawatt Balkonkraftwerkserzeugungsleistung in Deutschland angemeldet. Als die Idee der gemeinschaftlichen Gebäudeversorgung aufkam, witterte manch Kommentator in einschlägigen Foren in der Reform einen Angriff auf das Balkonkraftwerk: Der Gesetzgeber wolle jetzt erreichen, dass die Kleinkraftwerke verschwinden und wieder die Vermieter mit einer Anlage auf dem Dach ihren Profit machen können. Doch Balkonkraftwerk und gemeinschaftliche Gebäudeversorgung schließen sich nicht aus – im Gegenteil.

Ein Verbot von Balkonkraftwerken in Kombination mit der neuen Abrechnung findet sich im Gesetz nicht und die Regierung ändert auch nicht die Gesetze der Physik. Strom nimmt weiterhin den Weg des geringsten Widerstands. Solange ein Mikrowechselrichter innerhalb einer Wohnung Energie liefert, wird die von Verbrauchern in der Wohnung direkt abgenommen. Weil auch die Stromzähler weiter wie gewohnt funktionieren, ist es dabei unerheblich, auf welcher Phase Balkonkraftwerk und Verbraucher angeschlossen sind. Der Zähler saldiert über die drei Phasen und zählt nur, wenn in Summe in der Wohnung mehr Energie benötigt wird. Für einen Mieter mit Balkonkraftwerk gibt es am Ende drei unterschiedlich teure Arten von Verbrauch: Strom vom eigenen Balkon, Strom vom Dach und Strom aus dem Netz.

Wie umsetzen?

Auf Nachfrage erklärt das zuständige Bundesministerium, dass das Modell grundsätzlich ohne Abrechnungsdienstleister umsetzbar sein soll. Wer sich als Vermieter für das Modell interessiert, sollte zunächst den lokalen Netzbetreiber kontaktieren und erfragen, ob und ab wann dieser intelligente Messsysteme anbieten kann und in welchem Format die Daten am Ende des Jahres angeliefert werden. In kleinen Häusern reicht dann eine einfache Excel-Tabelle, um den Strombezug zu verrechnen.

Wer die Daten nicht selbst auswerten will, braucht einen Abrechnungsdienstleister. Bei der Recherche für diesen Artikel sprachen wir mit dem Unternehmen Techem, das solche Leistungen für Vermieter anbietet. Dort laufen bereits Vorbereitungen, um ein Energy-Sharing-Abrechnungsprodukt anzubieten. Der Plan von Techem: Zunächst wendet man sich an Bestandskunden, die bereits Gas, Fernwärmе oder Heizwärme abrechnen lassen. Dann kann sich der Vermieter Paragraf 6 des Messstellenbetriebsgesetzes zunutze machen, in Fachkreisen Liegenschafts-

modell genannt. Das Gesetz regelt, dass der Vermieter den Messstellenbetreiber für Strom bestimmen kann, wenn über das Smart-Meter-Gateway noch eine andere Sparte wie Gas oder Wärme abgelesen wird. Soll heißen: Die Stromzähler werden dann allesamt von Techem geliefert, die Daten werden an deren Server geschickt und dort ausgewertet.

Fazit

Mit der gemeinschaftlichen Gebäudeversorgung bringt die Bundesregierung ein nahezu bürokratiefreies Abrechnungsmodell auf den Weg. Wer als Vermieter das Dach mit Modulen eindeckt und den Bewohnern Strom für beispielsweise 15 Cent anbietet, amortisiert die Anlage in Rekordzeit, tut gleichzeitig den Mietern etwas Gutes und steigert die Attraktivität der Immobilie. Abrechnen am Ende des Jahres gehört ohnehin zu den Aufgaben eines Vermieters. Der Erfolg des Modells wird davon abhängen, wie schnell sich Messstellenbetreiber etablieren, die im 15-Minuten-Takt abrechnen und wie reibungslos die Datenübertragung gelingt. (jam) 



Bild: Bosch Home Comfort

Stromverbrauch smart managen

Flexible Stromtarife kommen und gleichsam sitzen auf immer mehr Häusern private Solaranlagen. Energiemanager optimieren hierbei die Stromkosten.

Von **Clemens Gleich**

Ein „Energiemanager“ managt nicht die Energie in der Form, dass er dir die Playstation nach drei Stunden abschaltet, sondern er manages die Kosten von Energie, indem er die günstigsten Zeiten der jeweiligen Stromverbräuche ermittelt. Damit er etwas zum Managen hat, braucht er zwei Dinge: zeitlich schwankende Strompreise und zeitlich flexible Verbraucher. Ersteres kann etwa eine

Photovoltaik-Anlage (PV) sein, die (wenn nach Wirtschaftlichkeit installiert) unter Tags normalerweise günstigeren Strom produziert, als man ihn per Netzbezug kauft.

Die zweite Option sind flexible Stromtarife, wie sie die Versorger schrittweise einführen müssen. Und zeitflexible Verbraucher sind Dinge, die man ohne Komfortverluste früher oder später mit Strom

versorgen kann. Das bekannteste Beispiel sind Wasch- und Spülmaschinen, die beste Option sind E-Autos, und bei der Wärmepumpe kommt es darauf an, wie viel Wärme das Haus wie lange speichern kann.

Ähnlich einem smarten Thermostat kann der Energiemanager nichts tun, was Sie nicht auch theoretisch selber erledigen könnten. Aber er tut das automatisch konsequent, sodass er 1. Arbeit abnimmt und 2. durch seine Konsequenz mehr erreicht als ein Mensch alleine. Wir betrachten Energiemanager generell, mit besonderem Blick auf Bosch, Loxone, SMA und Tibber, mit denen wir sprachen.

Was Energiemanager tun

Energiemanager (EM) können verschiedene Formen annehmen: als kleine Embedded-Rechner auf der Hutschiene montiert (etwa SMA Sunny Home Manager 2.0), als Module in Haussteueranlagen (etwa im Loxone Miniserver) oder als Module in einem Smart-Home-System (etwa im Bosch Smart Home Manager). Sie können als App-Module auf einem Smartphone laufen (etwa in Tibbers App) oder auf den Steuerrechnern von Großverbrauchern wie einer Wärmepumpe, um deren Kosten zu optimieren. Es kann daher gut sein, dass Sie (ohne das explizit zu wollen) zwei oder mehr Energiemanager im Haus akkumulieren, je einer mehr zum Beispiel beim

Kauf einer Heizung oder beim Wechsel des Stromanbieters oder bei der Installation von Hausautomatisierung.

Der Energiemanager schaut nach günstigen Zeiten, um die flexiblen Verbraucher zu aktivieren. Bei der PV-Anlage muss er dazu den jeweils aktuellen Überschussstrom ermitteln, aus den Erzeugungsdaten des Wechselrichters und den Stromflüssen am Netzübergang des Schaltkastens, wo eine Zählereinheit montiert wird (die wie erwähnt oft auch den Energiemanager enthält).

Wenn der Wechselrichter zum Beispiel 10 kW produziert und am Netzanschluss 8 kW ins öffentliche Netz eingespeist werden, dann ist das die verfügbare Überschussleistung. Die restlichen 2 kW sind die momentane Leistungsaufnahme des Hauses mit all seinen Verbrauchern. Zusätzlich muss er zur Planung auf den Wetterbericht schauen, weil die Solarleistung ja vom Wetter abhängt. Da es bei neueren Solaranlagen günstiger ist, selber zu verbrauchen statt einzuspeisen, sollte der flexibel verlegbare Stromverbrauch zu Zeiten solcher Überschüsse passieren.

Bei flexiblen Stromtarifen wie bei Tibber oder Awattar ist es einfacher, weil der Parameter „Überschuss“ wegfällt: Wenn der Preis gut ist, schalte die flexiblen Verbraucher an, Leistung innerhalb der Grenzen der Haustechnik egal. Der Nachteil jedoch: Strompreise bestehen hauptsächlich aus Entgelten,



Der SMA Sunny Home Manager 2.0 hat sich in langen Einsatzjahren als Kostenoptimierer für PV-Strom bewährt. Er verwaltet bis zu 24 Geräte.



Boschs Smart Home Manager hat ein Energiemanager-Modul, das sich per App („Emma“) steuern lässt.

Umlagen und Steuern. Typische Ersparnisse liegen daher im Bereich 1 bis 3 ct/kWh für gute Zeiten. Bei Loxone gibt es bereits die Steuerung nach Strompreisen, bei Tibber sowieso, bei Bosch und SMA wird das wahrscheinlich dazukommen. Weitere Erfahrungen finden Sie ab Seite 102 im Artikel „Tibber: Dynamische Strompreise im Test“.

Das einfachste Beispiel sind fernsteuerbare Steckdosen mit einem Verbraucher daran, der loslegt, sobald er Strom bekommt. Deren Leistung und Priorität muss der Energiemanager vorher kennen, damit er eine optimale Reihenfolge planen kann. Papas Altegeräte mit mechanischer Steuerung springen an, wenn Strom geschaltet wird und das Drehrad auf einem Programm steht. Moderne Geräte mit elektronischer Steuerung tun das nicht. Sie haben jedoch meistens eine Programmpermanenz, damit sie nach Stromausfällen im Programm weiter laufen. Das kann man nutzen, indem man startet, per Hand abschaltet und dann die Steckdose schalten lässt. Weil das etwas umständlich ist, macht beispielsweise SMA das auf Wunsch automatisch („Anlauferkennung“).

Es gab diesbezüglich gute Ansätze, möglichst viele Hausgeräte über das offene Protokoll „EEBus“ vom Energiemanager automatisch nach Leistungsprofil schalten zu lassen. Leider setzte sich das nicht durch. Es fährt eher jeder seine Sonderlocke, die wir Nutzer dann irgendwie ins gewachsene Haus integrieren müssen. „Home Connect“ der Marken Bosch, Siemens und Gaggenau etwa funktioniert gut – mit dem Bosch-EM. Samsungs „SmartThings“ lässt sich mit etwas Getüftel über IFTTT und Energiemanager steuern. Da es sehr viele Kombinationen gibt, können wir hier das Problem nur skizzieren. Es ist aber zum Glück auch nicht so schlimm, weil moderne Hausgeräte sich a) mit geringem Aufwand tagsüber einschalten lassen (von Hand, aber aus der Ferne) und b) ihr Verbrauch nicht mehr so hoch ist wie früher.

Goldlösung E-Auto

Im Vergleich zu üblichen PV-Leistungen sind die Leistungsaufnahmen der meisten Haushaltsgeräte nach Jahrzehnten der Energieoptimierung eher bescheiden. Ein Spülmaschinen-Lauf braucht je nach Programm von unter 0,5 kWh bis 1,0 kWh, ein Waschmaschinenlauf rund 20 Prozent mehr. Viele PV-Anlagen kommen aufgrund von anderen Optimierungsgrößen als „Wirtschaftlichkeit“ über 20 Jahre auf Gestehungskosten von 15 ct/kWh oder mehr. Wenn der Netzstrom also 30 ct kostet und die alternative Einspeisung 10 ct bringen würde, spart ein Eco-Lauf

der Spülmaschine mittags 2,5 ct gegenüber nachts mit Netzstrom. Bei flexiblen Stromtarifen sieht es ähnlich aus. Für Ersparnisse, die deutlicher knallen, brauchen Sie also eine auf Wirtschaftlichkeit optimierte PV-Anlage und flexible Großverbraucher.



Bild: Loxone

Beim Hausautomatisierungs-Generalisten Loxone läuft das Energiemanager-Modul auf den Miniservern aller Größen. Loxone bietet bereits eine Energiesteuerung nach dynamischen Stromtarifen an.

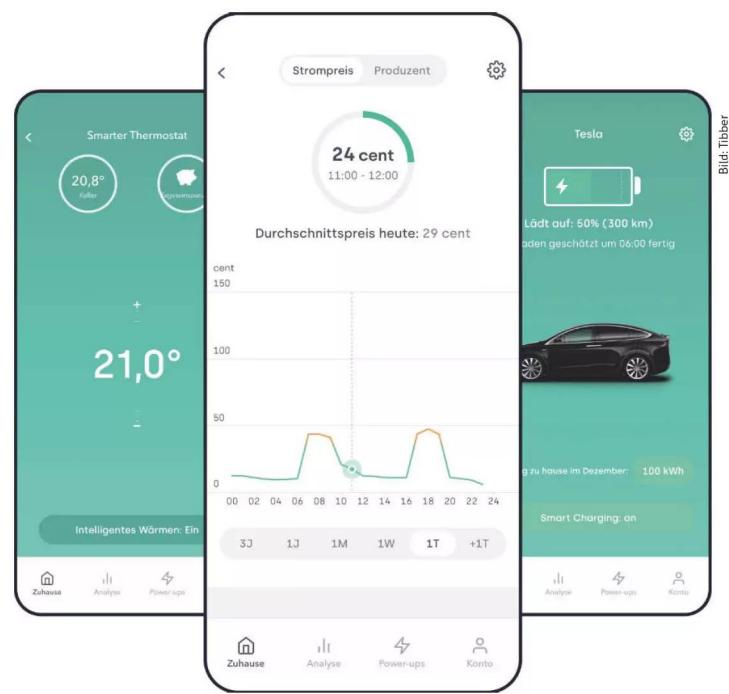


Bild: Tibber

In der Tibber-App lassen sich die Verbrauchszeiten und Ladeschluss-Optionen (beispielsweise bei 80% SoC) von E-Autos steuern. Energiemanager-Funktionen finden sich zusammen oft in Heizungen. Sie müssen daher schauen, dass sich die Geräte nicht in die Quere kommen.

Dieses Schaubild von Awattar zeigt, wie der Mittagseintrag von PV auf den Strompreis drückt. An Sommermittagen ist es also günstig, Strom zu verbrauchen.



Der optimale Großverbraucher in Privathäusern ist das E-Auto, weil es für die Fahrt am nächsten Tag egal ist, ob das Auto mittags oder nachts geladen wurde, es aber sehr viel Strom braucht und den (anders als eine Wärmepumpe) auch im Sommer, in dem es eh zu viel Strom gibt.

E-Autos haben sogenannte „Onboard-Ladegeräte“, die Wechselstrom (AC) vom Netz in Gleichstrom (DC) für die Batterie wandeln. Moderne Ladegeräte fangen meist bei 6 A Stromstärke auf einer Phase mit 230 V mit dem Ladevorgang an, ergibt 1,4 kW. Sie können also bereits Überschussleistungen eines größeren

Wasserkochers über viele Stunden aufs E-Auto leiten. Der Energiemanager erhöht dabei automatisch die Leistung und schaltet bei dreiphasigen Ladegeräten die anderen beiden Phasen zu, um möglichst viel Überschussstrom ins Auto zu leiten. Wenn Sie 10 bis 20 kWh Fahrstrom am Tag mit einer möglichst wirtschaftlichen PV kombinieren können, amortisiert sich ein Energiemanager in kurzer Zeit.

Heizen mit Strom

Ein anderer großer Verbraucher ist die steuerbare Stromheizung, also vor allem die Wärmepumpe (WP). Sie zieht im Kernwinter in größeren Häusern über 40 kWh pro Tag. Im Kernwinter wirft die PV-Anlage jedoch nicht einmal genug für den Haushaltsstrom ab, also ist diese Jahreszeit eher interessant zur Optimierung mittels eines flexiblen Stromtarifs. Für PV-Einträge eignen sich die Übergangszeiten mit mehr Sonne und reduzierter Heizleistung. Auch der „Heizstab“, der elektrische Heizer am Pufferspeicher, hat mehr Vorteile als „ich will meinen Strom nicht hergeben“. Der Energiemanager kann ihn anders als eine Wärmepumpe nach Belieben an- und ausschalten, ohne dass es ihm schadet. So eignet er sich also gut zur Verwertung von Überschussresten, die sonst nicht mehr zu verteilen wären. Ob sich der Kauf lohnt, hängt aber auch davon ab, zu welchem Preis Sie sonst das Warmwasser erzeugen; mehr dazu finden Sie ab Seite 136 im Artikel „AC ELWA: Wärme aus PV-Überschuss“.

Dreckige Spülmaschine von Siemens mit Home Connect: Man drückt nach der Programmwahl auf diesen Knopf, danach auf Start und schließt die Klappe. Das Gerät schickt dann sein Lastprofil an den Energiemanager. Der gibt ihm innerhalb weiterer Vorgaben wie „morgen muss das fertig sein“ das kostenoptimale Startsignal.



Steuerung der Heizanlage

Wie weit man die Läufe der Wärmepumpe schieben kann, hängt von den Speicherkapazitäten des Hauses ab. Ein Haus mit Fußbodenheizung speichert enorme Mengen Wärme im Estrich. Hier können schlauer Energiemanager einzelne Räume persteuerbaren Thermostaten erwärmen, um Energie zu bunkern, wenn sie günstiger ist. Solche Einzelraum-Speicherung gibt es bei zum Beispiel bei Loxone und Bosch.

Mit Heizkörpern brauchen Sie viel möglichst großen Pufferspeicher, um dort Wärme speichern zu können, weil bei einer Temperaturerhöhung über Heizkörper diese Energie größtenteils flöten geht, bevor sie in Böden und Wänden gespeichert werden kann. Faustregel: 1°C Temperaturdifferenz von 1000 l Wasser entsprechen rund 1 kWh Wärme.

Die Fördergesetzgebung verlangt eine Steuerbarkeit der Heizung, das Mindestniveau ist „SG Ready“. Das ist allerdings ein zu simples binäres Zweidraht-Zustandssystem, das bei unglücklicher Steuerung sogar dazu führen kann, dass die Heizung am Ende mehr Strom statt weniger: durch geringere Effizienz, durch höhere Wärmeverluste der gehobenen Wärme und durch die nie zu 100 Prozent stimmende Wettervorhersage – Details dazu im Artikel ab Seite 122. Anders als einen simplen Heizstab kann der Energiemanager eine Wärmepumpe zudem nicht ständig an- und ausschalten, weil viele Starts sie schneller altern lassen.

Erhoffen Sie sich also nicht zuviel von Label SG Ready und achten Sie darauf, Einstellungen regelmäßig mit den Verbräuchen vorher zu vergleichen, um nicht in eine Mehrverbrauchsfalle zu tappen, in der Ihre Heizung schneller verschleißt. Das gilt

auch für dynamische Stromtarife, bei denen die Preisschere viel enger aussieht als bei PV versus Netzbezug. Hierfür bringen einige Wärmepumpen ihre eigene Steuerung nach Strompreisen mit. Sie müssen dann darauf achten, dass diese Systeme sich nicht mit dem Energiemanager in die Quere kommen.

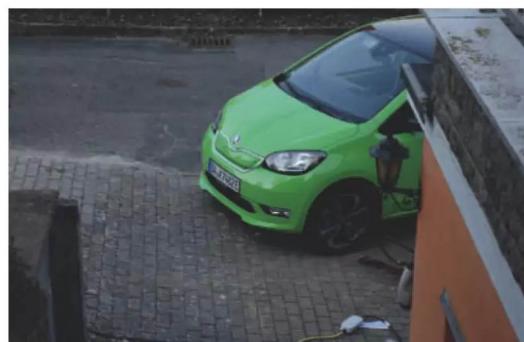


Bild: Clemens Gleich

Mit schlau gesteuerter Daheimladung können Sie im Sommer über 90 Prozent des Fahrstroms von der PV-Anlage ziehen. Das lohnt sich dann richtig.



Bild: Clemens Gleich

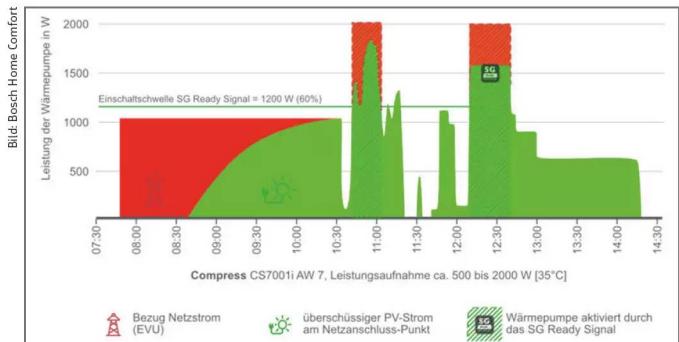
Die Sonne scheint in der Übergangszeit, die Wärmepumpe könnte für die Nacht vorstrampeln – wenn das Haus entsprechende Wärmespeicherkapazitäten hat.



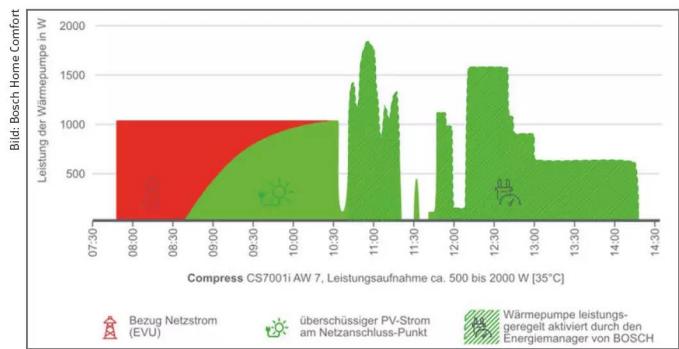
Bild: SMA

Die Grafik des SMA-Portals zeigt, wie der Sunny Home Manager das E-Auto stufenweise auf die verfügbare PV-Überschussleistung einregelt. So können Sie sehr günstig fahren.

Diese Grafik aus dem Bosch-Werbematerial zeigt, wie eine Wärmepumpe nach der vorher festgeschriebenen Leistung über SG Ready eingeschaltet wird. Sie verdeutlicht das Grundproblem, aber noch nicht den worst case, in dem schlechte Einstellungen für SG Ready sogar zu Mehrkosten führen.



Hier die Alternative einer fein nach elektrischer Leistung nachgeführten Steuerung. Funktioniert beim Bosch Smart Home Manager leider nur mit firmeneigenen Wärmepumpen. Zudem sehe ich Fehler auf der Grafik, die sonst auch ein bisschen zu schön wären, um wahr zu sein.



Am besten ist es, wenn ein einzelner Energiemanager die Energiehoheit hat, weil er nur dann sinnvoll planen und priorisieren kann. Auch dieser eine Manager arbeitet jedoch am besten, wenn er klare elektrische Leistungsanforderungen erhält.

Leider können das (anders als SG Ready) nicht alle aktuellen Wärmepumpen und nicht alle aktuellen Energiemanager und schon gar nicht kann jeder mit jedem Hersteller. Pionier Stiebel Eltron und Großhersteller Vaillant lassen sich nach elektrischer Leistung über EEBus regeln. Die Geräte der Gruppe Bosch Home Comfort mit den Wärmepumpen-Marken Bosch und Buderus lassen sich ebenfalls so regeln, allerdings nur über ihr eigenes, proprietäres Protokoll und dem Bosch Smart Home Manager mit der dazugehörigen EMMA-App. Wie so oft bei Elektronik lohnt sich also die Überlegung, in einer Produktwelt zu bleiben, sofern alle Handwerker aller Gewerke da mitspielen, woran die Hersteller oft nicht so denken.

Was spare ich?

Beim Sparpotenzial kommt es wie immer auf viele Parameter an. Wenn Sie eine PV-Anlage, ein täglich

gefährtes E-Auto oder ein Haus mit Wärmepumpe und einiger Heiz-Flexibilität besitzen, dann lohnt sich ein Energiemanager immer.

In Haushalten ohne diese Dinge können Sie die stetig häufiger werdenden dynamischen Stromtarife durch so eine Automatisierung für eine kleine Kostensparnis nutzen. Bei geringen Stromverbräuchen (etwa im Single-Haushalt) lohnt es sich mangels zu verwaltender relevanter Kostendifferenzen selten.

Es gibt jedoch noch einen anderen, selten beachteten Effekt aus der Psychologie: Das Bewusstsein über den Stromverbrauch an sich führt zum sparsameren Umgang damit, da reicht schon der Stromzähler in der Diele, wo man bei jedem Heimkehren hinschaut.

Wenn wir diesen Effekt einrechnen, lohnt sich ein Energiemanager immer, weil er die Hausverbräuche aufzeigt. Loxone etwa baut die Miniserver auf eine Bauteillebenszeit von durchschnittlich 25 Jahren. Rechnen wir einmal 1000 Euro für Gerät, Einbau und ein paar schaltbare Steckdosen, dann liegt der Break Even bei 40 Euro im Jahr. Allein die Psychologie wird dafür sorgen, dass die Ersparnis größer wird. (jow) ct

PV-Anlagen dimensionieren

Das Auslegen einer PV-Anlage mit Speicher ist nicht ganz einfach. Jahreszeitliche Unterschiede spielen genau so eine Rolle wie steuerliche Fragen und technische Grenzen. Doch es gibt nützliche Hilfsmittel und Modelle, mit denen Sie sich der richtigen Größe nähern können.

Von **Jan Mahn**



Bild: Moritz Reichartz

PV-Anlagen dimensionieren	28
So arbeiten Solarwechselrichter	36
Kabel für PV richtig verbinden	42
Mehr PV-Ertrag per Leistungsoptimierer	46
PV-Anlagen reinigen: Warum, wann, wie?	52
PV*SOL: PV-Anlagen planen	58
Recycling von Solarmodulen	62

Darfs ein bisschen mehr sein? Mit dieser Frage müssen sich alle beschäftigen, die eine freie Dachfläche besitzen und darüber nachdenken, in eine Photovoltaikanlage zu investieren. Die Auslegung einer solchen Anlage ist eine Optimierungsaufgabe mit vielen Parametern, einigen Unbekannten und diversen Restriktionen, die dieser Artikel der Reihe nach vorstellt und einordnet – angereichert mit Erfahrungen von real existierenden Anlagen sowie Empfehlungen für nützliche Werkzeuge, die bei der Optimierung helfen. Mit diesem Wissen können Sie sich der idealen Anlagengröße zumindest nähern.

Zunächst sind da ein paar Eckdaten, die Sie als zukünftiger Betreiber der Anlage beschaffen müssen. Den jährlichen Strombedarf im Haushalt müssen Sie für die Planung kennen, die letzten Jahresrechnungen Ihres Energieversorgers liefern diese Information. Auch der Bezugspreis pro Kilowattstunde findet sich dort. Für Rechenbeispiele in diesem Artikel nehmen wir 30 Cent pro Kilowattstunde an, was im August 2024 ein realistischer Durchschnittspreis ist. Wer seinen Strom beim Grundversorger bezieht, zahlt eher 35 Cent. Falls Sie mehr zahlen, sollten Sie dringend über einen Wechsel nachdenken, denn auch mit PV-Anlage werden Sie künftig Strom beziehen.

Dann sollten Sie über mehrere Tage herausfinden, wie hoch der Strombedarf in den dunklen Stunden zwischen Sonnenuntergang und -aufgang ungefähr ist. Besuchen Sie einfach gegen 18 Uhr Ihren Stromzähler, notieren den Wert und wiederholen die Ablesung am Morgen gegen 8 Uhr. Berechnen Sie die Differenz und mitteln Sie die Messungen über ein paar Tage. Damit haben Sie später eine gute Grundlage, um einen Batteriespeicher zu dimensionieren.

Einspeisen und vergüten

Einfach zu ermitteln ist die Einspeisevergütung pro kWh. Die überweist Ihnen Ihr Netzbetreiber für den Strom, den Sie im eigenen Haus nicht verbrauchen können. Ihre Höhe berechnet nicht Ihr Netzbetreiber, sondern die Bundesnetzagentur auf Grundlage des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG). Maßgeblich sind der Zeitpunkt der Inbetriebnahme (die aktuellen Werte gelten für Inbetriebnahmen zwischen 1. August 2024 und 31. Januar 2025), die Größe und die Art der Anlage. Bei der Größe kommt es immer auf die „installierte Leistung“ an. Gemeint ist bei PV-Anlagen die Summe der Modulleistungen, nicht etwa die Spitzenleistung der Wechselrichter und auch eine softwareseitige Begrenzung im Wechsel-

Einspeisevergütung

	Teileinspeisung [ct/kWh]	Volleinspeisung [ct/kWh]
Anlage bis 10 kW	8	12,8
Anlage bis 40 kW	6,9	10,7
Anlage bis 100 kW	5,6	10,7

Gültig für PV auf Gebäuden bei Inbetriebnahme zwischen 1.8.2024 und 31.1.2025

richter ändert daran nichts. Bei der Schreibweise der Einheit für die Spitzenleistung müssen all jene tapfer sein, die es gewohnt sind, mit physikalischen Einheiten zu rechnen: In der PV-Branche, in einschlägigen Datenblättern und auch bei der Bundesnetzagentur kürzt man „Kilowatt Spitzenleistung“ mit kWp (Kilowatt Peak) ab, auch wenn das p nicht für eine SI-Einheit steht.

Bei Anlagen, die Sie auf dem eigenen Grundstück planen, handelt es sich in der Regel um solche mit sogenannter Teileinspeisung – soll heißen: Der Wechselrichter hängt zusammen mit den Verbrauchern hinter dem Zweirichtungszähler Ihres Messstellenbetreibers. Energie, die Sie momentan im Haus benötigen, wird direkt verbraucht. Kann der Wechselrichter mehr liefern, weil die Sonne kräftig scheint, fließt Strom ins öffentliche Netz, der Zähler verbucht diese Energie in seinem Exportregister und Sie erhalten nach der Ablesung eine Vergütung dafür.

Das andere Modell ist die Volleinspeisung, die heute vor allem dann in Betracht kommt, wenn Sie Dachflächen mit PV belegen, unter denen kein nennenswerter Eigenverbrauch stattfindet – etwa eine Lagerhalle oder ein landwirtschaftliches Gebäude, das auf einem Grundstück steht, das kein Strom benötigt.

Auf diesen Fall geht dieser Artikel nur knapp ein, weil die Optimierung der Anlagengröße trivial ist und eher Gewerbe und Landwirtschaft betrifft: Eine Anlage mit Volleinspeisung auf und an Gebäuden (und der Vollständigkeit halber laut EEG auch an Lärmschutzwänden) erhält aktuell 12,8 Cent pro Kilowattstunde, wenn sie bis zu 10 Kilowatt Spitzenleistung liefert. Bei größeren Anlagen bis 100 Kilowatt gibt es 10,7 Cent. Noch größere Anlagen fallen nicht mehr unter die EEG-Einspeisevergütung. Eine Volleinspeiseanlage hat nur drei Restriktionen bei der Auslegung: Dachfläche, zur Verfügung stehendes Kapital und bei größeren Anlagen möglicherweise eine Obergrenze des Netzbetreibers (die dieser nach einer Einspeisevoranfrage mitteilt). Bei Volleinspeisung lohnt es, das Dach voll zu machen, denn bei jeder Installation gibt es Fixkosten für Gerüstbau, Planung und

Anmeldung, die unabhängig von der genauen Größe sind. Eine größere Anlage ist pro Kilowatt günstiger. Mehr Optimierungsmöglichkeiten haben Sie nicht und die Amortisationsrechnung ist eine einfache Rechnung: Gesamtkosten geteilt durch jährliche Erträge ergibt die Amortisationszeit in Jahren. Zu erwartbaren Erträgen übers Jahr später mehr. Speicher kommen bei einer Volleinspeisung nicht vor.

Spannender für Optimierungen sind Anlagen mit Teileinspeisung, denn dort ist die Einspeisevergütung geringer und nur ein Nebengeschäft. Wer heute eine neue Anlage in Betrieb nimmt, bekommt für die ersten 10 Kilowatt 8 Cent, bis 40 Kilowatt 6,9 Cent und bis 100 Kilowatt nur noch 5,6 Cent. Dabei wird immer zusammengerechnet: Bei einer Anlage mit 15 kW fließen die 8 Cent zu zwei Dritteln ein, die 6,9 zu einem Drittel. In Summe gibt es also rund 7,6 Cent.

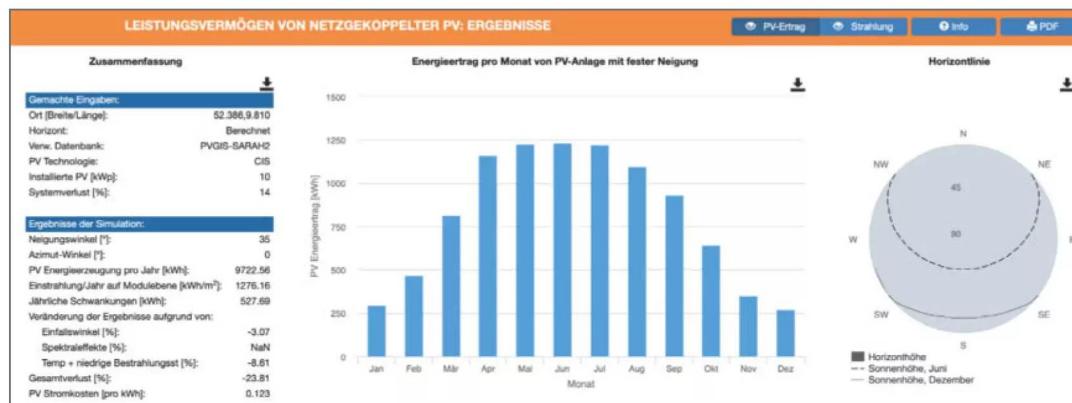
Für private Betreiber existiert eine weitere Grenze, die nicht aus dem EEG, sondern aus dem Steuerrecht stammt: 30 Kilowatt. Bis zu dieser Schwelle gilt bei privat genutzten Gebäuden ein Mehrwertsteuersatz von 0 Prozent auf alle Komponenten der PV-Anlage, vom Modul bis zum Kabel, einschließlich Speicher, Installation und alle für die Inbetriebnahme notwendigen Arbeiten (wie zum Beispiel den Neubau eines Zählerschranks). Außerdem entfällt die Einkommensteuer auf die Gewinne durch verkauften Strom und die Pflicht, sich selbst und das Finanzamt jedes Jahr mit einer Einnahme-Überschussrechnung zu beschäftigen. Beides ist nicht nur ein finanzieller Vorteil, sondern spart vor allem unangenehme Arbeit oder gar teuren Kontakt mit einem Vertreter der steuerberatenden Zunft. Eine Anlage mit 31 Kilowatt Spitzenleistung passt ohnehin nur auf die wenigssten Einfamilienhäuser, ist aber definitiv ein Kilowatt zu groß dimensioniert.

Was kann ich?

Weg vom EEG und Steuerrecht und hin zur technischen Dimensionierung von PV-Anlage und Speicher. Zunächst soll es um die Spitzenleistung gehen. Wenn Sie ganz neu ins Thema einsteigen, hilft für die grobe Orientierung die Information, dass ein typisches Modul mit rund 400 Watt Außenmaße von etwa $1,70 \times 1,05$ Meter hat (und nein, diese Modulgröße ist aktuell nicht standardisiert). Das entspricht ungefähr 224 Watt/m². Als erste Näherung können Sie Ihre freie Dachfläche ausmessen und mit 0,224 multiplizieren, um die Spitzenleistung in Kilowatt zu erhalten. Wenn Sie es genauer wissen wollen und das Dach verschiedene Tücken wie Schornsteine und Dachgauben enthält, puzzeln Sie Kacheln mit den Modulmaßen auf einem Modell zusammen, bis das Dach in Ihren Augen optimal ausgenutzt ist.

Wenn Sie es wirklich genau wissen wollen, empfehlen wir einen Blick auf die Windows-Software PV'Sol Premium (ausführlich getestet im Artikel „PV'SOL: PV-Anlagen planen“), die Sie 30 Tage kostenlos testen können. Dieser Testzeitraum reicht, um das eigene Haus zu simulieren. Seien Sie aber später nicht enttäuscht, wenn Sie hier schon sehr genau geplant haben: Die genaue Belegung des Dachs kann nur derjenige vornehmen, der Ihnen die Anlage aufs Dach schraubt, denn am Ende müssen die Dachhaken auf den Dachsparren installiert werden, sodass nicht immer jede theoretisch denkbare Anordnung in der Praxis möglich ist.

Einen guten Eindruck, was passen könnte, liefert die Puzzlearbeit aber sehr wohl und dient in jedem Fall als nützliche Vorbereitung für ein Gespräch mit dem Fachbetrieb Ihres Vertrauens. Auf jeden Fall



Mit dem Angebot PV-GIS der EU-Kommission bekommen Sie für Ihren Standort einen Eindruck, was eine Anlage in einzelnen Monaten leistet. Die wichtigste Erkenntnis: Es lohnt sich nicht, die Anlage auf Dezember und Januar zu optimieren.

wissen Sie so schon einmal, wie groß die Anlage maximal werden könnte.

Was brauche ich?

Aber was bringt ein Kilowatt Peak auf dem Dach jetzt übers Jahr? Um den Ertrag zu schätzen, gibt es eine Faustformel, die als Näherung nicht ganz verkehrt ist: Eine Anlage mit 1 Kilowatt Peak liefert rund 1000 Kilowattstunden im Jahr bei optimaler Südausrichtung und idealen 35° Dachneigung. Bei Ost- oder Westausrichtung sind es eher 750 kWh. Mit dieser Information können Volleinspeiser die Wirtschaftlichkeit zumindest überschlagen und die Investition mit der Einspeisevergütung gegenrechnen. Beispiel: Eine Volleinspeiseanlage mit idealer Südausrichtung mit 9 Kilowatt soll bei einem Installateur 15.000 Euro kosten. Sie erzeugt im Jahr etwa 9000 Kilowattstunden, die für 12,8 Cent verkauft werden. Im Jahr erwirtschaftet die Anlage somit rund 1152 Euro. Kapital- oder Opportunitätskosten (entgangene Zinserträge) nicht eingerechnet, amortisiert sich die Investition also nach 13 Jahren Betrieb – erfahrungsgemäß ist das der Zeitpunkt, an dem die Wechselrichter erstmals Probleme machen. Die Module halten problemlos über 20 Jahre.

Teileinspeiser sollten eine vergleichbare Rechnung mit der für sie maßgeblichen Einspeisevergütung ebenfalls anstellen. Für sie wäre komplette Einspeisung das Worst-Case-Szenario, das eine entscheidende Frage beantwortet: Wie viel Geld würde ich erhalten, wenn ich keine einzige Kilowattstunde selbst verbrauchen würde (was in der Realität natürlich nie vorkommt)? Das Ergebnis mit den Beispielwerten von oben: 720 Euro Einspeisevergütung im Jahr, Amortisation erst nach rund 20 Jahren, also kein finanzielles Desaster.

Richtig lohnenswert wird es aber erst mit Eigenverbrauch, denn dann gilt: Mit jeder selbstverbrauchten Kilowattstunde vermeidet man Bezug für 30 Cent. Abzüglich der rund 7 Cent ergibt sich ein Kostenvorteil von rund 23 Cent gegenüber Einspeisung. Um herauszufinden, wie hoch der Eigenverbrauch sein kann, hilft einfacher Dreisatz aber nicht weiter. Denn die Erzeugung schwankt übers Jahr gewaltig.

Schuld ist die Schiefe der Ekliptik, also die Neigung der Erdachse in Bezug zur Ebene, die die Erdumlaufbahn bildet. Diese Neigung ist verantwortlich für die Jahreszeiten und dadurch leider auch dafür, dass PV-Anlagen übers Jahr unterschiedlich viel erzeugen. Die Beispielanlage mit 9 kW erzeugt im

NEU

KOMM IN DIE OPEN SOURCE COMMUNITY!



Jetzt Newsletter abonnieren:
ct.de/opensource



arithmetischen Mittel knapp 25 Kilowattstunden am Tag, doch diese Berechnung ist weitgehend nutzlos. Die Wahrheit ist leider: Egal wie groß sie dimensioniert ist, es wird immer einzelne Tage im Mai geben, an denen die Anlage an einem Tag fast so viel Energie liefert wie im gesamten Dezember zusammen. Jede Anlage (vom Balkonkraftwerk bis zum vollen Dach) ist im Winter zu klein und im Sommer zu groß.

Im Winter kommen nämlich gleich mehrere Faktoren zusammen, die für eine PV-Anlage nicht hilfreich sind. Schnee ist das offensichtlichste Problem, denn unter einer Schneedecke erzeugt die Anlage gar nichts mehr. Ist das Dach nicht sonderlich steil, kann fester Schnee auch mal ein paar Tage liegenbleiben, in höheren Lagen schlimmstenfalls auch Wochen. Ein anderes Problem im Winter ist die Sonnenhöhe, also der Höhenwinkel zwischen Horizont und Sonne. Am 21. Dezember, zur Wintersonnenwende, kriecht die Sonne in der Mitte Deutschlands zur Mittagszeit gerade mal 14° über den Horizont, zur Sommersonnenwende im Juni dagegen erreicht sie mittags am gleichen Standort über 60° . Warum das entscheidend ist: Je kleiner der Winkel, desto dicker ist die Luftsicht, die das Licht zwischen Sonne und Erde passieren muss und desto weniger Energie kommt auf dem PV-Modul an. Daher ist Morgensonne nie so ertragreich wie die Sonne zur Mittagszeit und selbst ein sonniger Tag im Dezember nicht so ergiebig wie ein bewölkter Tag im Juni.

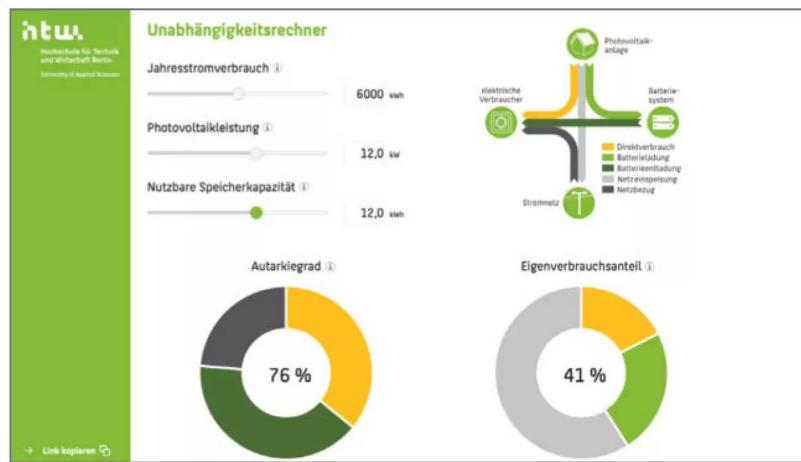
Das dritte Problem, das ebenfalls mit den Jahreszeiten zusammenhängt, ist der Abstand zwischen Sonnenaufgang und -untergang. Kurz vor Weihnachten quält sich die Sonne in der Mitte Deutschlands gegen 8:30 Uhr (MEZ) hinterm Horizont hervor und verabschiedet sich schon um 16:00 Uhr wieder. Mitte Juni geht sie schon kurz vor 5:00 Uhr (und zwar nach MESZ) auf und erst um 21:46 Uhr unter. Die Sonne scheint also nicht nur ungleich kraftvoller auf die PV-Anlage, sondern auch schlicht viel länger. Daher sammelt die Anlage selbst bei bewölktem Wetter im Sommer über die Zeit mehr Energie ein.

Im Internet gibt es mehrere nützliche Werkzeuge, um diese Unterschiede zwischen den Tages- und Jahreszeiten zu visualisieren. Einen Blick wert ist die Seite sonnenverlauf.de. Dort positioniert man zunächst den Punkt auf der Karte über dem eigenen Dach. Dann kann man links Tage im Kalender auswählen und bekommt auf der Karte den Bereich eingezeichnet, in dem sich die Sonne über den Tag bewegt. Auch Beschattung durch ein Hindernis (zum Beispiel den Baum des Nachbars) kann man simulieren. Über den Schieberegler oben stellt man die

Uhrzeit ein und sieht dabei die Sonne über die Karte wandern. Links gibt es dann zahlreiche Informationen für genau die Kombination aus Uhrzeit, Datum und Ort. Im Abschnitt „Mehr Solardaten & Photovoltaik“ finden Sie unter anderem die Luftmasse und die Strahlungsstärke in W/m^2 . Die maximale Strahlungsstärke, die man im Sommer erreichen kann, nimmt von Norden nach Süden zu. Unsere Leser in Flensburg können unter besten Bedingungen am Mittag der Sommersonnenwende 979 W/m^2 erreichen, Leser in Genf sogar 1030 Watt.

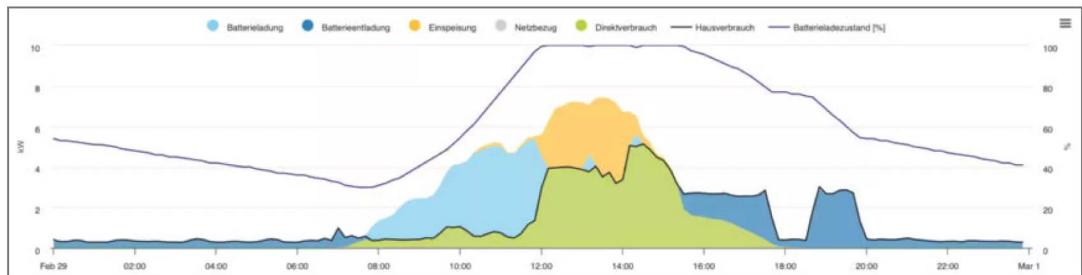
Beides ist ziemlich nah an den „Standard Test Conditions“ (STC), unter denen die Modulhersteller die Spitzenleistung in einem Versuchsaufbau mit künstlicher Sonne ermitteln: Die Module müssen nach STC bei 25°C mit 1000 W/m^2 bestrahlt werden. Doch auch wenn die Strahlungsstärke zur Sommersonnenwende am höchsten ist, liegen die ertragreichsten Tage in der Regel im Mai – denn der Wirkungsgrad von Modulen sinkt bei steigenden Temperaturen, weil der Widerstand steigt. Mittagssonne im Mai bei 16°C kann dazu führen, dass ein Modul auch mal mehr leistet als auf dem Typenschild angegeben.

Die verschiedenen Parameter (Sonnenwinkel, Strahlungsstärke, Tageslänge, Temperatur, Bewölkung) lassen schon erahnen, dass eine genaue Prognose des Ertrags komplizierter ist und man ohne Modell und nur mit Faustformeln nicht weiter kommt.



Die HTW Berlin hat einen Autarkierechner programmiert. Mittels Schieberegeln erkennen Sie schnell: Mehr Module und mehr Speicher führen nicht linear zu mehr Autarkie.

Voller Ladezyklus schon Ende Februar: Die Anlage mit 15,80 kWp hat den Speicher mit 16,6 kWh Kapazität bereits um 12 Uhr wieder geladen. Im gesamten März erreicht die Anlage 100 Prozent Autarkie und der Akku ist groß genug, um abends spontan das Auto zu laden.



Ein kostenloses und herstellerunabhängiges Werkzeug, das auf einem Modell für Einstrahlungen aufbaut, ist das „Photovoltaic Geographical Information System“, das die EU-Kommission unter der Adresse re.jrc.ec.europa.eu betreibt (siehe ct.de/wbh7). Links auf der Karte platzieren Sie die Pinnadel auf der Karte auf Ihrem Dach, rechts oben wählen Sie „Netzgekoppelt“ und geben die Eckdaten der Anlage ein: Die „PV Technologie“ ist in der Regel „kristallines Silizium“. Als „installierte Leistung“ wählen Sie eine Anlagengröße, die Sie realistisch installieren können. Die Neigung entspricht bei einer dachparallelen Anlage der Neigung des Daches, die Sie zum Beispiel einer Bauzeichnung entnehmen können. Hinter dem Begriff Azimut verbirgt sich die Abweichung von einer perfekten Südausrichtung. -90° entspricht Osten, 90° ist Westen.

Mit einem Klick auf „Ergebnisse anzeigen“ erhalten Sie ein Balkendiagramm über die 12 Monate, sowie links die zu erwartende Jahresleistung. Im orangefarbenen Balken in der Mitte können Sie von PV-Ertrag auf Strahlung umschalten und sehen so auf zwei Blicke das oben bereits beschriebene Phänomen: Im Juni ist die Einstrahlung höher als im Mai, durch die höheren Temperaturen steigt der Ertrag der simulierten Anlage jedoch kaum.

Um zu beurteilen, wie gut das Modell der EU-Website ist, haben wir Daten existierender Anlagen eingegeben, für die wir echte Erzeugungsdaten aus den vergangenen Jahren kennen. Diese Auswertung zeigt: Die Prognosen sind recht präzise und gut geeignet für Anlagenplanungen. In Rekordsommern kann es auch mal Ausreißer geben und die Wintermonate Dezember und Januar werden in der Prognose tendenziell überschätzt. Die Daten basieren auf dem Datensatz SARAH2, der von geostationären Meteosat-Erdbeobachtungssatelliten zwischen 2005 und 2020 erhoben und gemittelt wurde. Bewölkung erfassen die Satelliten, nicht aber die taigale Beschattung durch verschneite Dächer.

Was tun?

Mit diesen Eckdaten kennen Sie die meisten Parameter, Restriktionen und Konstanten und können an die Optimierung der eigenen Anlage gehen – zunächst ohne Akku. Die größte Unbekannte ist Ihr individuelles Verbrauchsprofil, das verrät, wie viel Strom Sie über den Tag verbrauchen. Das sieht für Singles mit regelmäßigem Homeoffice anders aus als für eine Familie mit Kindern. So wie es Modelle für Strahlungsleistung gibt, gibt es auch Modelle für typische Lastprofile und passende Software, die beides übereinander legt, um Autarkie und Eigenverbrauchsanteil zu errechnen. Das sind die beiden Kennzahlen, an denen Sie die Dimensionierung einer Anlage beurteilen können. Wenn Sie es genau wissen wollen, können Sie zum Beispiel mit der bereits genannten Software PV*Sol Premium genau simulieren, wie viel Strom selbst verbraucht wird, theoretisch können Sie Ihr Profil auch exakt hinterlegen.

Doch so genau müssen die meisten Privathaushalte gar nicht modellieren. Stattdessen kann man als Ausgangspunkt für die Optimierung die Leistung zunächst so dimensionieren, dass die Anlage im Jahr so viel erzeugt wie das Haus verbraucht. Ein Haushalt mit 6000 kWh Verbrauch beginnt die Optimierung mit 6 kWp. Die Erfahrung vieler Anlagenbetreiber zeigt: In diesem Fall erreichen Sie übers Jahr eine Autarkie von rund 30 Prozent, 70 Prozent des Stroms kaufen Sie also weiterhin zu. Wird die Anlage größer, steigt die Autarkie nur langsam – eine doppelt so große PV ohne Speicher bringt nur knapp drei Prozent Autarkie mehr. Genau diesen Zusammenhang zeigt der Unabhängigkeitsrechner der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (HTW) sehr anschaulich mit Schieberegeln (zu finden über ct.de/wbh7).

Wenn Sie keinen Speicher anschaffen wollen, bringt eine größere Anlage kaum mehr Autarkie,

wie auch das Modell der HTW zeigt: Bei 12 Kilowatt auf dem Dach steigt die Autarkie gerade mal auf 36 Prozent, der Eigenverbrauch sinkt auf 17 Prozent. Daran wird sich selbst dann wenig ändern, wenn Sie sich vornehmen, die Wasch- und Spülmaschine nur tagsüber zu starten, nur bei Sonnenschein zu kochen und abends sparsam mit Licht umzugehen.

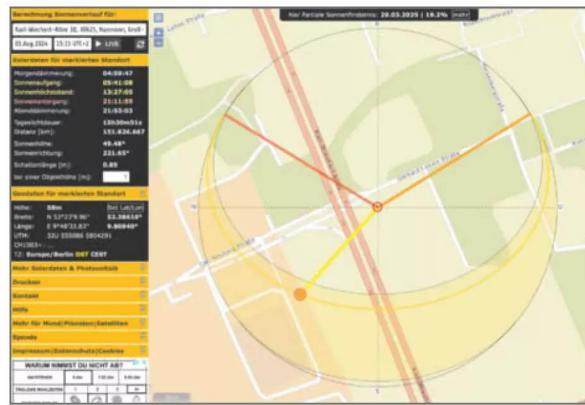
Ob es sich dennoch lohnt, das Dach vollzumachen, können Sie leicht anhand konkreter Angebote eines Installateurs zusammen mit den Werten für Autarkie und Eigenverbrauch aus dem HTW-Rechner überschlagen. Weil es bei jeder Installation Fixkosten gibt, lohnt es sich in vielen Fällen, das Dach restlos zu füllen, weil sich auch rund 7 Cent für Einspeisung noch lohnen.

Mit Speicher

Ein Speicher kann den Eigenverbrauch nennenswert erhöhen, indem er tagsüber Überschüsse einspeichert und abends bis zum nächsten Morgen wieder abgibt. Ausgangspunkt für seine Dimensionierung kann der Nachtverbrauch sein, den Sie am Stromzähler abgelesen haben. Sinnvoll ist es, auf die Zeit zwischen Ende Februar und Anfang November zu optimieren und den Speicher so zu bemessen, dass er etwa zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang den Verbrauch problemlos decken kann. Im tiefsten Winter ist die Größe des Speichers unerheblich, da sind Sie froh über jede Kilowattstunde, die direkt verbraucht wird. An Speicherladen ist da ohnehin nicht zu denken. Versuchen Sie daher nicht, den Speicher so groß zu dimensionieren, dass er im Winter mehrere Tage abdecken kann, bis die Sonne wieder scheint – das ist nicht wirtschaftlich.

Mit etwas Reserve für Wandlungsverluste kommen halbwegs sparsame Haushalte schon mit einem 6-kWh-Speicher gut über die Nacht. Die Autarkie bringen Sie damit auf über 50 Prozent, ins Netz gehen nur noch rund 40 Prozent der erzeugten Energie. Und noch etwas sollten Sie wissen und mit Ihrem Elektriker besprechen: Einige Speichersysteme lassen sich später erweitern, jedoch nicht jederzeit. Viele Hersteller lassen Erweiterungen nur innerhalb eines Jahres zu, damit die Zellen nicht also unterschiedlich gealtert sind. Sie können es also durchaus mal ein Jahr mit kleinerem Akku probieren und bei Bedarf rechtzeitig aufstocken.

Wenn es Dachfläche und Geldbeutel gestatten, kann man PV-Leistung und Speicher im oben stehenden Beispiel mit 6000 kWh Jahresverbrauch



Nützliches Werkzeug: sonnen-verlauf.de zeigt, wo die Sonne auf- und untergeht und welche Objekte lange Schatten werfen.

etwa bis 12 kWp und 12 kWh erhöhen und die Autarkie auf etwas über 75 Prozent anheben. Das ist ein Wert für die Autarkie, den wir in einer realen Anlage mit vergleichbarer Dimensionierung bestätigen könnten. In einer solchen Auslegung und mit halbwegs vorausschauendem Stromverbrauch (besonders von Wasch- und Spülmaschine) kommt es zwischen Anfang März und Ende Oktober nur noch in seltenen Fällen zu Strombezug aus dem Netz – zum Beispiel dann, wenn das Haus in der Spitze mal mehr Leistung braucht als der Speicher liefern kann. Die verbliebenen 25 Prozent Netzbezug fallen auf die Wintermonate und lassen sich auch mit absurd großen Anlagen nicht vermeiden. Versuchen Sie nicht, die Anlage auf die Zeit um Weihnachten zu optimieren.

Fazit

Die Auslegung einer PV-Anlage mit Speicher ist gut machbar, wenn man alle losen Enden sortiert hat. Nutzen Sie die Informationen am besten, um die Wirtschaftlichkeit von konkreten Angeboten mit verschiedenen Eigenverbrauchsquoten zu berechnen. Keinesfalls vergessen sollten Sie, dass sich der Strombedarf in Zukunft auch ändern kann. Sobald ein Elektroauto oder eine Wärmepumpe auch nur entfernt in Planung sind, gilt in der Tendenz: Bauen Sie die Anlage so groß, bis entweder das Dach voll oder der Geldbeutel leer ist. Eine Wärmepumpe zum Beispiel kann über das Protokoll SG Ready bei Überschuss aktiviert werden und den Eigenverbrauch erhöhen (mehr dazu im Artikel „Überwachungs-Apps für Photovoltaik“). Und einspeisen kann man immer noch. (jam) **ct**

Simulationen und Rechner
ct.de/wbh7

» Continuous Lifecycle »

[Container] Conf

13./14. November 2024
Mannheim



Die Konferenz für Developer Experience, Platform Engineering und mehr

Die CLC setzt 2024 rund um das Container-Ökosystem Themenschwerpunkte zu KI-gestütztem **DevOps**, **Security** und **FinOps** sowie **Nachhaltigkeit**.

Highlights aus dem Programm:

- Pipeline als Produkt denken: Modularisierung, Versionierung, Testen, ...
- Der KI-gestützte Entwickler – Tools, Datenschutz, Mindset
- Sicherheitsrisiken von CI/CD-Systemen erkennen und vermeiden
- Nachhaltigkeit in der Cloud – Herausforderungen meistern
- Praxisbericht: Ressourcen reduzieren und Cloud-Kosten senken

Jetzt
Frühbucher-
tickets
sichern!

Workshops am 12. November

continuouslifecycle.de

Veranstalter



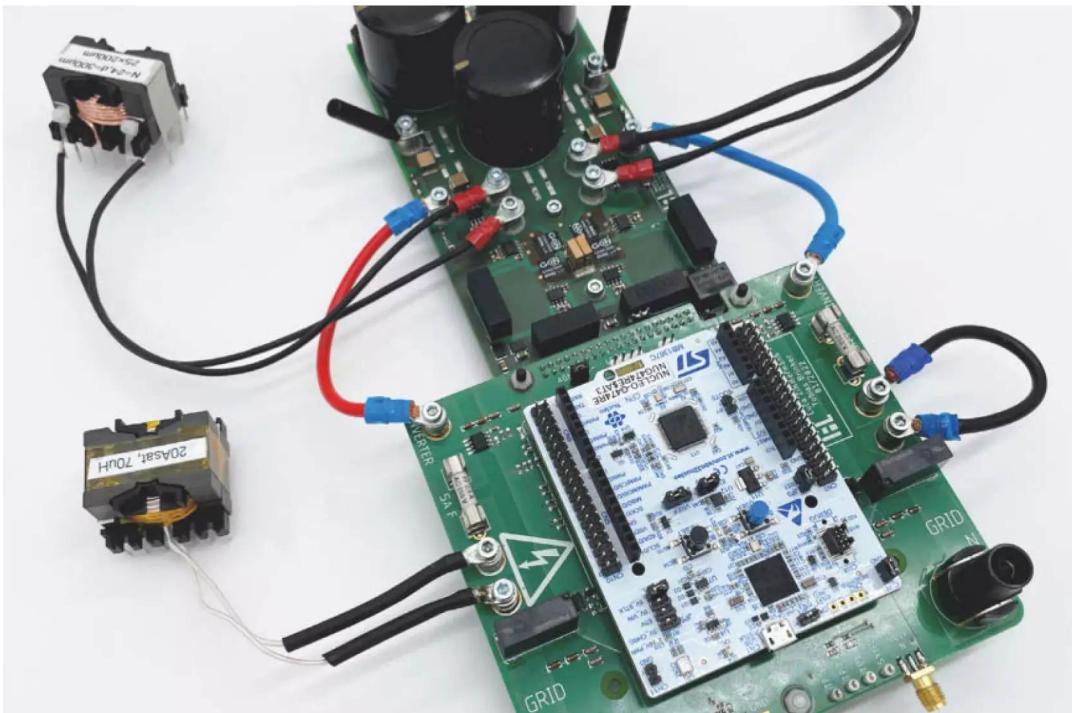
Gold-Sponsoren



sysdig



Silber-Sponsor



So arbeiten Solarwechselrichter

Ohne Wechselrichter geht nichts an netzgebundenen Photovoltaikanlagen – ob nun am 800-Watt-Balkonkraftwerk oder auf riesigen Dachanlagen mit Dutzenden Kilowatt. Welche elektronische Magie drinsteckt, erklären wir in diesem Artikel.

Von **Luca Schröder**

Ob klein oder groß: Basis des Sonnenkraftwerks ist meist ein Wechselrichter – also ein Gerät, das die von den Solarmodulen abgegebene Gleichspannung in Wechselspannung wandelt. Doch was passiert eigentlich im Detail in dem Kasten, den mir der Solateur im Keller an die

Wand oder draußen aufs Profil schraubt? Und wie arbeitet das Maximum-Power-Point-Tracking (MPPT), von dem die Datenblätter sprechen?

Wer sich mit dem Thema Wechselrichter noch nie beschäftigt hat, ist ob der vielen Bezeichnungen schnell verwirrt. Deshalb lohnt sich ein kurzer Ex-

kurs, der die Begriffe klärt, denn es gibt verschiedene Betriebsarten: Ein autarker Wechselrichter – auch **Inselwechselrichter** genannt – erzeugt seine Wechselspannung selbst und dient dort, wo keine Netzversorgung vorhanden ist – etwa in Wohnmobilen oder entlegenen Hütten – als Spannungsquelle. Manche Modelle haben auch Laderegler, um über angeschlossene Solarmodule Akkus zu laden.

Ein **Hybridwechselrichter** ist, einfach gesagt, ein Inselwechselrichter mit Akkuanschluss. Er kann die erzeugte Energie nicht nur ans Netz weitergeben, sondern auch in einem angeschlossenen Akku zwischenspeichern und bei Bedarf wieder abgeben. Gerade bei größeren Installationen auf Einfamilienhäusern werden heute oft Speicher eingesetzt und somit auch Hybridwechselrichter.

Ein **netzsynchroner Wechselrichter** benötigt eine vorhandene Wechselspannung, um zu funktionieren – beispielsweise die des europäischen Stromnetzes. Er synchronisiert sich mit ihr und speist dann ein, sodass er sich wie ein kleines Kraftwerk ins Stromnetz integriert.

Da in den meisten Photovoltaik-Neuinstallatio-nen heute netzsynchrone Wechselrichter verbaut und diese insbesondere bei Balkonkraftwerken weit verbreitet sind, beschränken wir uns auf diesen Wechselrichtertyp. Damit auch Einsteiger am Ball bleiben, beschreiben wir das Grundprinzip anhand

der Wechselrichterbaufom, die der Autor für seine Informatik-Masterarbeit verwendet hat. Technisch gesehen führen viele Wege nach Rom beziehungsweise zum Stromfluss aus der Sonne. Der Wechselrichter in Ihrem Keller oder auf dem Dach arbeitet vermutlich nicht exakt gleich – sicher aber ähnlich.

Leitstelle

Moderne netzsynchrone Wechselrichter besitzen immer eine digitale Steuereinheit. Meistens kommt dafür ein handelsüblicher Mikrocontroller zum Einsatz. Dieses Beispiel nutzt einen STM32-Mikrocontroller der Firma STMicroelectronics.

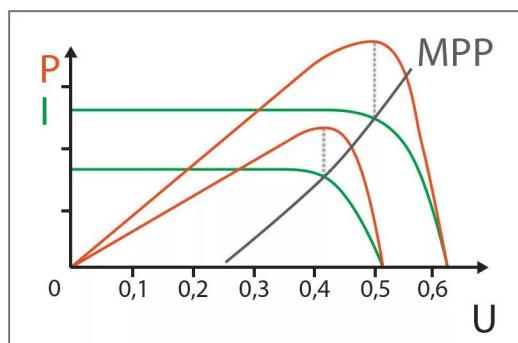
Die CPU ist ein mit 170 MHz getakteter ARM-Cortex M4 mit 512 KByte Programmspeicher sowie 128 KByte Arbeitsspeicher. Speicherausstattung und Taktrate wirken erst einmal lächerlich gering. Doch auf der CPU läuft kein vollwertiges Betriebssystem, sondern eine Firmware, die genau für den Anwendungsfall gebaut ist und keine brachliegenden Zusatzfunktionen als Ballast mitschleppen muss. Zudem besitzt sie für einige der benötigten mathematischen Funktionen Hardwarebeschleuniger. Die einzelnen Bestandteile der Schaltung werden über 50 Ein- und Ausgänge abgefragt beziehungsweise angesteuert.

Oft verschweigen die Hersteller von Wechselrichtern CPU-Details. Bei den meisten dürften je nach Funktionsumfang ähnliche Mikrocontroller, FPGAs oder Mobilprozessoren (ARM, Xtensa etc.) – auch in Kombination – zum Einsatz kommen.

Leistungspunktsuche

Die Leistungspunktsuche – im Solarjargon meist als Maximum-Power-Point-Tracking (MPPT) bezeichnet – ist eine Kernfunktion jedes Photovoltaikwechselrichters. Denn um Solarmodule optimal auszu-nutzen, kann man nicht einfach irgendeine Last anlegen.

Einzelne Solarzellen – nicht zu verwechseln mit Solarmodulen, die aus mehreren Zellen bestehen – erzeugen bei Bestrahlung eine Gleichspannung, je nach verwendetem Halbleitermaterial zwischen 0,5 und 0,7 Volt. In Reihe in einem Modul zusammen-geschaltet ergeben sich die typischen 18 bis 50 Volt – je nach Modulgröße sowie Anzahl der Zellen und deren Verschaltung. Während die Spannung im unbelasteten Zustand nahezu immer gleich bleibt, variiert die verfügbare Leistung mit der Temperatur, Bestrahlung und Beschattung der Zellen. Belastet



Der Leistungspunktsucher findet den Arbeitspunkt, an dem Strom und Spannung eines Photovoltaikmoduls die höchste Leistung liefern (MPP). Da sich die Bedingungen aufgrund von Verschattungen, Änderungen in der Sonneneinstrahlung und Verdreckung permanent ändern, muss der Leistungspunktsucher das Optimum ständig neu ermitteln.

man das Modul mit einem Verbraucher, sinkt die Spannung zunächst etwas und bricht dann signifikant ein. Der Leistungspunkt (Maximum Power Point, MPP) ist also dort, wo das Produkt aus Strom und Spannung die größtmögliche Leistung ergibt.

Der Maximum-Power-Point-Tracking-Algorithmus versucht, diesen Leistungspunkt für das oder die angeschlossenen Solarmodule regelmäßig neu zu ermitteln. Die einfachste Methode dafür ist, die Solarmodule bei steigender Spannung zu beladen, bis die Leistung einbricht und dann die Belastung wieder zu reduzieren (Perturb & Observe, Bergsteigeralgorithmus). Da sich der Leistungspunkt bei steigender Temperatur in der Grafik nach links und sinkenden Temperaturen nach rechts bewegt, muss der Algorithmus nicht nur durch Erhöhen, sondern auch durch Absenken des Laststroms regelmäßig prüfen, ob der aktuelle Punkt noch dem Maximum entspricht. Dadurch oszilliert die Leistung immer leicht um den MPP. Das funktioniert problemlos bei nicht verschatteten Panels oder einzelnen Modulen.

String- versus Mikrowechselrichter

Netzsynchron Wechselrichter sind heute in zwei Bauformen verbreitet: Mikro- beziehungsweise Modulwechselrichter, die pro Solarmodul einen Eingang und oft sogar individuelle MPP-Tracker haben,

und String-Wechselrichter, für die alle Solarmodule in Reihe geschaltet werden.

Die Leistungspunktsuche bei String-Wechselrichtern ist etwas komplizierter als im Beispiel zuvor: Während der Mikrowechselrichter jedes Panel oder zwei nebeneinanderliegende Panels gezielt optimieren kann, muss der String-Wechselrichter das für den ganzen Strang (engl. „String“) erledigen – also für alle Solarmodule gemeinsam. Wenn nun Wolken, Bäume, Antennen oder Schornsteine die Photovoltaikanlage teilweise verschatten, entsteht außer dem globalen Leistungmaximum (GMPP) auch ein lokales (LMPP), an dem der MPP-Tracker „hängen bleibt“ kann. Moderne String-Wechselrichter prüfen deshalb den gesamten Lastwiderstandsbereich nicht nur regelmäßig auf den optimalen Leistungspunkt, sondern auch dann, wenn sich die Leistungsabgabe der Anlage stark geändert hat.

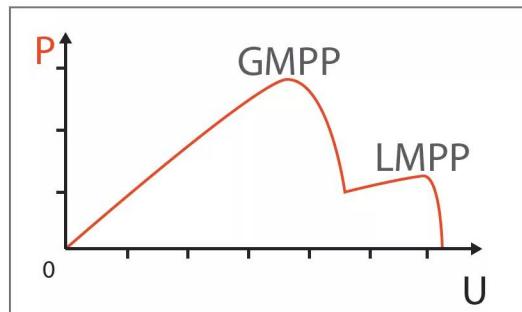
Die gängige Behauptung, dass ein verschattetes Solarmodul die gesamte Anlage herunterzieht, stimmt bei aktuellen Solarmodulen nicht mehr, denn diese haben eine oder mehrere Bypass-Dioden, über die der Solarstrom an verschatteten und damit undurchlässigen Solarzellen vorbeifließt kann. Größere Teilverschattungen bewirken aber möglicherweise, dass die Spannung des Strings unter den Spannungspunkt fällt, ab dem der MPP-Tracker funktioniert, oder sogar so weit absinkt, dass der Wechselrichter seinen Dienst ganz einstellt.

Elektrisch wird die Leistungspunktsuche oft durch eine Spannungs- und Strom-regelbare DC-DC-Stufe umgesetzt – also durch einen Aufwärtswandler, den der Mikrocontroller steuern kann. Die DC-DC-Stufe stellt für die nachfolgenden Stufen eine geregelte Gleichspannung zur weiteren Wandlung bereit – die Zwischenkreisspannung. Durch Verändern des Stroms in den Zwischenkreis und damit indirekt auch ins Netz, regelt sie, wie stark die Solarmodule belastet werden. Die Spannung am PV-Eingang sowie der Strom werden dabei stetig überwacht.

Im Fall unserer Wechselrichterbauweise lädt das MPPT über den regelbaren Aufwärtswandler drei Kondensatoren mit 400 Volt auf, aus denen sich der Wechselrichter bedient.

Gleich- werd' Wechselspannung

Um ins Stromnetz einspeisen zu können, muss der Wechselrichter die in den Kondensatoren gespeicherte Ladung in eine Sinusspannung mit 50 Hertz wandeln. Das erledigen moderne Wechselrichter digital.



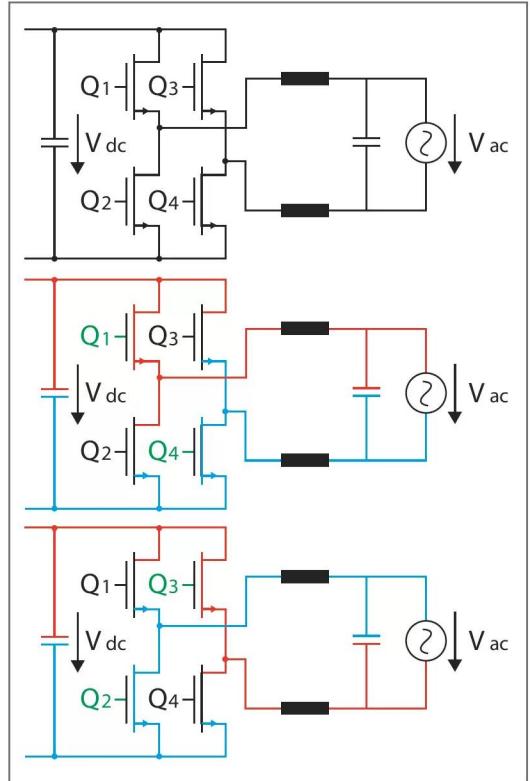
Fällt Schatten auf einen Teil einer großen Photovoltaikreihenschaltung, dann können zusätzlich zum globalen Leistungmaximum lokale Leistungsmaxima (LMPP) entstehen. Moderne String-Wechselrichter nutzen Algorithmen zur Leistungspunktsuche, die den gesamten Bereich regelmäßig „abfahren“, um das globale Maximum (GMPP) zu finden.

Aufs Nötigste heruntergebrochen kann man einen Wechselrichter mit vier Feldeffekttransistoren als elektronische Schalter bauen. Zwei Transistoren werden mit dem positiven Potential der Gleichspannung verbunden – im Schaltplan Q_1 und Q_3 – und die anderen zwei mit dem negativen Potential beziehungsweise Masse (Q_2 , Q_4). Das erlaubt, die positive Gleichspannung auf L – also Phase – und Masse auf N zu schalten und umgekehrt. Macht man das kontinuierlich, erhält man eine Rechteck-Wechselspannung: Schaltet man Q_1 und Q_4 gleichzeitig ein, so wird der obere Strang positiv und der untere negativ, V_{ac} ist in dem Fall ein Gleichstrom in Pfeilrichtung. Wenn hingegen Q_2 und Q_3 eingeschaltet sind, fließt der Strom genau entgegengesetzt.

Um nun eine möglichst saubere Sinusspannung zu erzeugen, verwendet der Mikrocontroller Pulsweitenmodulation (PWM) mit hoher Frequenz (140 Kiloherz). Dazu besitzt er Ausgänge, die zusätzliche Schaltkreise auf dem Chip haben, über die die hohe Schaltfrequenz ohne großes Zutun der CPU zustande kommt: die CPU konfiguriert den Ausgang, der zusätzliche Schaltkreis übernimmt den Rest. Ohne diese Unterstützung müsste die CPU sehr viel Rechenleistung für das schnelle Schalten der Ausgänge aufwenden (Software-PWM) – dann würde ein CPU-Kern mit nur 170 MHz Taktfrequenz möglicherweise nicht mehr genügen. Die PWM-Ausgänge sind mit den Steuereingängen der Transistoren (Q) verbunden.

Da auch bei elektrischer Spannung Trägheit herrscht, kann man mittels PWM beliebige Spannungen unterhalb der Eingangsspannung erzeugen. Schaltet ein PWM-Ausgang die Transistoren mit hoher Frequenz (in diesem Fall mit 140 Kiloherz) nur während der Hälfte der Zeit ein, entspricht die Ausgangsspannung der Hälfte der Eingangsspannung – man spricht dann von 50 Prozent Tastgrad.

Erzeugt man nun eine linear steigende und fallende Serie an Tastgraden, entsteht eine Rechteckspannung. Weil man für das Wechselspannungsnetz jedoch einen sinusförmigen Verlauf benötigt, wird statt einer linearen Folge dementsprechend auch die Sinusfunktion für den Tastgrad zugrunde gelegt. Der Wechselrichter misst zusätzlich die Zwischenkreis- also Eingangsspannung (U_{dc}). Sitzen Kondensatoren im Stromkreis, fließt die Energie der hochfrequenten Rechteckspannung zunächst in die Kondensatoren, sodass die Spannung hinter dem Kondensator nur langsam ansteigt. Beim Ausschalten entlädt der Kondensator ebenso langsam, was die Spannung so glättet, dass von der hohen PWM-Frequenz nichts mehr zu sehen ist. Ein weiterer Kon-



Je nach Ansteuerung der Transistoren wird entweder N oder L mit dem positiven respektive negativen Potential der Zwischenkreisspannung verbunden. Macht man das mit hoher Frequenz und wechselnder Einschaltdauer, kann man eine Sinusspannung modulieren.

densator am Wechselrichtereingang verhindert bei Belastung größere Einbrüche der Gleichspannung.

Synchronisation & Einspeisung

Damit der Wechselrichter Leistung einspeisen kann, muss nicht nur die Höhe und Frequenz seiner Ausgangsspannung stimmen, auch deren Phase muss im Einklang mit der des Stromnetzes sein. Im einfachsten Fall werden dazu zwei analoge Eingänge des Mikrocontrollers über je eine Spannungsteilerschaltung – zwei Widerstände, über die die Spannung abfällt – mit Nullleiter und Phase verbunden. Der Mikrocontroller ermittelt daraus Spannung und

Phasenlage des Netzes. Über eine Phasenregelschleife wird die erzeugte Wechselspannung mit der Netzspannung synchronisiert und kontinuierlich überwacht. Je nach Wechselrichter kann es einige Minuten dauern, bis er synchron ist. Im Optimalfall dauert es wenige Netzperioden.

Anschließend kann er seine Ausgangsspannung leicht erhöhen, sodass Strom ins Netz fließt. Den Ausgangstrom steuert die Wechselrichterelektronik so, dass die abgegebene Leistung dem MPPT-Maximum entspricht.

Schutzabschaltung

Wechselrichter müssen beim Weg- oder Abfallen der Netzspannung oder Defekten im Gerät sofort abschalten. Dieser Netz- und Anlagenschutz ist nicht nur wichtig, weil der „kleine“ 5-Kilowatt-Wechselrichter mit dem Versorgen des gesamten Straßenzugs völlig überfordert wäre: Schalten Wechselrichter nicht unverzüglich ab, könnte es beim Ausstecken von Balkonkraftwerken oder Arbeiten am Leitungsnetz Verletzte oder gar Tote geben.

Der Mikrocontroller überwacht dazu ständig die Netzparameter: Spannung, Frequenz, Netzimpedanz. Befindet sich etwa die Spannung im unzulässigen Bereich oder ist die Phasenlage des Wechselrichters nicht mehr synchron, so trennt der Controller die Verbindung zum Stromnetz über einen Trennschalter. Da auch dieser Schaden nehmen kann, etwa weil sich die Kontakte am Relais durch Stromspitzen zusammenschweißen, ist der Trennschalter mit zwei Relais redundant ausgelegt. PV-seitige Spannungseinbrüche oder Fehler in der Messelektronik muss der Wechselrichter ebenso erkennen. Sinkt die Spannung durch Verschaltung so weit ab, dass der Wechselrichter nicht mehr zuverlässig einspeisen kann, so trennt er auch dafür temporär die Verbindung. Sobald wieder ausreichend Spannung anliegt, nimmt er den Betrieb wieder auf.

Spannungseinbrüche im Netz sind erkennbar, auch wenn der Wechselrichter selbst eine Spannung erzeugt. Durch die gleichzeitige Regelung und Messung des Stroms wird die Netzimpedanz mit überwacht, also etwa der Widerstand zum nächsten größeren Anschlusspunkt (Mittelpunktsregelung). Fällt die Spannung im Netz ab und der Wechselrichter würde weiterhin versuchen, 230 Volt zu generieren, sind deutlich größere Ströme notwendig, um den gesamten Netzbereich auf die Spannung zu heben. In der Regel ist die Spannung des Wechselrichters selbst bei maximaler Leistung höchstens

wenige Volt höher als die des Netzes. Sinkt die Spannung also rapide, schaltet der Wechselrichter ab. Gleicher gilt für starke Anstiege – etwa beim Ausstecken des Balkonkraftwerks.

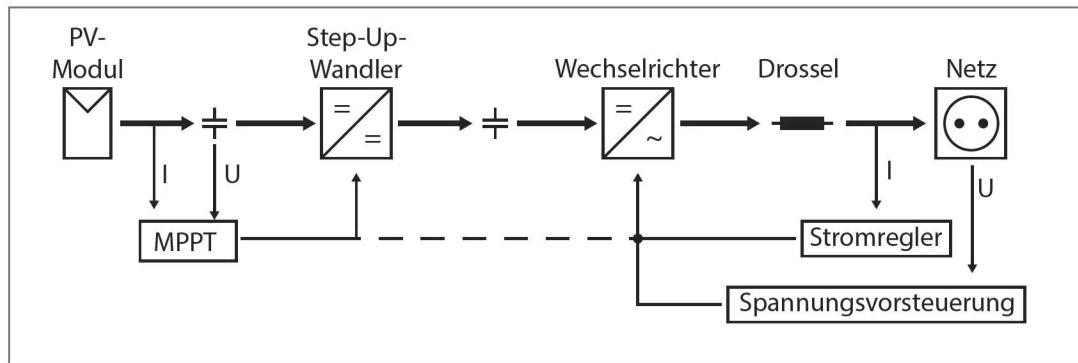
Eine Ausnahme bildet dabei der sogenannte Fault-Ride-Through. Tritt im Netz ein kurzzeitiger Abfall der Spannung auf, etwa durch einen Kurzschluss an anderer Stelle, so würde das sofortige Abschalten aller Erzeugungsanlagen zu einem Blackout führen. Daher gibt es Vorgaben nach DIN EN 50160, wie lange ein bestimmter Spannungseinbruch toleriert werden muss: Die Spannung darf beispielsweise für 20 Millisekunden um 55 Prozent der Nominalspannung einbrechen oder für fast eine Sekunde um etwa 30 Prozent, ohne dass sich die Erzeugungsanlagen abschalten.

Moderne Netzwechselrichter reagieren auch auf einen Anstieg der Netzfrequenz, also auf ein netzseitiges Überangebot von Strom. Ab 50,2 Hertz bis 51,5 Hertz regeln sie ihre Leistungsabgabe linear herab, bis die Netzfrequenz sich wieder normalisiert. Alte Geräte schalten zum Teil bei 50,2 Hertz einfach ab. Heutige Geräte dürfen das nicht mehr, denn aufgrund der großen Verbreitung von Photovoltaikanlagen würde der schlagartige Wegfall der Produktionsleistung zu einem mehr oder minder starken Einbruch der Netzfrequenz führen. Die Gefahr eines Blackouts bestünde.

Ensemble

Um die gesamte Funktionsweise besser zu verstehen, lohnt es sich, den Prozess noch einmal von der Gleich- bis zur Wechselspannung zu betrachten. Dazu finden Sie in diesem Artikel ein Blockschaltbild: Sobald die PV-Module bestrahlt werden und eine Spannung erzeugen, kann der Aufwärtswandler den Zwischenkreiskondensator laden. Dabei wird der Ladestrom langsam erhöht, bis die Spannung und damit auch die Leistung am Solarmodul einbricht. Das so gemessene Leistungsangebot zieht der Wechselrichter für seine Stromvorgabe heran.

Für die Erzeugung der Wechselspannung überwacht der Wechselrichter zunächst die Netzspannung und leitet daraus die Parameter wie Spitzenspannung und Phasenlage ab. Mithilfe dieser Werte generiert der Wechselrichter eine synchrone Wechselspannung. Über den vom MPPT ermittelten Leistungspunkt bestimmt der Wechselrichter die ans Netz abzugebende Leistung. Dann erhöht er die Spannung, sodass Strom fließt: Die Sonnenenergie kann im Netz genutzt werden.



Der Netzwechselrichter als vereinfachtes Blockschaltbild vom Solarmodul links über den Wechselrichter zur Einspeisung ins Netz. Dabei werden diverse Parameter gemessen und kombiniert zur Regelung des Wechselrichters genutzt.

Schutzeinrichtungen verhindern, dass der Wechselrichter bei abnormalen Netzsituationen weiter produziert beziehungsweise das Überangebot vergrößert.

Raffinierte Technik

Moderne Schaltungs- und Regelungstechnik mit digitaler Steuerung treibt die Energiewende an. Ohne diese Technik könnte grüner Strom heute nicht so

unkompliziert und kostengünstig im eigenen Haus produziert werden. Der hier beschriebene Aufbau steht zwar nur exemplarisch für einen bestimmten einphasigen Wechselrichter und das Verfahren wird sich von Hersteller zu Hersteller in Details unterscheiden. Doch er zeigt das Grundprinzip, das für jeden Wechselrichter ähnlich ist. Wer richtig tief einsteigen möchte, kann über ct.de/wkbt die Masterarbeit des Autors abrufen, für die er einen Netzwechselrichter mitentwickelt und programmiert hat. (amo) ct

Masterarbeit zu
Netzwechselrichtern
ct.de/wkbt



Do KI Yourself!

Modelle anwenden und selbermachen

Heft für 14,90 € • PDF für 14,90 € • Bundle Heft + PDF 20,90 €



shop.heise.de/ix-ki

Heft + PDF mit 29 % Rabatt

Generell portofrei Lieferung für Heise Medien- oder Maker Media Zeitschriften-Abohrenten oder ab einem Einkaufswert von 20 € (innerhalb Deutschlands). Nur solange der Vorrat reicht. Preisänderungen vorbehalten.

heise shop



Kabel für PV richtig verbinden

Ob Balkonkraftwerk oder größere Anlage: Um Module und Wechselrichter zu verbinden, braucht man Verlängerungskabel mit MC4-Steckern. Wer die selbst konfektionieren will, muss sich mit Werkzeug und dem Dimensionieren solcher Kabel beschäftigen.

Von Jan Mahn

Photovoltaikmodule werden nahezu immer mit zwei fest installierten Kabeln ausgeliefert, fast ausnahmslos mit Steckern vom Typ MC4. Die Kabel sind kurz und gerade so bemessen, dass man die Module nebeneinander installieren und in Reihe schalten kann. Wenn man ein kleines Balkonkraftwerk plant, also nur ein einzelnes Modul mit einem Mikrowechselrichter verbinden will, und den direkt dahinter anbringt, reicht diese Länge gerade so aus. Aber schon bei zwei Modulen nebeneinander,

die einen Wechselrichter erreichen müssen, wird es eng – denn unter mechanischer Spannung soll man die Kabel nicht verlegen und auch nicht über scharfe Kanten des Montagematerials ziehen. Ein Stück Verlängerung muss her.

Entweder kauft man fertig konfektionierte Verlängerungen oder man besorgt das Kabel als Meterware – dazu Stecker und Werkzeug – und wird selbst zum Kabelkonfektionierer. Wer nur zwei Strüppen für ein Modul des eigenen Balkonkraftwerks braucht,

sollte den ersten Weg einschlagen und zur Fertigware greifen. Ein Kabel mit einem Meter Länge und zwei Steckern kostet je nach Shop zwischen 5 und 15 Euro, Suchbegriffe sind „MC4“ und „PV-Verlängerung“. Doch die Erfahrung zeigt auch: Bei einem einzigen Balkonkraftwerk bleibt es oft nicht und als technisch Interessanter wird man zum Multiplikator für Freunde und Familie, die alle Schlange stehen. Schnell steht man vor der Aufgabe, „mal schnell“ solche Verlängerungen nach Maß anzufertigen. Was Sie dafür brauchen, beschreibt das Folgende.

Materialkunde

Als Kabel für PV-Anlagen kommt nur ein Typ infrage, spezifiziert in DIN EN 50618: Nach der harmonisierten Bezeichnung für Kabel heißen die PV-Kabel mit vollem Namen H1Z2Z2-K, was Auskunft über Leiter und Mantel gibt. Im Inneren befindet sich ein Leiter aus feindrähtigem Kupfer, außen verzint. Dann folgen zwei recht dicke Schichten Isolation aus Polyolefin. In Webshops findet man solches Kabel unter dem Suchbegriff „Solarkabel“ oder „PV-Kabel“ in rot und schwarz ab etwa 1 Euro pro Meter. Als Zubehör für PV-Anlagen ist das Kabel in Deutschland seit 2023 von der Umsatzsteuer befreit, wenn Sie beim Kauf versichern, dass Sie eine Anlage unter 30 Kilowatt Peak für Ihr Privathaus damit errichten. Von anderen Kabeln (wie NYM-Leitung oder gar Lautsprecherkabel) sollten Sie für diesen Zweck die Finger lassen – das wäre schlüssig Pfusch.

In der Praxis sind drei Leiterquerschnitte üblich: 4 mm², 6 mm², und 10 mm². Wenn Sie nur kurze Kabel für ein Balkonkraftwerk zuschneiden wollen, bei denen der Wechselrichter in der Nähe der Module hängt – also in zwei bis drei Meter Entfernung –, können Sie sich die folgenden Berechnungen sparen und unbesehen zur 4-mm²-Leitung greifen.

Dickere Leitungen brauchen Sie erst, wenn die Leitungswege länger werden. Das Ziel beim Dimensionieren der Leiter: Die Verlustleistung soll unter 1 Prozent liegen. Bei einem 400-Watt-Modul eines Balkonkraftwerks sollen also maximal 4 Watt verloren gehen. Verlust entsteht immer, weil jedes Kabel einen Widerstand hat und weil auf der Strecke elektrische Energie als Wärme umgewandelt wird.

Dickenberechnung

In die Berechnung des Widerstands R fließen die Länge des Leiters l (in Meter), sein Querschnitt A (in

Millimeter) und der spezifische Widerstand ρ des Materials mit der sperrigen Einheit ($\Omega \times \text{mm}^2/\text{m}$) ein. Für Kupfer liegt ρ bei 0,0171 ($\Omega \times \text{mm}^2/\text{m}$), bei höheren Temperaturen steigt dieser Wert.

Den Widerstand über die Länge des Kabels berechnet man dann mit $R = \rho \times 2 \times l/A$. Die Länge l (Strecke zwischen Modul und Wechselrichter) wird verdoppelt, weil man ja ein Kabel für den Plus- und eins für den Minuspol braucht.

Als Beispiel ein etwas konstruiertes Fall: Aus baulichen Gründen soll der Wechselrichter eines Balkonkraftwerks fünf Meter vom Modul entfernt installiert werden, man braucht also insgesamt zehn Meter Kabel. Der Widerstand bei einem Querschnitt von 4 mm² ist dann:

$$R = 0,0171 \times 10/4 = 0,04275 \Omega$$

Die Verlustleistung P_v ist dann schnell errechnet, man muss lediglich den Strom kennen, der durch die Kabel fließt, die Formel lautet:

$$P_v = R \times I^2$$

Im Beispiel soll nur ein einziges Modul angeschlossen werden. Dem Datenblatt kann man entnehmen, wie hoch der Strom maximal ist – bei einem 400-Watt-Modul kann das zum Beispiel ein Wert wie 11 Ampere sein. Eingesetzt ergibt das:

$$P_v = 0,04275 \times 11^2 = 5,17 \text{ W}$$

Resultat dieser kleinen Rechnung: Der Verlust in einer 400-Watt-Anlage ist höher als 1 Prozent. Abhilfe kann man schaffen, indem man den Wechselrichter näher ans Modul bringt oder den Querschnitt des Kabels erhöht. Kurze Probe: Bei einem Leiter mit 6 mm² Querschnitt und gleicher Länge liegt der Widerstand bei 0,0285 Ω und der Verlust bei nur noch 3,45 Watt – also unter dem Idealzustand von 1 Prozent.

Falls Sie angesichts dieser Rechnungen an einem Balkonkraftwerk Angst bekommen haben, dass die Kabel für eine große Dachanlage exorbitant dick werden müssen, können wir Sie beruhigen: In einem String einer großen Dachanlage werden die Module in Reihe geschaltet, es steigt also die Spannung, nicht die Stromstärke im System. Die Spannung kommt in den oben stehenden Gleichungen nicht vor. Würde man im obigen Beispiel zehn Module hintereinander installieren, liegt die Verlustleistung weiterhin bei 5,17 Watt, die Gesamtleistung aber bei 4 Kilowatt.

Handwerkszeug

Wenn Sie sich für das ideale Kabel entschieden haben, können Sie bestellen. Zusammen mit dem

Kabel können Sie auch die zweite Komponente beschaffen: die MC4-Stecker. Die gibt es mittlerweile in jedem gut sortierten PV-Onlineshop, bei vielen Elektrohändlern und auf Handelsplattformen wie eBay und Amazon. Bei denen ist es aber etwas schwieriger, in den Genuss des Nullsteuersatzes bei der Mehrwertsteuer zu kommen.

Zentrales Werkzeug zum Crimpen (zu Deutsch: „Quetschen“) ist eine MC4-Zange. Versuchen Sie das nicht mit einer Kombizange, einem Hammer oder anderen ungeeigneten Werkzeugen, denn sonst machen die Verbindungen früher oder später Probleme – mal davon abgesehen, dass das Gefriskel zeitraubend ist. Für einen Koffer mit einer MC4-Crimpzange vom Markenhersteller kann man bis zu 400 Euro ausgeben, aber wenn man solche Verbindungen nicht gerade im Hauptberuf herstellt, reicht auch ein günstiges Modell für 20 bis 40 Euro. Erfunden hat den MC4-Stecker der deutsche Hersteller Stäubli, der eine Zage für etwa 120 Euro anbietet.

MC4-Steckverbinder gibt es in einer männlichen und einer weiblichen Ausführung. Beide bestehen aus dem mittleren Kunststoffteil, einer Schraubkappe mit Zugentlastung und einer Metallhülse. Die Hülsen muss man sich vorab genau ansehen und sie richtig zuordnen: In den männlichen Stecker gehört die Hülse mit dem größeren Durchmesser, in den weiblichen Stecker der mit dem kleineren.

Los geht es mit dem Abisolieren eines Kabelendes. Typische Abisolierzangen sind mit der dicken Doppelisolation der PV-Kabel überfordert. Mit etwas Übung gelingt das mit einem Messer, ohne die Drähte zu beschädigen. Einfacher wird es, wenn man das Messer in eine Hand nimmt, das Kabel mit dem rechten Daumen aufdrückt und es mit der anderen Hand dreht. Wer häufiger abisolieren muss, bekommt für 50 Euro auch spezialisierte PV-Abisolierzangen. Etwa zehn Millimeter lang muss das abgesetzte Stück sein.

Dann folgt der Schritt, der etwas Übung erfordert. Die Zange hat mehrere Bereiche, die mit Zahlen wie 4 und 6 für verschiedene Leiterquerschnitte bezeichnet sind. In den richtigen Bereich legt man die zu verpressende Hülse ein – und zwar so, dass die offene Seite nach oben zeigt. Die Pressbacke hat dort die Form eines sehr flachen W. Wenn man die Zange etwas spannt, kann man sie halten, ohne dass die Hülse herausfällt.

Ist die Hülse in Position, legt man das abisolierte Kabel ein, dann muss man die Zange einmal bis zum Ende durchdrücken und das gepresste Teil entnehmen.



Übungssache: Die Zange so festhalten, dass die Hülse darin hält. Die offene Seite der Hülse zeigt in Richtung der Pressbacke, die wie ein flaches W geformt ist. Mit der anderen Hand führt man das abisolierte Kabel ein.

Das Crimpen ist erledigt, jetzt die Zugentlastung und die Schraubkappe auf das Kabel fädeln und den passenden Kunststoffstecker auf die Metallhülse stecken. Die Stecker sind so konstruiert, dass die Hülse darin einrastet – dann ist sie in Position und Sie können die Schraubkappe zudrehen. Bei einigen Steckern auf dem Markt liegt noch ein Werkzeug bei, um die letzten Umdrehungen der Schraubkappe zu erledigen, bei anderen geht das mit der Hand.

Die erste Seite des Verlängerungskabels ist fertig – auf die gegenüberliegende Seite gehört der jeweils andere Stecker. Jedes PV-Verlängerungskabel hat einen männlichen und einen weiblichen Stecker. Der häufigste vermeidbare Anfängerfehler beim Konfektionieren: die Schraubkappe und das Zugentlastungsteil vergessen, bevor man den Stecker aufsteckt. Die Hülsen haben Widerhaken und kommen somit nicht mehr raus.

Loskonfektionieren

Zum Abschluss ist noch eine Warnung angebracht: Dass MC4-Stecker leicht zusammensteckbar sind und schwer zu trennen, hat einen Grund. Eingesetzt werden die Verbinder eben nicht nur in Balkonkraftwerken, sondern auch in großen Stringanlagen mit Spannungen bis knapp unter 1000 Volt.

Dort ist das ein überlebenswichtiger Schutz, denn unter Volllast endet der Versuch, eine solche Ver-



Fest verbunden: Die Laschen an der Hülse haben sich nach dem Crimpen um die Litze gelegt. Die Hülse ist bereit, mit ihrem Stecker verbunden zu werden.



Fertig: Bevor man den Stecker von vorne auf die Hülse steckt, müssen Schraubkappe und Zugentlastung eingefädelt werden. Am Ende beide Teile verschrauben.

bindung zu trennen, in einem gefährlichen und langen Lichtbogen. Weil man MC4-Stecker also wirklich nicht leichtfertig öffnen sollte, sind sie heute oft so gestaltet, dass man ein (beigelegtes) Werkzeug mit zwei Dornen braucht, um die eingerasteten Nasen

auf beiden Seiten gleichzeitig zusammenzudrücken. Damit kennen Sie die Geheimnisse des MC4-Verlängerungskabels und können sich und der Familie selbst helfen, wenn Sie eine Installation von Balkonkraftwerk & Co. planen.
(jam) ct

The image shows the front cover of the magazine 'ct NETZWERKE' issue 23. The title 'ct NETZWERKE' is at the top, with the subtitle 'Heimnetze optimal einrichten'. Below the title, there are several sections with icons and text: 'Schnelles WLAN nutzen', 'Netzwerke bauen', 'VPN modernisieren', and 'Fritzbox einrichten und tunen'. A red circle on the right side contains the text 'inkl. 50 Seiten Fritzbox'.

Bestens verdrahtet!

- Fritzbox einrichten und tunen
- Kaufberatung: die beste Fritzbox für jeden Anschluss
- Mesh & Repeater optimal auswählen
- Mit speziellen VPNs die Privatsphäre schützen
- Netzwerke bauen
- Das bringen Wi-Fi-6E und Wi-Fi-7

Heft für 14,90 € • PDF für 12,99 € • Heft + PDF 19,90 €

shop.heise.de/ct-netzwerke23

Auch als
Heft + PDF
mit 28% Rabatt



Mehr PV-Ertrag per Leistungsoptimierer

Sie versprechen, die Ausbeute der eigenen Photovoltaik-Anlagen zu verbessern: Leistungsoptimierer. Doch ihr Einsatz hat gleich mehrere Haken, und die können ziemlich teuer werden.

Von Sophia Zimmermann

Mehr aus der eigenen Photovoltaik-Anlage herausholen, einfach und sicher – das ist ein Traum vieler Hausbesitzer. Zurecht, denn die Anlage ist teuer und jeder möchte seine Investitionskosten möglichst schnell wieder einspielen. Die Fachbetriebe haben dafür oft die passende Lösung schon parat: PV-Leistungsoptimierer. Die sollen dafür

sorgen, dass jedes einzelne Solarmodul zu jeder Zeit so arbeitet, dass es seine jeweils maximale Leistung bringen kann. Und zwar unabhängig vom Wechselrichter und davon, mit wie vielen anderen Modulen es in Reihe geschaltet ist. Hersteller solcher Technik versprechen, dass man mit Leistungs- oder Moduloptimierern zwischen 15 und 25 Prozent

mehr Ertrag aus seiner Anlage herausholen könne. Mancher prahlt sogar mit 35 Prozent mehr Ertrag in bestimmten Monaten.

Noch dazu versprechen die Gerätehersteller maximale Kontrolle über die Anlage, weil man dank einer entsprechenden App jedes Modul einzeln überwachen kann. Das sei nicht nur „smart“, sondern auch ein Sicherheitsfaktor. Zu den großen Anbietern im Markt zählen etwa SolarEdge, Huawei oder auch Tigo. Letzterer behauptet auf seinem Blog: „Für jedes Haus ist die Investition in Optimierer eine einfache Möglichkeit, die Sicherheitsvorschriften zu erfüllen, die Überwachung auf Modulebene zu ermöglichen und die Energieproduktion des Systems zu maximieren.“ Doch, was zu gut klingt, um wahr zu sein, hat meist einen Haken.

Wie Leistungsoptimierer arbeiten

Die Theorie hinter den PV-Leistungsoptimierern klingt erst einmal einleuchtend. Sie heben quasi die Nachteile der heute üblichen Reihenschaltung in PV-Anlagen aus und regeln jedes Modul einzeln in seinem Optimum. Um zu verdeutlichen, warum das so toll ist, arbeiten die Hersteller häufig mit einem prägnanten Beispiel: Das schwächste Modul ziehe die gesamte Anlage beziehungsweise den

gesamten String nach unten. Ist ein Großteil seiner Zellen stark verschattet, so die These, bringe das ganze Modul im Zweifelsfall keine Leistung mehr und das führt am Ende dazu, dass auch die anderen Module hinter ihrer möglichen Leistung zurückbleiben. Das verhindere der PV-Optimierer.

Allerdings hinkt das Beispiel: Denn moderne PV-Module haben mehrere sogenannte Bypass-Dioden. Sie leiten den Strom um die verschatteten Zellen herum, sodass alle anderen Zellen des Moduls ungestört weiterarbeiten können und das Modul eben nicht den gesamten String beeinträchtigt.

Die Optimierer arbeiten allerdings viel ausgeklügelter, denn sie beherrschen das sogenannte Maximum-Power-Point-Tracking – kurz MPPT. Der Maximum Power Point meint den Betriebspunkt, an dem das Produkt aus Strom und Spannung eines Moduls die maximale Leistung erreicht. Dieser Punkt ist allerdings keine Konstante, sondern abhängig von Sonnenbestrahlung und der Temperatur des Moduls. Beide Parameter verändern sich im Laufe des Tages immer wieder.

Der Algorithmus eines MPP-Trackers versucht nun, diesen optimalen Betriebspunkt zu finden, sodass das Modul unabhängig von den äußeren Faktoren seine beste Leistung erbringen kann. Es gibt verschiedene technische Verfahren, den MPP zu ermitteln, um entsprechend nachzurügeln zu können. Eine Variante ist es beispielsweise die Spannung der Solarzelle zu regulieren.

Das kommt Ihnen bekannt vor? Kein Wunder, denn moderne Wechselrichter beherrschen MPP-Tracking ebenso – einphasige Modelle für den gesamten String. Es gibt überdies im Einfamilienhausbereich mittlerweile viele Geräte mit mindestens zwei MPPT-Eingängen, sodass man auf dem Dach ohnehin mit zwei Strings arbeiten könnte – damit könnte man die eher verschatteten Module ebenfalls einzeln führen und entsprechend optimieren. Modul- oder Mikrowechselrichter beherrschen diesen Trick freilich wie die Leistungsoptimierer ebenfalls auf Modulebene. Details dazu im Artikel „So arbeiten Solarwechselrichter“ auf Seite 36.

Was Leistungsoptimierer kosten

Die Preise der Leistungsoptimierer liegen bei um die 70 bis 80 Euro pro Stück – das kommt auf die Leistungselektronik um den Wechselrichter obendrauf. Man kann die Geräte einzeln für bestimmte Module erwerben oder im Set. Anbieter wie SolarEdge setzen etwa vornehmlich auf Komplettpakete: Sie ver-

Bild: ivelin Deney/Shutterstock



Leistungsoptimierer gibt es entweder einzeln oder im Komplettset inklusive passendem Wechselrichter. Entscheidet man sich für letztere Variante, holt man sich sehr viel Leistungselektronik aufs Dach - die mit Pech nach wenigen Jahren wieder getauscht werden muss.

kaufen die Geräte also im Bundle mit einem angepassten String-Wechselrichter. Der kann im Vergleich zu herkömmlichen Modellen deutlich günstiger ausfallen, weil er etwa selbst kein MPP-Tracking leisten muss. Die Geräte bekommt man schon für unter 700 Euro. Zum Vergleich: Klassische Wechselrichter etwa für eine Anlage mit zehn Kilowatt Spitzenleistung gehen bei um die 1500 Euro los. Das klingt also erst einmal nicht schlecht.

Zu den günstigen 700 Euro muss man allerdings die Kosten für die Optimierer rechnen. Geht man von 24 Stück aus, um beispielsweise knapp auf zehn Kilowatt zu kommen, legt man hier also noch einmal knapp 1700 Euro drauf. Dann ist man schon bei 2400 Euro Leistungselektronik. Günstig ist das nicht mehr, im Gegenteil.

Zweifel an Langlebigkeit

Mit PV-Leistungsoptimierern holt man sich viel komplexe Leistungselektronik aufs Dach. Das schlägt sich obendrein in den Installationskosten der Anlage nieder, auch weil jeder Optimierer sauber identifiziert und Software-seitig angebunden werden muss. Diesen Zeitaufwand zahlt man als Endkunde natürlich mit.

Das ist auch einer der Kritikpunkte von Professor Dr. Frank Baumgartner von der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) (siehe ct.de/wzrj). Er beschäftigt sich intensiv mit der Technik und betreut dazu Forschungsprojekte unter anderem für das Bundesamt für Energie in der Schweiz. Vor allem hat er Bedenken bezüglich der Langlebigkeit der Optimierer, denn in diesen kleinen Boxen stecken Spulen, mehrere Leistungstransistoren sowie Mikrocontroller für MPP-Tracking und Kommunikation.

Obendrein hängt diese hochkomplexe Box permanent hinter einem Solarmodul, hinter dem es im Sommer auch einmal 70 Grad warm werden kann. „Wenn man davon ausgeht, dass String-Inverter, die im kalten Keller stehen, typischerweise nach 13 Jahren getauscht werden, scheint eine garantierte Lebensdauer, die doppelt so hoch sei, eher spekulativ“, so Dr. Baumgartner.

25 Jahre ist tatsächlich der Zeitraum, den die Hersteller der Optimierer als Garantiezeitraum angeben. Dabei ist es nicht das Problem, die kleinen 70-Euro-Box zu ersetzen – das Problem ist, dass man seine Anlage dafür erreichen und Module ab- und wieder anmontieren müsste. Traut man sich das nicht selbst zu, muss ein Fachbetrieb ran, dazu benötigt man womöglich ein Gerüst als Absturzsicherung. Das

kann aufgrund hoher Handwerker- und Montagskosten teuer werden – insbesondere, wenn jedes Modul mit Optimierer bestückt ist.

Baumgartner fordert daher etwa, dass Betriebe und Hersteller, die Kosten für einen Tausch unter aktuellen Preispunkten darlegen müssten: „Kunden rate ich, sich vorher darüber zu informieren, welche Kosten im Fall eines Tauschs tatsächlich auf sie zu kommen und sich einen Preis womöglich im Angebot festschreiben zu lassen.“ Nur so kann man realistisch Kosten und Nutzen abschätzen.

Das bringen Leistungsoptimierer wirklich

Um den Nutzen der Leistungsoptimierer abzuschätzen, müsste man ihre Wirkungsgrade beziehungsweise ehrliche Leistungsdaten kennen. Und an dieser Stelle ist die Datenlage aber eher dünn. Einige Hersteller machen gar keine Angaben zu den Wirkungsgraden ihrer Geräte machen. Andere werben mit 99,8 Prozent Wirkungsgrad.

Laut Baumgartner handelt es sich hierbei aber um Wirkungsgrade bei ganz speziellen Arbeitspunkten, die in der Praxis fast nie angefahren werden könnten. „Man geht hier vom besten Wirkungsgradbereich aus und der beste Wirkungsgradbereich der Optimizer ist der, wenn die Eingangsspannung am Modul gleich der Ausgangsspannung entspricht – kurz, sie könnten das gleiche ohne den Optimizer erreichen.“ Angaben dazu, was die Optimizer bei größeren Spannungsunterschieden am Ein- und Ausgang erreichen, fehlen. „Das betrachte ich als eklatantes Versagen, wenn es darum geht, fair zu informieren“, so der Experte.

In der Praxis zeigt sich, dass die Hersteller die Wirkungsgrade um etwa 1 bis 2,5 Prozent überschätzen. Das hat das ZHAW im Rahmen eines Forschungsprojekts ermittelt (siehe ct.de/wzrj), das die effektive Leistungsfähigkeit von Leistungselektronik auf Modulenebene mit Systemen rund um konventionelle String-Wechselrichter vergleicht. Die Messungen haben die Forscher mit Leistungsoptimierern von SolarEdge, Huawei und Tigo durchgeführt. Gearbeitet haben sie im Indoor-Labor mit einem Haus-eigenen Simulationstool, das unterschiedliche Versatzungsszenarien über ein Jahr durchspielen kann.

So konnten die ZHAW-Forscher auch ermitteln, ob man seinen Ertrag mit den kleinen Boxen wirklich steigern kann. Die Ergebnisse zeigen, dass das in ganz bestimmten Situationen geht. Allerdings erreicht man nicht annähernd das, was die Hersteller versprechen.

Nur in speziellen Situationen sinnvoll

Bei Photovoltaik-Anlagen, die beispielsweise aufgrund von Bäumen unter einer mittleren Verschattung leiden, kann man mit einzelnen Leistungsoptimierern an den stark verschatteten Modulen den höchsten jährlichen Ertragszuwachs von bis zu zwei Prozent im Vergleich zum „Wechselrichter only“-System erzielen. Ist die Verschattung dagegen stark, beispielsweise durch große, entfernte Gebäude, kann man einen Ertragszuwachs von bis zu vier Prozent erzielen, wenn jedes Modul mit eigenem Leistungsoptimierer ausgestattet ist.

Eine Studie der Universität Süddänemark aus dem Jahr 2019 kommt zu einem ähnlichen Ergebnis (siehe ct.de/wzrj). Getestet wurde hier auf einem kleinen, bodenmontierten Photovoltaik-Feld mit 42 Modulen im Süden Dänemarks. Verschattungssituationen haben die Verantwortlichen mit halb-transparenten Decken und Pfählen simuliert. Auch hier zeigte sich: Nur in sehr wenigen Szenarien könnte man von den Optimierern profitieren – und zwar, wenn die Module eines Strings unterschiedlich ausgerichtet sind oder komplett Module über einen großen Teil des Tages im Schatten liegen. Die Ertragssteigerungen könnten dann zwischen einem und drei Prozent liegen.

Liegt allerdings eine schwache Verschattungssituation vor, etwa durch ein Lüftungsrohr oder einen Schornstein auf dem Dach, verliert man durch die Leistungsoptimierer eher. Auch hierin stimmen die Forscher von ZHAW und der Universität Süddänemark überein. Verantwortlich dafür sind die Wandlungsverluste der Optimierer, die den Ertrag dann insgesamt drosseln. Baumgartner gibt zu bedenken: „Entscheidend für den maximalen Jahresertrag ist doch nicht, dass irgendwann am Tag mal ein langer Schatten auf die Anlage fällt, zum Beispiel am Morgen mit wenig Sonne. Entscheidend ist, dass er das nicht in der Zeit zwischen 11 und 15 Uhr tut, wo sie das meiste aus Ihrer Anlage herausholen können.“ Statt 15 bis 25 Prozent, sind es also eher ein bis vier Prozent – und auch das nur in speziellen Situationen. Dafür nimmt man dann höhere Installationskosten und das Risiko eines teuren Tauschs in Kauf.

Das lohnt sich kaum, zeigt ein grobes Beispiel: Wir gehen von einer Anlage mit zehn Kilowatt Spitzenleistung aus, die ohne Optimizer eine jährliche Leistung von rund 10.000 Kilowattstunden Strom liefert. Nun nehmen wir an, dass sie mit Optimierern hinter jedem Modul drei Prozent mehr Leistung bringen könnte. Das sind etwa 300 Kilowattstunden mehr. Je nachdem, wie man es sieht, sind das theoretisch 300 Kilowattstunden mehr, die man einspeisen könnte.

SICHER
EINKAUFEN

Online-Shopping ohne Probleme

Schützen Sie sich vor Betrug

Digital bezahlen

Kaufprobleme lösen

Heft + PDF mit 29 % Rabatt

Online-Shopping ohne Probleme: c't hilft.

- ▶ Die wichtigsten Regeln für den Onlinekauf
- ▶ Schützen Sie sich vor Betrug
- ▶ Kaufprobleme lösen
- ▶ Käuferschutz richtig einsetzen
- ▶ Digital bezahlen
- ▶ Auch als Heft + digitale Ausgabe mit 29 % Rabatt

Heft für 14,90 € • PDF für 12,99 € • Bundle Heft + PDF 19,90 €



shop.heise.de/ct-sicher-einkaufen23

Dabei beträgt die Einspeisevergütung für kleine Dachanlagen bis zehn Kilowatt Spitzenleistung momentan 8,03 Cent (Stand August 2024) – macht 24 Euro im Jahr. Bei zehn Jahren wären das immerhin 240 Euro. Wobei die Perspektive hier unsicher ist, da die Einspeisevergütung tendenziell sinken wird. Man kann es aber auch so sehen, dass man 300 Kilowattstunden mehr erzeugt, die man dem Stromanbieter nicht für sagen wir 30 Cent pro Kilowattstunde abkaufen muss. Der Betrag klingt besser, denn das entspräche immerhin einer theoretischen Einsparung von 90 Euro im Jahr. Und 900 Euro in zehn Jahren. Natürlich ist es aufgrund individueller Gegebenheiten und wechselnder Umweltbedingungen schwierig, konkret vorherzusehen, was eine PV-Anlage zu welchem Zeitpunkt wirklich leisten kann – unser Beispiel ist deshalb nur exemplarisch zu betrachten.

Das Problem der Fachbetriebe

Die echten Leistungsdaten finden sich in den kommerziellen PV-Planungstools nicht wieder. Denn die arbeiten eben mit den Datenblatt-Angaben der Optimierer-Hersteller. Sie liefern daher keine sau-

eren Ergebnisse. Die Konsequenz: „Selbst der Praktiker, der schon seit 20 Jahren Anlagen installiert, wird Ihnen nicht seriös sagen können, ob ein Optimizer wirklich die besseren Erträge bringt“, so Baumgartner.

Natürlich haben die PV-Optimierer auch ein paar Punkte auf ihrer Habenseite. Das ist in erster Linie die Sicherheit. Im Fehler- oder Brandfall regeln sie die Spannung jedes einzelnen Moduls herunter – wichtig etwa für Feuerwehrleute. Auch das könnte man freilich anders lösen, etwa mit einem Not-Ausschalter für die Anlage außen am Haus oder im Hauswirtschaftsraum.

Nicht zuletzt befriedigt die All-Optimizer-Lösung voyeuristische Bedürfnisse, in dem man nun für jedes einzelne Modul genau nachvollziehen kann, wie es arbeitet und was es an Ertrag bringt. Das kann aufgrund der hohen Kosten einer Anlage durchaus beruhigend wirken.

In der Praxis und Alternativen

Die Werbebotschaften der Optimierer-Hersteller verfangen offenbar hervorragend. Es gibt Schätzungen, wonach etwa 30 Prozent aller Anlagen



Leistungsoptimierer sollen verhindern, dass ein verschattetes Modul die gesamte Anlage mit nach unten zieht. Allerdings haben moderne Module inzwischen selbst schon mehrere Bypass-Dioden, die den Strom an komplett verschatteten Zellen vorbeischleusen.

mittlerweile mit der Technik arbeiten. Das ist entschieden zu viel, ist auch Peter Bachmann vom Photovoltaik-Anbieter Solarwatt überzeugt. Er verantwortet dort das Produktmanagement und das umfasst etwa Module, Speicherlösungen, Leistungselektronik und Energiemanagement. Er geht davon aus, dass man Optimierer in bis zu zehn Prozent aller Fälle sinnvoll einsetzen könnte. Nämlich dann, wenn Module so stark verschattet sind, dass etwa die integrierten Bypass-Dioden nicht mehr arbeiten können. Dann wäre es der Leistungsoptimierer, der das gesamte Modul aus dem String nehmen würde.

„Ist dazu noch das Dach des Kunden sehr klein oder aufgrund von Gauben und mehreren Dachflächen kompliziert und er will wirklich alles herausholen, würden wir ihm eher die Empfehlung zu Leistungsoptimieren geben - allerdings nur gezielt an den von der starken Verschattung betroffenen Modulen“, so Bachmann. Würde er eine solche Situation bei einer üppig großen Anlage entdecken, würde er eher empfehlen, die stark verschatteten Module wegzulassen und so die Kosten insgesamt zu minimieren und damit die Wirtschaftlichkeit zu steigern.

Will man eine Anlage über verschiedene Dachflächen verlegen – etwa auf einem Walmdach, wie es bei Stadtvillen in Neubaugebieten beliebt ist – würde er zu einem Wechselrichter raten, der mit mehreren MPP-Trackern und entsprechend mehreren Strings arbeitet. Denkbar wäre auch, besonders stark verschattete Module mithilfe von Mikro-Wechselrichtern im eigenen String zu betreiben. Grundsätzlich mahnt Bachmann an, dass die exakte Planung der Anlage entscheidend ist. „Es ist immer ein Ab-

wägen von Wirtschaftlichkeit und Nutzen. Das ist sehr individuell.

Leistungsoptimierer würden manche Betriebe auch deshalb sehr gerne nutzen, weil sie den Eindruck erwecken, man müsse nicht mehr ganz so genau planen, so Bachmann. Gleichzeitig könnten sie aber sie dank der Technik schlicht und ergreifend mehr verdienen.

Fazit

PV-Leistungsoptimierer sind umstritten. Im Netz reichen die Einschätzungen von „entscheidend bei der Effizienzsteigerung“ bis hin zu „überflüssig, wie Kühlsschränke am Nordpol“. Letzteres sagt übrigens Systemtechnik-Spezialist SMA (siehe ct.de/wzrj). Die Antwort liegt irgendwo dazwischen. Für typische Standardanlagen bringt die Technik nichts – im Gegenteil, aufgrund von Wirkungsverlusten kann sie im schlimmsten Fall den gesamten Ertrag drücken. In komplizierten Verschattungssituationen und auf kleinen Dächern können die Leistungsoptimierer immerhin einen kleinen Nutzen haben.

Ob der allerdings den finanziellen Mehraufwand und die komplexere Installation rechtfertigt, muss man ganz genau abwägen. Privatleuten fehlen dazu schlicht die Möglichkeiten. Doch auch Fachbetriebe haben nicht immer die optimalen Tools, um saubere Ertragsprognosen zu liefern.

Sowohl Professor Dr. Baumgartner als auch Solarwatt-Mann Bachmann plädieren dazu, nicht zu viel komplexe Leistungstechnik in einer Anlage unterzubringen. Robustheit statt Over-Engineering sollte die Devise lauten. Das reduziert das Risiko der Unwirtschaftlichkeit.

(jow) ct

Weitere Infos
ct.de/wzrj

Webinar am 26. September 2024

Grundlagen funktionaler Programmierung

Konzepte verstehen und eleganten Code schreiben



Jetzt Tickets sichern: heise-academy.de/webinare/funktionale-programmierung



Bild: Ralf Kuse, thermo-copter.de

PV-Anlagen reinigen: Warum, wann, wie?

Nach einigen Jahren können vor allem flach montierte Solarplatten siffig aussehen und entsprechend Leistung verlieren. Eine professionelle Reinigung kostet viel Geld, eine in Eigenleistung birgt gewisse Gefahren. Also sollte man vorher überlegen, was sich lohnt und wie man sinnvollerweise selbst säubert.

Von **Clemens Gleich**

Jeder Solaranlagenbesitzer kennt noch die Freude, wenn die neuen Panels im Sonnenlicht glänzen und den Wechselrichter an die Nennleistungsgrenze schieben. Nach ein paar Monaten glänzt es dann nicht mehr so, sondern oft liegt schon einiger Dreck auf den Modulen. Das kann Staub aus der Umgebung sein, also Reifenabrieb von Straßen, Baustaub, Landwirtschaftsstaub oder Verbrennungsstaub aus Kaminen. Manchmal bringt uns der Wind

auch Staub aus der fernen Sahara mitsamt einiger schöner Schlagzeilen für die Presse.

Da kommt schnell die Frage auf: Muss ich rauf aufs Dach und die Dinger säubern? Oder gar jemanden bezahlen, der das professionell erledigt? In den allermeisten Fällen müssen Sie da gar nichts machen, denn die Glasscheiben von Solar-Panels werden beschichtet, damit der Regen den Dreck gut abwaschen kann. Hierin verbirgt sich sogar ein Pro-

blem für Laien, die es zu gut meinen mit der Reinigung: Ungeeignete, zu harte Reinigungsgeräte oder falsches Schrubben können diese Beschichtung beschädigen. Im Regelfall reicht der Regen, weil die meisten Privathaus-Dächer mit mehr als 25° Neigung gebaut wurden.

Wenn das Dach zu flach wird, je nach Pauschalaussage also unter 20°, Fraunhofer und manche andere sagen auch: unter 15° Neigung der Platten, reicht der Regen nicht mehr aus zur dauerhaften Reinigung. Hinter den Pauschalaussagen verbergen sich jedoch viele „es-kommt-darauf-ans“. Bei klebriger Verschmutzung, wie sie etwa durch Harz auf die Panels kommen kann, reicht selbst eine senkrechte Montage nicht, um den verklebten Staub loszuwerden. Umgekehrt reichen in staubarmen Luftkurorten mit ausreichend Regen auch einmal 10° zur Regenreinigung. Als Faustregel gilt aber: Was auf einem normalen Satteldach (30° bis 45° Neigung) montiert wird, muss im Regelfall niemals gereinigt werden.

Schmutzsammler Flachdach

Im Privatbereich sind Flachdächer eher selten zu finden, vorrangig bei Bungalows und Garagen. Im Gewerbe jedoch dominieren sie. Dort stellt sich folglich besonders häufig die Frage, ob die Module doch einmal gereinigt werden müssen, denn wenn der Regen sie niemals vollständig abwaschen kann, akkumuliert der Dreck. In Deutschland können daraus 10 bis 15 Prozent Leistungsverlust resultieren.



Bild: Marvin Strathmann

Satteldach mit 41° Neigung. Auch diese Module waren voller Saharastaub. Aber dann kam der Regen.

In Extremfällen wurden schon 20 Prozent gemessen. Größere Verluste kommen erst in staubigen Wüstenregionen vor. Dort wird daher regelmäßig entstaubt.

Der Dreck sammelt sich dabei üblicherweise an der unteren Kante, an der nach dem Regen immer eine schmutzige Pfütze stehen bleibt. Da die Zellen einer Platte jedoch in Reihe geschaltet sind, sorgt eine solche Teilverschmutzung für einen in Relation zur Fläche stark überproportionalen Leistungsverlust.

Die allermeisten Solarpanels haben einen Rand von einigen Millimetern Höhe, der das Wasser hält (Besitzer von rahmenlosen Panels freuen sich). Damit der Rahmen mitsamt Dreck überspült wird, muss es schon Hunde und Katzen regnen. Eine sehr einfache, bewährte Lösung für die Schmutzränder unten auch zum Nachrüsten sind Clips aus Plastik oder Metall, die das Wasser dieser Pfützen per Kapillarkraft über den Rand heben zum Ablauf. Sie machen in der Flachmontage einen großen Unterschied.

Aus eigener Erfahrung: Am besten vor der Panel-Montage dran denken, dann sind die Dinger in Sekunden angeclipt. Bei montierten Platten kann es eng werden, ich musste einige Clips mit der Flex zurechtschneiden. Achtung: Manche Anbieter verlangen über 6 Euro pro Clip. Scrollen Sie weiter zu den Angeboten, die bei einem Zehntel dieses Preises liegen. Google-Suchkombination „PV Ablauf Clips“ oder ähnlich. Mehr als einen Euro pro Clip sollten Sie auch bei Kleinstmengen nicht ausgeben müssen, und ich konnte keine Unterschiede feststellen zwischen den teuren und den billigen Clips.

Noch billigere Alternative: Die Platten so montieren, dass die untere Kante ein leichtes Gefälle aufweist. Dann sammelt sich nur in einer Ecke etwas Schmutz, der durch den höheren Wasserfluss zudem bei Regen besser durchspült wird.

Schwer vorhersehbar: Wie schmutzig wird es?

Luft, Staub, Wasser, Lebewesen und Wetter verhalten sich im Detail unprognostizierbar komplex. Bedeutet: Es kann einfach sein, dass Sie Pech haben und Ihre Anlage verschmutzt stärker als die der Nachbarn. In den allermeisten Fällen verursachen selbst deutlich sichtbare Verschmutzungen nur Leistungsverluste von drei bis fünf Prozent. In diesem Fall sollten Sie gar nichts machen, denn das wäscht Ihnen der Regen weg. Preislich geht es (je nach Anlagengröße, Eigenverbrauch, Strompreis und Ein-



Rechts steht eine Kiefer, die das Dach bestaubt, teils auch beharzt. Entsprechend gut klebt der Staub trotz etwa 45° Dachneigung.

Bild: Ralf Kruse, thermo-copter.de

speisevergütung) um 10 bis 50 Euro pro Jahr. Davon können Sie keinen Solarplattenputzer bezahlen und dafür lohnt es sich nicht, als Laie aufs Dach zu steigen und dort herumzuhantieren.

Photovoltaikplatten sind vergleichsweise tödlich als Energieerzeugungstechnik, und zwar hauptsächlich, weil reinigungswillige Eigenheimbesitzer immer wieder von ihren Dächern fallen. Das betrifft insbesondere Schneefall: Bei gefrorenem Wasser auf dem Dach steigt die Abrutschgefahr stark an.

Gleichzeitig sind im Winter die Solarerträge so gering, dass es absurd ist, da überhaupt etwas Anderes zu machen als die drei Tage abzuwarten, die heutzutage der Schnee noch liegen bleibt. Trotzdem fallen Menschen von Dächern, weil sie der Fehleinschätzung folgen, die Aktion lohne sich für die zu erwartenden zwei Euro.

Es gibt jedoch auch Verschmutzungen, die ertens nicht mehr weggehen und daher zweitens dauerhaft relevante Leistungsverluste verursachen.

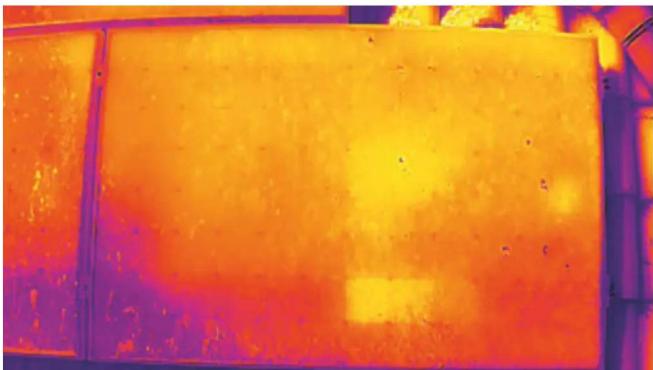


Bild: Ralf Kruse, thermo-copter.de

Das Thermobild zeigt, wie einige Zellen zum Widerstand werden, weil sie so viel weniger Strom produzieren als das Umfeld. Das senkt die Leistung des ganzen Moduls erheblich.



Bild: Ralf Kruse, thermo-copter.de

Auf dem Modul haftet dadurch neuer Staub oder auch neuer Vogelkot sehr gut, die Beschichtung des Glases ist ausgehebelt.

Wenn die Module für Schnecken erreichbar montiert sind: Sie lieben es, auf dem schön glatten Glas entlangzukriechen. Entlang ihrer Schleimspur haftet der Staub sichtlich besser. Immerhin löst sich Schnackenschleim gut.

Bild: Clemens Gleich



Die krassesten Verschmutzungen in Deutschland gibt es bei Solaranlagen, die viel organischen Staub abbekommen, also oft auf landwirtschaftlichen Gebäuden, manchmal reicht jedoch schon ein besonders emittierender Baum am Dach. Organischer Staub bietet Mikroorganismen besonders gute Möglichkeiten zum Wachstum und was lebt, das klebt. Diese Verschmutzung bleibt also bei Regen hartnäckig haften. Während Pollen oft noch gut abgehen, gilt das für Honigtau (vulgo: Blattlauskacke) oder Vogelkot ein masse schon nicht mehr so unbedingt.

Anders als wasserbasierte Autolacke kann das Solarglas inklusive Beschichtung gut mit solchen Beschichtungen umgehen. Es gibt allerdings darunter schlicht weniger Licht, das zu Strom verarbeitet werden kann. Wenn sich also eine mikrobiologisch multikulturelle dicke Schicht aufbaut, kann der Regen sie in manchen Fällen nicht mehr abwaschen, insbesondere in der Flachmontage.

Wirtschaftliche Überlegungen zum Putzen

In solchen Fällen kann es sich lohnen, die Anlage nach Bedarf vom Belag zu befreien. Professionelle Photovoltaik-Putzer gibt es überall zuhauf. Sie verlangen bei großen Anlagen im Gewerbe je nach Gegend 2 bis 5 Euro pro Quadratmeter (bei Anlagen über 1000 m² etwas weniger). Privathausbesitzer können jedoch durchaus insgesamt 350 Euro bezahlen für die Reinigung einer 10-kWp-Anlage. Da muss selbst bei 15 Prozent Verlust ein Wechselrichter lange stricken, bis das durch Mehrleistung wieder hereinkommt.

Der Vorteil gewerblicher Putzdienste: Diese Leute verwenden die richtigen Werkzeuge und das richtige Wasser, um Schäden und Folgeverschmutzungen durch Kalk zu vermeiden. Wer sich mit falschen Reinigungsmitteln, Schabern oder zu harten Borsten selbst die Module beschädigt, darf nicht mehr auf Garantie hoffen. Das gilt bei fast allen Modul-Herstellern auch explizit für das Kärrern (Hochdruckreinigen).

Auf dem Flachdach ist es langfristig oft am günstigsten, schon beim Bau auf mehr als 20° Neigung aufzuständern, um den Regen reinigen zu lassen. Alternativ kann man sich überlegen, ob man die Solaranlage zur Reinigung sicher begehbar gestalten will. Das hilft dann auch bei Reparaturen, wenn etwa der Marder die Gleichstromkabelmäntel wieder einmal unfassbar schmackhaft findet. Die Alternative besteht darin, bei der Auslegung gleich 15 Prozent Leistungsverlust einzukalkulieren und die Module 20 bis 30 Jahre lang versiffen zu lassen. Das kann bei aktuellen Modulpreisen fallweise die schlaueste Entscheidung sein.

Ich mach's trotzdem selber

Ok, Sie haben gelesen, dass die Reinigung selten nötig, meistens Quatsch und oft gefährlich ist und möchten es trotzdem tun, weil Sie zum Beispiel eine besonders bestaubte Flachmontage betreiben. Dann gibt es einige Punkte zu beachten.

Der erste Punkt ist eine Leistungsmessung. Manche Anlagensteuerungen mit Solaroptimierern können einzelne Plattendaten protokollieren. In solchen Systemen können Sie historische Maximal-

daten mit den aktuellen vergleichen und einzelne zu verdreckte Panels identifizieren. Ansonsten geht das nur über die gesamte Anlage: Wenn kühle Platten im optimalen Einstrahlwinkel im Bereich 10 Prozent und mehr Leistung verlieren, dann liegt das meistens an Dreck.

Degradierung spielt erst bei alten Anlagen eine nennenswerte Rolle. Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme hat bei 44 qualitätsgeprüften Anlagen eine durchschnittliche jährliche Degradation von 0,15 Prozent ermittelt. Bei der Planung geht man konservativ von 0,5 Prozent/Jahr aus. Ein zehnprozentiger Verlust durch Degradation ist also vor 20 Jahren Betriebszeit nicht zu erwarten.

Die jährliche Leistungserzeugung eignet sich weniger zur Ermittlung von Leistungseinbußen, weil sie stark vom Wetter abhängt. Wenn Sie etwa 2023 10 Prozent weniger Strom produzierten als 2022, sind die Platten wahrscheinlich nicht übermäßig verdreckt, sondern in beiden Jahren im gleichen Zustand. 2022 schien die Sonne schlicht mehr (siehe ct.de/wm6y).

Was Sie (nicht) tun sollten

Ok, Sie haben einen eindeutigen Leistungsverlust ermittelt und Schmutz als Ursache dafür identifiziert. Sie wollen putzen. Dann sollten Sie folgende Dinge VERMEIDEN:

- kalkhaltiges Wasser (hinterlässt beim Trocknen Kalk, der weiteren Schmutz fängt)
- kaltes Wasser auf heiße Platten
- harte Bürsten oder Stoffe
- Scheuermittel (am besten nehmen Sie überhaupt keine Reinigungsmittel außer Wasser)
- Hochdruckreiniger
- Reinigung, nur weil die Platten ein bisschen dreckig aussehen
- Kletterpartien, für die Sie von Fitness, Motorik und Sicherheitsausrüstung her zum geplanten Zeitpunkt der Reinigung ungeeignet sind (fragen Sie im Zweifel Ihren Lebenspartner)

Es eignen sich zur Reinigung:

- sicher erreichbare PV-Anlagen, die eindeutige Leistungseinbußen von mehr als 10 Prozent zeigen
- kühle Platten
- Reinigungs-Teleskopstangen in Dimensionen, die Sie noch sicher bewegen können

- weiche Kunststoffbürsten, am besten mit expliziter Herstellerangabe zur Eignung für beschichtetes Solarpanel-Glas
- weiche Mikrofasertücher, weiche Wischer oder Fensterleder
- spezielle Solaranlagen-Reinigungsmittel oder das, was der Panel-Hersteller empfiehlt
- mineralienarmes Wasser (also am billigsten Regenwasser oder sonstiges Kondenswasser beispielsweise aus dem Wäschetrockner)
- Alternative: kalkhaltiges Wasser danach abziehen
- zum Spülen Niedrigdruck im Bereich bis 5 bar

Den Schmutz mit möglichst viel Wasser und möglichst wenig mechanischer Krafteinwirkung ablösen, denn der Schmutz wirkt ansonsten wie ein Scheuermittel. Nach Abschluss der Arbeiten sollten Sie die Maximalleistung beobachten. Hier sollte die Anlage wieder an ihre bekannten Leistungsmaxima (wie gesagt: bei kühlen Platten unter maximaler Sonnenenergie) herankommen, eventuell bereinigt um die minimale Degradation bei alten Platten. Wenn es keinen Unterschied gibt (das Schicksal der meisten Reinigungswilligen), liegt die Ursache des Leistungsverlustes an einer anderen Stelle. Meistens ist diese andere Stelle eine falsche Betrachtung der Messdaten. Es folgen in absteigender Reihenfolge die Kandidaten:

- **Wechselrichter**, das empfindlichste Bauteil jeder Solaranlage
- **Verkabelung**: Wenn die Steckverbindungen im Widerstand steigen, verringern sie die Leistung und erhöhen das Brandrisiko.
- **Modulschäden**: In PV-Panels können bei Transport oder Montage zunächst unsichtbare Mikrorisse auftreten, die zu Hitzenestern führen, mit entsprechend niedrigerer Leistung und irgendwann sichtbaren Verfärbungen.
- **Glasschäden**: Die Hersteller bauen das Glas immer dünner, und sehr dünnes Glas wird schwieriger zu härtten. Glasschäden sind also häufiger als früher, und durch das beschädigte Glas dringt Feuchtigkeit ein, was wiederum zu Modulschäden führt.

Diese Punkte dienen auch zur Erinnerung, dass eine Solaranlage wie jedes technische Gerät mit regelmäßiger Überprüfung (man möchte es fast „Wartung“ nennen) besser vorhersagbar läuft. Und tun Sie sich und Ihren Liebsten den Gefallen und lassen im Winter Schnee einfach Schnee sein. (jow) ct

Weitere Infos

ct.de/wm6y

WIR SIND NICHT NUR NERDS. WIR SIND AUCH VOM FACH.

Jetzt 5 × c't lesen

für 20,25 €
statt 27,25 €*

* im Vergleich zum Standard-Abo

30 %
Rabatt!

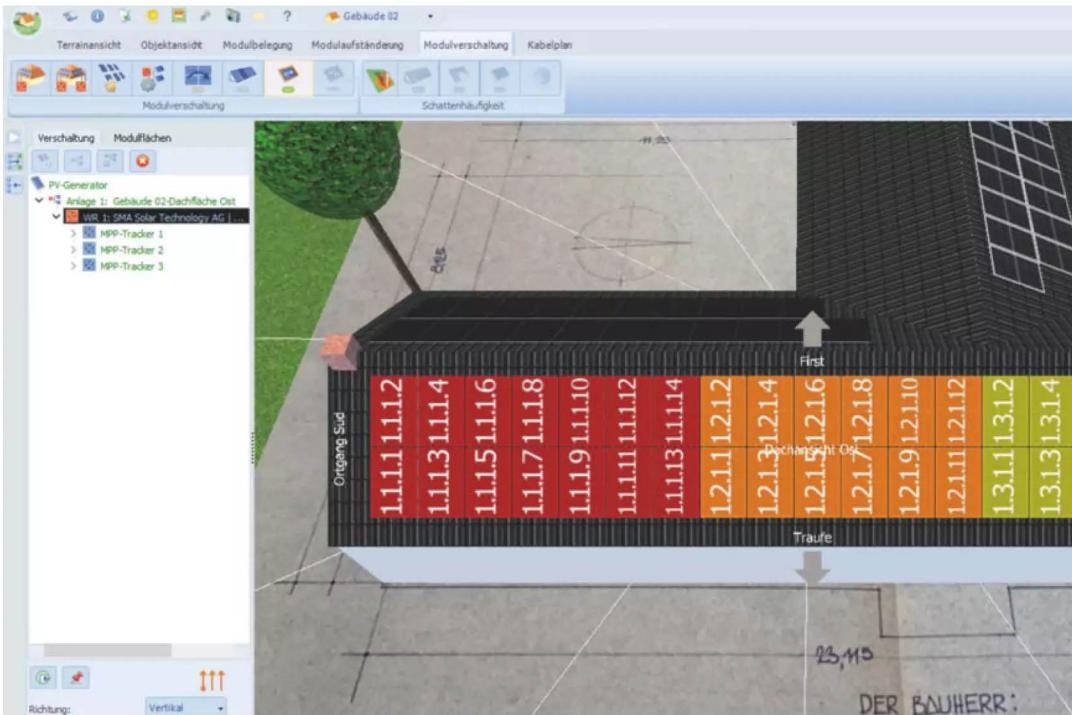


c't MINIABO DIGITAL AUF EINEN BLICK:

- 5 Ausgaben digital in der App, im Browser und als PDF
- Inklusive Geschenk nach Wahl
- Mit dem Digitalabo Geld und Papier sparen
- Zugriff auf das Artikel-Archiv

Jetzt bestellen:
ct.de/nerdwissen





PV*SOL: PV-Anlagen planen

Mit PV*SOL planen und berechnen Photovoltaikunternehmen die Anlagen für Kunden von der Wirtschaftlichkeitsrechnung bis zum Dach- und String-Plan. Die Software lohnt sich aber nicht nur für Profis und PV-Eigenbauer, sondern ist auch für motivierte Kunden interessant, die das Potenzial ihres Dachs ausloten wollen, bevor sie Kontakt zum Fachbetrieb aufnehmen.

Von **Jan Mahn**

Wer heute einen Solarteur um ein Angebot bittet und mit ihm ein paar Daten zum Haus, zum Verbrauch und den Wünschen besprochen hat, bekommt nach ein paar Wochen meist eine umfangreiche PDF-Datei, die mit einer Simulations-

software erstellt wurde. Die Zusammenfassung zeigt die Lage von Modulen, die Anbindung des Wechselrichters sowie eine ausführliche Wirtschaftlichkeitsanalyse. Auf Basis von Klimadaten für den Standort gibt es oft sogar eine Prognose des monat-

lichen Ertrags, die auch Verschattungen berücksichtigt. Außerdem findet man darin eine Orientierung, wann sich die Anlage voraussichtlich amortisiert, sowie ansehnliche 3D-Renderings des Hauses, die ein mit Modulen eingedecktes Dach zeigen. Bei deutschen Installateuren ist für solche Simulationen die Software PV*SOL weitverbreitet.

Die gibt es in einer Premiumversion mit 3D-Beschattungsanalyse für 1295 Euro und in einer günstigeren 2D-Version für 895 Euro. 30 Tage kann man die Programme kostenlos testen – mit der Einschränkung, dass man den Bericht am Ende auf dem Bildschirm lesen muss und ihn nicht drucken oder als PDF exportieren kann. Für eine Analyse des eigenen Hauses oder um verschiedene Ausrichtungen eines Balkonkraftwerks zu simulieren, reicht das aber, und so haben wir PV*SOL in mehreren realen Projekten getestet.

Digitaler Zwilling

Die Arbeit beginnt damit, die Umriss des Dachs digital in 2D nachzuzeichnen; Grundlage kann zum Beispiel eine eingescannte, bemaßte Architektenzeichnung sein, alternativ ist eine Google-Maps-Anbindung eingebaut. Auf die Vorlage zeichnet man die Umrisse des Hauses als Polygon und den Dachfirst als Linie, per Klick macht die Software daraus eine nach Möglichkeit rechtwinklige Form. Bei der weiteren Bedienung fällt schnell auf, dass PV*SOL kein CAD-Programm ist, wie es Architekten und Ingenieure gewöhnt sind. Die Oberfläche richtet sich klar an Praktiker aus dem Photovoltaikgewerbe und Dachdeckerhandwerk und wer deren Fachsprache nicht kennt, muss ab und zu eine Suchmaschine bemühen.

Das Extrudieren – also das Umwandeln der Umrisse in eine 3D-Form – haben die Entwickler pragmatisch gelöst. Anhand der Firstlinie erkennt PV*SOL zum Beispiel, ob es sich um ein Sattel-, Walm-, Zelt- oder Pultdach handelt. Höhe von First und Traufe sowie Dachüberstände eingeben, fürs Auge eine Dachziegeltextur auswählen, fertig ist das Haus.

Auf den Millimeter kommt es dabei nicht an. Wer mag, kann für die Beschattungsauswertung auch Nachbarhäuser, Bäume und andere Hindernisse platzieren.

Zum Test haben wir einen real existierenden Win-kelpavillon mit Schornsteinen auf Grundlage einer gescannten Zeichnung aus den Achtzigern nachgebaut. Nicht jeder Knopf im 3D-Editor ist gleich intuitiv zu begreifen, mit etwas Übung steht das virtuelle Einfamilienhaus mit allen relevanten Details aber in 20 bis 30 Minuten. Was bei der Arbeit nervt, ist die fehlende Zurückfunktion (Strg-Z).

Dächer voll

Nach dem Nachbauen geht es ans Belegen und PV*SOL kann beweisen, dass es mehr ist als ein abgespecktes 3D-Zeichenprogramm. Eine der Kernfunktionen ist die riesige Datenbank mit Photovoltaikmodulen und Wechselrichtern sowie mit Klimadaten. Stichprobenartig suchten wir verschiedene Komponenten deutscher und chinesischer Hersteller und wurden stets fündig. Das Programm kennt die genauen Formate von Modulen, sodass man diese leicht per Drag & Drop auf dem Dach frei oder im Raster verlegen kann. Dabei kann man sich auf eine Automatik verlassen oder vertrackte Flächen auch per Hand füllen. Damit Module weniger verschattet werden, sollte man vorher Sperrabstände um Hindernisse wie Schornsteine zeichnen. Dachfenster und Lüftungsrohre kann man als Sperrflächen hinterlegen.

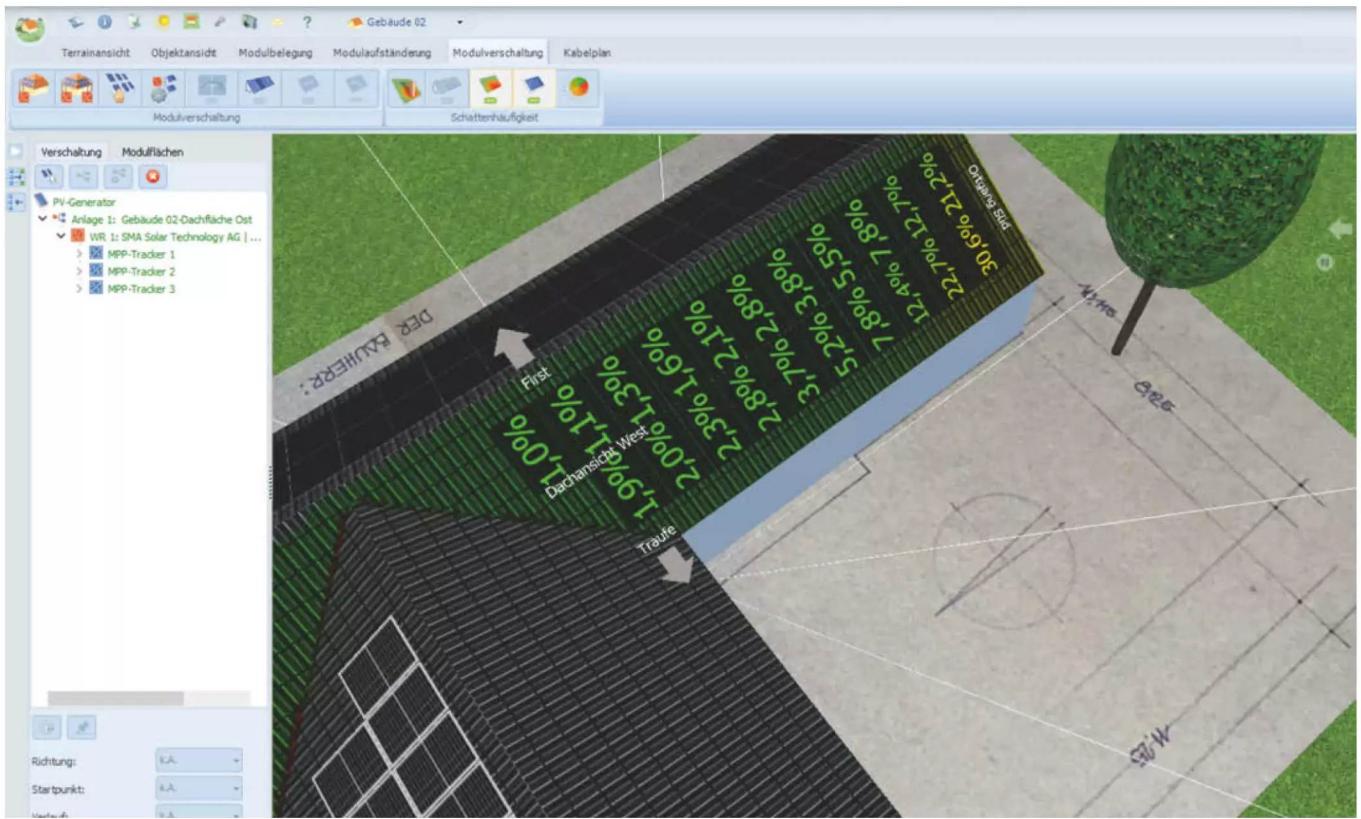
Ist das Dach sinnvoll und optisch ansprechend ausgenutzt, kann man sich an die elektrische Planung von Wechselrichtern und Strings machen. Zu jedem Modultyp sind nicht nur die Maße, sondern auch die elektrischen Parameter hinterlegt.

Daher findet das Programm problemlos einen passenden Wechselrichter; auch dessen Eckdaten sind hinterlegt. Dafür sollte man aber vorab wissen, welche Geräte und Hersteller infrage kommen und diese anhaken. Die Automatik übernimmt die geeignete Auslegung von Strings und zeigt, wie die einzelnen

PV*SOL Premium

Photovoltaik-Planungssoftware

Hersteller, URL	Valentin Software GmbH, valentin-software.com
Systemanforderung	Windows 10 oder 11, DirectX-kompatible Grafikkarte, 4 GByte RAM
enthaltene Datenbanken	26.000 Module, 7500 Wechselrichter, 5500 Batteriesysteme, Klimadaten u. a. des DWD
Preis	895 € (ohne 3D-Auswertung), 1295 € (Premium), kostenlose Testversion



Muss der Baum weg? Die Schattenanalyse zeigt, wie häufig die einzelnen Module durch das grüne Hindernis im Schatten liegen.

MPPTs ausgelastet sind. Ohne grundlegendes Verständnis von Photovoltaikanlagen und Elektrotechnik kommt man in diesem Schritt aber nicht weit.

Wer sich mehr für die Wirtschaftlichkeitsberechnung interessiert, muss noch Daten zum Eigenbrauch hinterlegen. Dafür kann man auf hinterlegte Standardprofile (etwa „Familie mit zwei Kindern“) zurückgreifen oder eigene Messwerte eintragen und so verschiedene Szenarien durchrechnen – größer, kleiner, mit und ohne Batteriespeicher und Elektrofahrzeug. Heraus fällt ein detaillierter Bericht.

Fazit

Auch wenn die Oberfläche mit der typischen Ästhetik der Windows-7-Ära etwas aus der Zeit gefallen ist und die 3D-Planung ihre Tücken hat, macht das Planen von Anlagen nach etwas Einarbeitung Spaß.

PV*SOL Premium ist klar eine Software für Profis und so umfangreich, dass kaum ein Installationsbetrieb alle Möglichkeiten ausreizen kann: Ja, man kann die Lichtdurchlässigkeit eines Baums für jeden Monat einzeln konfigurieren, um Verluste durch Schatten exakt zu berechnen. Man muss das aber auch nicht tun. Wenn Sie die Software in Aktion sehen wollen: Über ct.de/w8nu finden Sie ein Video, in dem wir eine Dachanlage planen.

Für ambitionierte Planer der eigenen Anlage ist die Software (in der Testversion) einen Blick wert. Das eigene Haus ist schnell nachgebaut und virtuell belegt. Und anders als der Fachbetrieb kann man dann mehrere Abende damit verbringen, verschiedene Optionen durchzurechnen, um sie dann mit dem Profi zu besprechen. Und gerade auf verwinkelten Dächern kann man mit ruhiger Hand oft noch ein paar Module mehr unterbringen. (jam) ct

Video: Balkonkraftwerke und PV-Anlagen einfach planen mit PV*SOL

ct.de/w8nu

10. Oktober 2024

Wärmepumpentechnik für Einsteiger

Technik verstehen

Machbarkeit prüfen

Angebote beurteilen



Jetzt informieren:

webinare.heise.de/waermepumpen

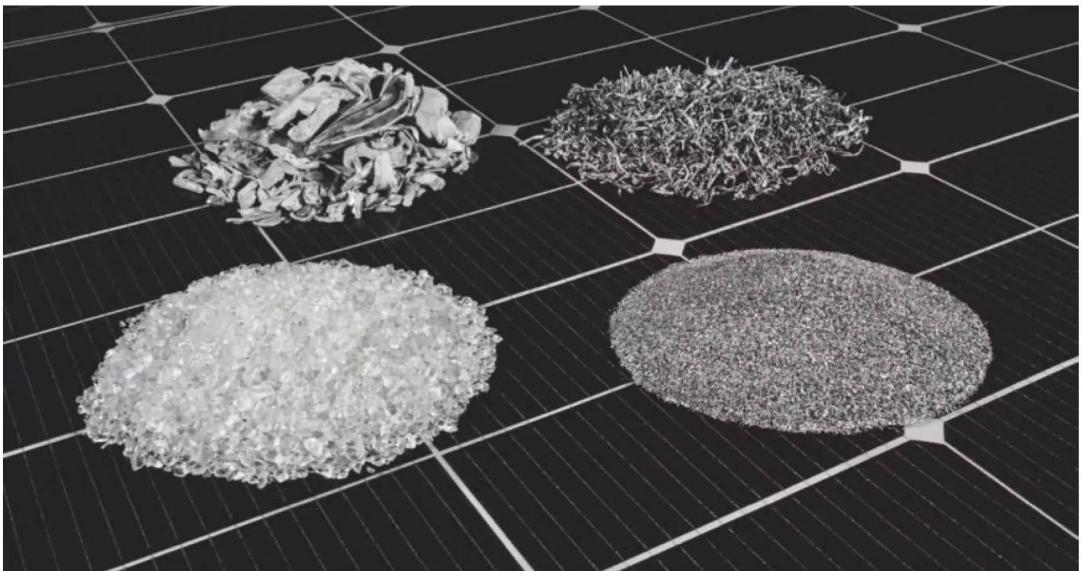


Bild: Reiling PV-Recycling GmbH & Co. KG

Recycling von Solarmodulen

Wertvoller Schrott: In den nächsten Jahren fallen immense Mengen alter Photovoltaik-Module an. Gerade für Deutschland mit seinem ambitionierten Ausbauziel und dem Streben nach mehr Unabhängigkeit im internationalen Rohstoffmarkt birgt das Recycling von PV-Modulen ein riesiges Potenzial. Utopie ist es längst nicht mehr, doch es steht noch relativ am Anfang seiner Entwicklung.

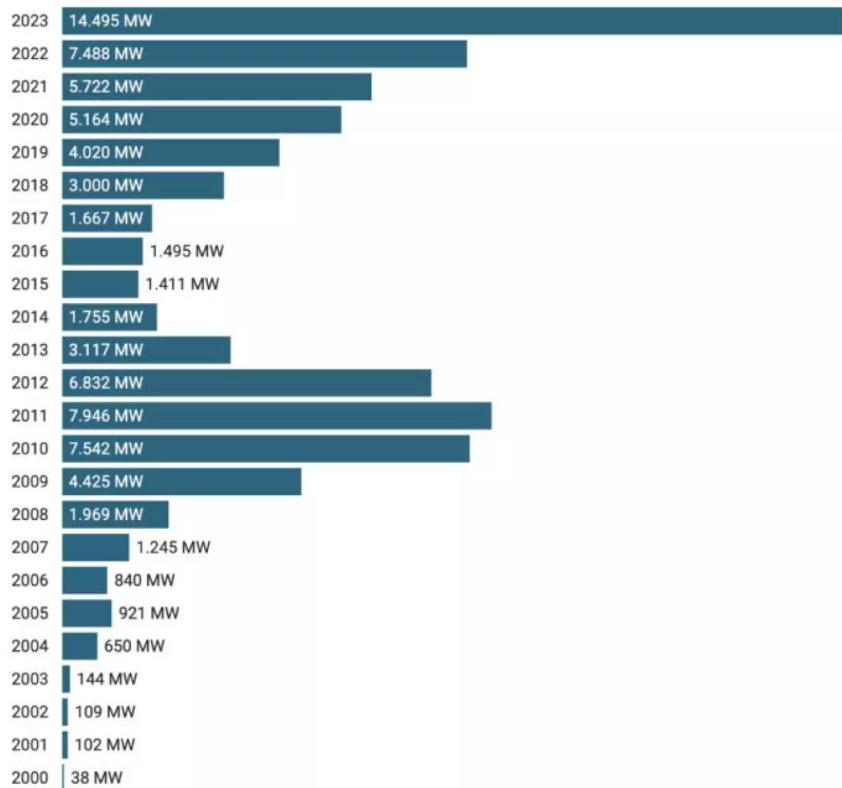
Von Sophia Zimmermann

In absehbarer Zeit erreichen die Anlagen der ersten großen Photovoltaik-Welle, die ab dem Jahr 2000 begann, ihr Lebensende. Und da kommt einiges auf uns zu: Experten gehen davon aus, dass ab 2030 mehr als 500.000 Tonnen alte Module anfallen. Das ist eine Menge sehr wertvoller Müll, denn in den Modulen stecken Rohstoffe wie Aluminium, Glas, Kupfer, Silber, Silizium und auch Plastik. Dies nicht wiederzuverwerten, wäre folglich eine schlechte Idee.

Deutschland gehört zu den Top-5-Nationen beim Ausbau von Photovoltaik – neben China, Nordamerika, Japan und Indien. Etwa vier Millionen Anlagen mit einer installierten Leistung von mehr als 82 Gigawatt liefern hierzulande Strom. Dominant sind laut Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) Freiflächenanlagen mit über 1000 kW, gefolgt von klassischen Gebäudeanlagen mit einem Leistungsspektrum von 2 bis 10 kW (siehe ct.de/wpxy). Sie arbeiten in der Regel heute mit den effizienteren

PV-Leistungszubau pro Jahr in Deutschland

2023 erreichte der Photovoltaik-Zubau ein neues Hoch. Stärker ausgebaut wurde außerdem zwischen 2007 und 2013.



Nach einem Einbuch von 2013 bis 2020 werden nun so viele PV-Anlagen in Betrieb genommen wie nie zuvor.

monokristallinen Silizium-Modulen, in älteren Modulen dürfte man auch häufiger polykristalline Solarzellen finden.

Bereits seit Anfang der 1990er-Jahren gibt es in Deutschland Photovoltaikanlagen auf privaten Dächern. Erst ab etwa 2000 hat der Zubau von Anlagen hierzulande an Fahrt gewonnen. Einen ersten Höhepunkt erreichte dieser dann zwischen 2007 und 2013 – hier wurden nicht nur besonders viele Anlagen installiert, sondern auch besonders viel Leistung. Nach einer anschließenden Delle geht es seit 2018/2019 wieder bergauf. 2023 stellt mit einer installierten Leistung von knapp 14.500 Megawatt den aktuellen Rekord auf. Die Lebensdauer solcher

Anlagen hängt natürlich von verschiedenen Faktoren ab und für die Leistungselektronik rund um Wechselrichter gelten andere Maßstäbe als für die Module, um die es hier gehen soll. Bei ihnen geht man von einer Lebensdauer zwischen 20 und 30 Jahren aus. Spätestens ab 2030 müsste also eine größere Welle an ausrangierten Altmodulen auf uns zu schwappen. Wie groß genau diese ausfallen wird, ist aber schwer vorhersehbar.

Beim Blick auf den aktuellen Stand fällt auf, dass reale Werte und Prognosen noch stark auseinanderliegen. So gibt etwa das Bundesumweltamt in seinem aktuellen Bericht zu Elektronik-Altgeräten an, dass 2021 insgesamt etwa knapp 16.000 Tonnen

Photovoltaik-Module eingesammelt wurden. Prognosen gingen – ausgehend von der installierten Leistung – von viel mehr aus. Die Internationale Organisation für Erneuerbare Energien (IRENA) rechnete etwa unter der Prämisse einer Modul-Lebensdauer von 30 Jahren damit, dass wir bereits ab 2020 die 20.000-Tonnen-Marke knacken würden (siehe ct.de/wpxy). In einem Szenario, das von einer kürzeren Lebensdauer etwa aufgrund von Verschleiß ausgeht, sollten es laut IRENA bereits 200.000 Tonnen sein. In der Realität kratzen wir hier also am unteren Ende der Prognosen.

PV-Module sind Elektroschrott

Das könnte natürlich daran liegen, dass die Module länger halten als erwartet. Es könnte aber auch sein, dass die Entsorgungsströme nicht optimal überwacht werden. Darauf weist etwa die Deutsche Umwelthilfe (DUH) in ihrem Weißbuch zur Kreislaufwirtschaft in der Solarbranche hin (siehe ct.de/wpxy).

Dabei sind die Vorgaben eigentlich klar: PV-Module zählen momentan zu den Elektrogeräten. Wie

sie zu entsorgen sind, regelt hierzulande das Elektrogesetz (ElektroG). Es setzt die Vorgaben der europäischen WEEE-Richtlinie (Waste of Electrical and Electronic Equipment) in nationales Recht um. Hersteller und Importeure von Modulen müssen sich hierzulande bei der Stiftung Elektro-Altgeräte Register (Stiftung EAR) registrieren und regelmäßig die in Verkehr gebrachten Mengen melden. Außerdem sind sie dazu verpflichtet, alte Module zurückzunehmen und zu entsorgen beziehungsweise zu recyceln.

Wie die Module letztlich konkret entsorgt werden, hängt von ihrer Herkunft ab. Module aus privaten Haushalten (B2C) kann man in handelsüblichen Mengen kostenlos bei den kommunalen Sammelstellen abgeben. Bei größeren Mengen (B2B-Module) aus gewerblichen Anlagen koordinieren die Hersteller die Abholung zu den Recyclinghöfen etwa über Dienstleister.

Die Rücknahmepflicht durch die Hersteller besteht allerdings erst seit Ende 2015. Für B2B-Module, die vorher in den Markt gebracht wurden, gibt es diese Vorgaben nicht, mahnt die DUH. Alle Pflichten für eine ordnungsgemäße Entsorgung liegen

Private Module dem Recycling zuführen

Privathaushalte können alte Module kostenfrei bei den ausgewiesenen Sammelstellen und Wertstoffhöfen abgeben. Meist gibt es eine Mengenbeschränkung auf 20 Module. Informationen dazu erhält man bei der jeweiligen Kommune. Als Verbraucher muss man allerdings noch mit anfallenden Demontagekosten rechnen. Wie hoch diese ausfallen, hängt von der konkreten Anlage ab, aber auch von regionalen Preisniveaus für Installateure. Grundsätzlich kann man davon ausgehen, dass die Kosten in etwa auf dem Niveau der Montagekosten liegen.

Der Bundesverband Solarwirtschaft weist in seinem Merkblatt zum Umgang mit PV-Altmodulen an (siehe ct.de/wpxy), dass ein sorgfältiger Umgang mit den Modulen entscheidend ist. Immerhin entsteht bei Lichteinfall auf die aktive Zellschicht eine elektrische Spannung.

Kabel sollte man am Modul befestigen und die Paneele sorgfältig stapeln. Die solaraktive Seite sollte dabei nach unten zeigen. Offene Kontakte und beschädigte Rückseitenfolien sollte man vor dem Abtransport isolieren.



Bild: moreimages/Shutterstock

Ein Installateur montiert ein Modul einer Photovoltaik-Anlage.

In Deutschland werden Silizium-Module heute größtenteils mittels mechanischer Verfahren recycelt. Es gilt hier die richtige Balance zu finden: Das Material muss möglichst fein, aber eben nicht zu fein sein, sonst kann man es nicht mehr gut reinigen.

Bild: Reiling PV-Recycling GmbH & Co. KG



damit beim Besitzer. Und nicht Wenige würden versuchen, die ausrangierten Solarpaneale möglichst kostengünstig loszuwerden. Zu den kreativen Entsorgungswegen gehört laut DUH etwa die dauerhafte Lagerung in Scheunen oder auf Dachböden sowie der Verkauf ins Ausland. „Die Entsorgung der vor dem 24.10.2015 in Verkehr gebrachten Photovoltaik-Module stellt die größte Herausforderung im Hinblick auf die unmittelbare Zukunft dar, da es sich um die bald anfallenden größeren Masseströme handelt“, so die DUH.

Doch auch die Sammlung privater und jüngerer Module ist nicht unproblematisch. So unterscheidet sich die Qualität der Rücknahme in den Kommunen. In einigen Sammelstellen werde diese nur eingeschränkt oder überhaupt nicht umgesetzt. Zudem sieht die DUH das aktuelle Mengenlimit auf 20 bis 50 Module kritisch. Viele Abnahmestellen beschränken es gleich auf maximal 20 Stück. Dabei könnten selbst bei Privatpersonen mehr Altmodule anfallen. Auch hier sieht die DUH die Gefahr, dass sich Besitzer nach alternativen Entsorgungswegen umsehen und so den Recyclingkreislauf umgehen. Sie fordert etwa, eine Mindestrücknahme von 30 Modulen pro Person und Tag im ElektroG zu verankern.

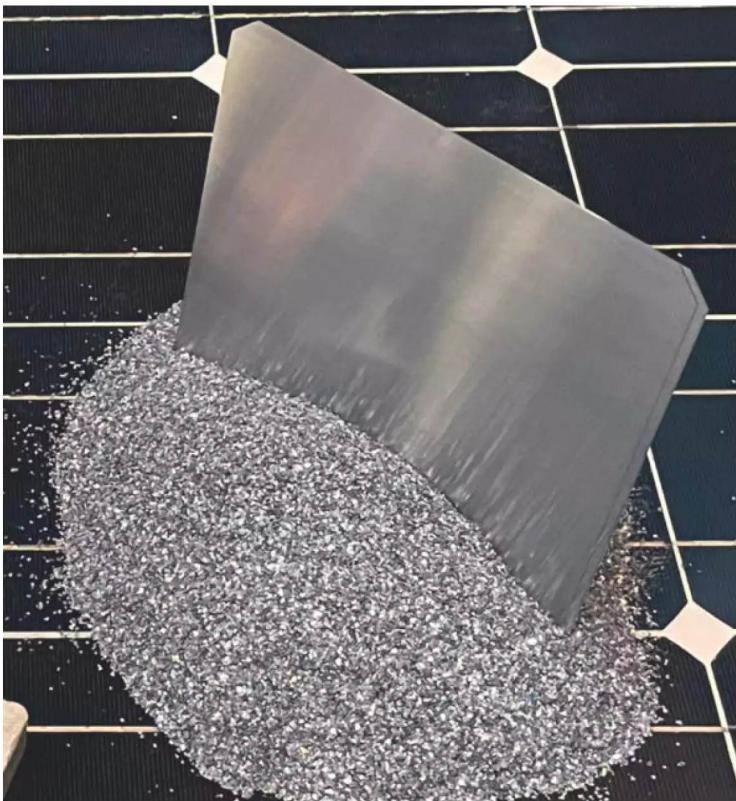
Doch auch wenn es ein Modul in die Sammlung geschafft hat, heißt das nicht, dass es in der Kreislaufwirtschaft verbleibt oder dieser in optimalem

Zustand zugeführt wird. Wie die Internationale Energie Agentur (IEA) in ihrem Bericht zum Status des PV-Recyclings in Deutschland aufzeigt, können die Stoffströme trotz bestehender Meldepflichten nicht lückenlos nachverfolgt werden, da die verschiedenen Akteure diese schlicht nicht konsequent umsetzen.

So wird ein Modul recycelt

Bis ein altes Modul also wiederverwertet werden kann, hat es schon einen weiten Weg hinter sich. Grundsätzlich läuft der Prozess mehrstufig ab. Landet ein Modul beim Recycling-Unternehmen, wird es erst einmal überprüft. Kommt es unbeschadet an, dann unterziehen es die Mitarbeiter einer technischen Prüfung. Diese umfasst nicht nur eine Leistungsmessung, sondern auch Tests zur elektrischen Sicherheit. Besteht ein Modul, kann es gegebenenfalls ein zweites Leben anfangen.

Beschädigte und durchgefallene Module kommen in den eigentlichen Recyclingprozess. Um den besser zu verstehen, hilft es, sich die Hauptbestandteile eines Moduls genauer vor Augen zu führen. Die konkreten Mengen variieren natürlich von Modell zu Modell. Größtenteils besteht es aber aus Glas. Das macht rund 70 Prozent seiner Masse aus. Danach folgt Aluminium mit etwa 10 Prozent. Einen



Beim Recycling von Silizium, das man wieder in PV-Modulen einsetzen kann, stehen wir noch relativ am Anfang.

Bild: Fraunhofer CSP

wesentlichen Teil machen dazu Kunststoffe wie das Laminat zur Verkapselung der Solarzellen sowie die Rückseitenfolie aus. Das Silizium selbst kommt nur auf etwa 3 Prozent. Pro Quadratmeter wiegt ein Modul etwa 12 Kilogramm. In einer Tonne Altmodulen stecken damit nicht ganz 800 Kilogramm Glas und Aluminium und nur gut 25 Kilogramm Silizium.

Im industriellen Maßstab recycelt man Solarmodule heute mit mechanischen Verfahren, indem man sie zerkleinert, um ihren Verbund aufzuschließen. Ziel ist es, dass alle Materialien möglichst lose vorliegen. Um die einzelnen Bestandteile voneinander zu trennen, kommt ganz viel Sortiertechnik hinzu. Aluminium und Kupfer lassen sich dabei vergleichsweise gut ausschleusen und wiederverwerten. Sie gehen etablierte Wege.

Schon Glas ist kritisch

Glas ist schon kritischer, erklärt Dr. Sylke Meyer vom Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik (CSP).

Die Herausforderung besteht hier darin, es so vom Laminat um die Solarzellen zu trennen, dass man es wieder einschmelzen und zu hochwertigen Glasprodukten verarbeiten kann. „Das ist an der Schwelle zur technischen Umsetzung“, so Meyer. Bisher setzt man das recycelte Glas vornehmlich in Dämmstoffen wie Schaumglas oder Glaswolle ein.

Das bestätigt auch das Recycling-Unternehmen Reiling, das hier zu den führenden Unternehmen gehört und nunmehr seit 15 Jahren Erfahrungen auf dem Gebiet sammelt. Erst in den vergangenen Wochen hat es eine seiner Recycling-Anlagen erweitert, um noch einmal einen größeren Reinheitsgrad beim rezyklierten Glas zu erreichen. Grundsätzlich bleibt es ein mechanisches Verfahren: „Die Herausforderung ist, dass das Material nicht zu fein wird, denn dann lässt es sich nicht mehr gut sortieren. Wir haben hier einen guten Mittelweg gefunden“, so Reiling.

Momentan sei man mit Glasschmelzbetrieben im Austausch, um das rezyklierte Glas zu testen.

Später könnte daraus neues Flach- oder auch Hohlglas entstehen. Erste Ergebnisse stimmten positiv. Als Solarglas kann man allerdings nicht wieder nutzen - dafür ist es nicht rein genug.

Wobei auch wirtschaftliche Faktoren nicht unbedingt für das Ziel Solarglas sprechen. Immerhin stellt hierzulande nur noch die Glasmanufaktur Brandenburg (GMB) überhaupt Flachglas für Module her. Und ihr Schicksal ist ungewiss. Wie unter anderem der Spiegel berichtet, drohte der Mehrheitseigentümer der GMB bereits mit dem Aus der Produktion, sollte die politische Unterstützung ausbleiben (siehe ct.de/wpxy).

Dabei kriselt es in der deutschen und auch europäischen Solarbranche schon länger - spätestens in diesem Jahr allerdings unübersehbar. Branchen-Riese Meyer Burger hat etwa die Modulproduktion in Deutschland praktisch gestoppt. Auch das sächsische Unternehmen Solarwatt hat angekündigt, ab Ende August vorerst keine Module mehr in Dresden zu fertigen.

Den Abwärtstrend belegen auch die aktuellen Zahlen des Statistischen Bundesamts. Zwar nutzten immer mehr Unternehmen und Haushalte die Kraft der Sonne, doch die hiesige Produktion von Solarmodulen sank im 1. Quartal 2024 um 53 Prozent gegenüber dem Vorjahresquartal. Bereits im Vorjahr meldete das Amt für diesen Zeitraum einen Rückgang von knapp 13 Prozent. Wichtigster Lieferant für PV-Anlagen ist China und der verkauft seine Module hierzulande besonders günstig - teils unter den Herstellungskosten. Das ist auch ein gewichtiges Hemmnis für die Entwicklung beim Solarrecycling, sind sich Experten einig.

Knackpunkt Silizium-Rückgewinnung

Gerade bei den aktiven Bestandteilen des Solarmoduls - also der Solarzelle, mit ihrem Kern aus hochreinem Silizium - stehen wir noch relativ am Anfang. Diese Schicht beziehungsweise der Wafer ist nur etwa zwischen 180 und 200 Mikrometern dick. Zum Vergleich: Ein dickeres, menschliches Haar kommt auf etwa 100 Mikrometer. „Im Laufe der Solarzell-Herstellung wird der Wafer auf beiden Seiten beschichtet. Das macht man etwa mit Lithiumnitrid oder Aluminium. Danach werden die Zellen mit verschiedenen Stoffen mithilfe thermischer Behandlung dotiert, um den Wirkungsgrad zu verbessern“, so Meyer. Bis vor etwa 5 bis 7 Jahren hat man dazu grundsätzlich Bor eingesetzt - man spricht hier auch

von p-dotierten Zellen. In aktuellen Modulen nutzt man dafür Phosphor (n-dotiert). Dann bedruckt man die Siliziumschichten noch mit Silberfingern - ebenfalls mittels thermischer Verfahren.

Für ein effizientes Recycling muss man das Silizium in seiner reinen Form von diesen Bestandteilen trennen. Reiling nutzt auch hier ein mechanisches Verfahren, das hat allerdings noch seine Grenzen. Zu einem neuen Wafer könnte man das so zurückgewonnene Material bislang nicht wieder verarbeiten, dazu ist es nicht rein genug. Auch, wenn man gemeinsam mit den Fraunhofer-Instituten daran arbeite, das Silizium noch besser aufzureinigen. Es ist nicht unbedingt das Ziel, es wieder fit für ein Solarmodul zu machen, erklärt Reiling: „Es gibt viele andere Industrien, die Silizium nachfragen. Batterien sind gerade ein Riesenthema. Der Reinheitsgrad des Siliziums muss hier nicht so hoch sein.“

Selbst die Vorbereitung zum Recycling hinterlässt Spuren. „Wenn wir die recycelte Siliziumfraktion, die nach dem Schreddern entsteht, mittels ICP-Massenpektrometrie untersuchen, dann finden wir eine ganze Palette an Fremdelementen: Eisen, Nickel, Kupfer, Titan, Chrom, Natrium, Kalium, Halogene und Alkalimetalle“, so Meyer. Die sollten da eigentlich nicht sein. Eisen und andere Stahlelemente stammen demnach etwa von den Schredder-Werkzeugen, Sieben, Walzen und Förderbändern - und ihre Mengen sind sehr problematisch. „Ohne aufwendige Reinigung ist die Herstellung von neuen Silizium-Kristallen nicht möglich.“

Chemische Verfahren mit Nachteilen

Eine große Rolle spielt zudem das Alter der Module: Gerade das Silizium in älteren, vor 30 Jahren gefertigten Modulen, hat ohnehin einen geringeren Reinheitsgrad. Das erschwert die Reinigung. Laut Meyer ist es obendrein gerade bei Bor technisch und chemisch teils unmöglich, es aus dem Silizium wieder herauszubekommen. Man kann lediglich versuchen, seinen Anteil zu minimieren, in dem man das recycelte Material gewissermaßen mit frischem Silizium verdünnt oder Phosphor zugibt - bei Letzterem spricht man von Überkompensieren.

Das Silizium, das dabei herauskommt, ist qualitativ eher minderwertig, so Meyer: „Für eine neue Solarzelle wäre es nur bedingt geeignet.“ Hier müsste man nach anderen Anwendungen suchen. Denkbar wäre es demnach, es als Anodenmaterial in Lithium-Silizium-Batterien einzusetzen.

Wenn man das Silizium vom Silber befreien will, kommt man wohl um aufwendige Ätzprozesse sowie thermische Verfahren nicht herum. Im industriellen Maßstab werden diese bei Silizium-Modulen bisher nicht eingesetzt. Sie machen das Recycling aber auch nicht gerade umweltschonend, weil man zum Ätzen etwa hochgiftige Flusssäure (HF) einsetzen muss. Flusssäure ist ein starkes Gift, das in verschiedenen Industriezweigen eingesetzt wird – etwa zur Kunststoffherstellung. Bei Kontakt kann es schwere Gewebebeschäden hervorrufen oder auch zum Tod führen.

Bei der Arbeit damit entstehen giftige Abfälle ebenfalls in Form von Flusssäure und anderen mineralischen Säuren, mit denen man entsprechend umgehen muss. Hinzu kommt: „Da geht unglaublich viel Energie rein – mehr als die Hälfte, die man benötigen würde, wenn man jungfräuliches Silizium verwendet. Energetisch würde man also gar nicht so viel sparen“, so Meyer und auf dem Markt sei frisches Silizium heute gar nicht mehr so teuer.

Auch die Reinigung der Kunststoffe ist aus ökologischer Sicht kritisch zu betrachten. Mit der Pyrolyse hätte man hier zwar eine gut funktionierende Methode, so Meyer, aber beim Verbrennen würden fluorhaltige Verbindungen frei und eben auch wieder Flusssäure. „Das zieht also ein erhebliches Ausmaß an Abgas- und Abfallnachbehandlung nach sich“, so die Wissenschaftlerin.

Blick in die Zukunft

Dass ältere Module in Bezug auf Materialreinheit insbesondere des Siliziums eine große Herausforderung darstellen, heißt nicht, dass man Module der aktuellen Generation einfacher recyceln kann. Das hat mehrere Gründe. Laut Reiling würden etwa die Verkapselungsfolie und das Glas heute viel besser aneinanderhaften.

Und: In aktuellen Modulen steckt immer weniger Material. „Man kann also viel weniger Glas, Silizium, Silber oder Kupfer zurückgewinnen. Damit ergeben sich ganz andere Rechengrundlagen, was es wirtschaftlich eher schwieriger macht, Module zu recyceln“, so Reiling. In großen Stückzahlen schwappen diese Geräte allerdings wohl erst in 20 Jahren auf uns zu. Bis dahin, so die Hoffnung, sind die Recycling-Verfahren besser und effizienter.

Denn trotz aller Hürden: Eine Alternative zum Recycling von Photovoltaik-Modulen gibt es nicht. Immerhin sind die Ressourcen auf unserem Planeten endlich und die Müllberge, die in den nächsten Jah-



Am Lebensende: In den kommenden Jahren schwappen riesige Mengen alter Module auf uns zu. Sie zu bändigen ist eine zentrale Aufgabe der Recycling-Industrie.

Bild: Reiling PV-Recycling GmbH & Co. KG

ren auf uns zukommen, riesig. Für das Recycling ist das allerdings auch eine gute Nachricht, denn damit steigen die Chancen auf Skalierungseffekte – immerhin hängt Wirtschaftlichkeit auch von der Verfügbarkeit ausreichender Abfallmengen ab. Die derzeitigen Abfallströme sind in den meisten Regionen noch gering und rechtfertigen kaum größere Investitionen in dedizierte Recycling-Anlagen, resümiert etwa die Internationale Energie-Agentur (siehe ct.de/wpxy).

Unternehmen wie Reiling wünschen sich künftig präzisere Prognosen über die anfallenden Modulmengen, um die Auslastung ihrer Anlagen besser planen zu können: „Schon jetzt sollten eigentlich schon mehr Module anfallen. Es ist davon auszugehen, dass eine große Menge einfach exportiert wird – es ist also sehr wichtig, diesen Export künftig einzudämmen.“ Außerdem sollten die Modulhersteller das Thema Recycling besser mitdenken.

Helfen könnte etwa ein Produktpass für jedes einzelne Modul, der sein Produktionsdatum sowie seine Grundzusammensetzung mengenmäßig ausweist. Unter anderem daran arbeitet bereits das Fraunhofer CSP im Verbund mit anderen Partnern im Projekt Retrieve (siehe ct.de/wpxy). So könnte man schon die Rücknahme und Logistik effizienter gestalten. Die größte Herausforderung für die Forschung besteht darin, zeitnah Techniken zu entwickeln, die eine hohe Materialausbeute bei sinnvollem Energieeinsatz erlauben – und zwar möglichst ohne giftige Nebenprodukte. (jow) ct

Weitere Infos und Quellen:
ct.de/wpxy

Heft + PDF
mit 28% Rabatt

Hype oder Hilfe?

Mit Künstlicher Intelligenz produktiv arbeiten



ct KI-PRAXIS
Mit Künstlicher Intelligenz produktiv arbeiten

Grenzen der Sprachmodelle erkennen
Warum Sie Sprachmodelle nicht trauen dürfen
Wie Urheber im großen Stil geklaut werden

KI-Programme anwenden
Wo KI-Assistenten tatsächlich helfen
KI-Stimmen · Schreibassistenten · Bildgeneratoren

Regeln für Schule und Arbeit
Wie KI Schule und Arbeit verändert
Was Unternehmen rechtlich beachten müssen

Die eigene Sprach-KI betreiben
Mit unzensierten Sprachmodellen lokal oder in der Cloud experimentieren:
Volle Datenkontrolle · individuell anpassbar

ct KI-PRAXIS
Mit Künstlicher Intelligenz produktiv arbeiten

Grenzen der Sprachmodelle erkennen
Warum Sie Sprachmodelle nicht trauen dürfen
Wie Urheber im großen Stil geklaut werden

KI-Programme anwenden
Wo KI-Assistenten tatsächlich helfen
KI-Stimmen · Schreibassistenten · Bildgeneratoren

Regeln für Schule und Arbeit
Wie KI Schule und Arbeit verändert
Was Unternehmen rechtlich beachten müssen

Die eigene Sprach-KI betreiben
Mit unzensierten Sprachmodellen lokal oder in der Cloud experimentieren:
Volle Datenkontrolle · individuell anpassbar



Dieses Heft verschafft Ihnen einen umfassenden Überblick, wie Sprachmodelle grundlegend funktionieren und in welchen Bereichen Ihnen eine KI wirklich helfen kann oder wo die Hersteller eine Arbeitserleichterung nur vorgaukeln.

- KI-Programme anwenden
- Grenzen der Sprachmodelle erkennen
- Was Unternehmen rechtlich beachten müssen
- Die eigene Sprach-KI betreiben
- Wo KI-Assistenten tatsächlich helfen
- Wie KI Schule und Arbeit verändert

Jetzt
bestellen!

Heft für 14,90 € • PDF für 12,99 €

Heft + PDF 19,90 €



shop.heise.de/ct-ki23

Balkonkraftwerke: der aktuelle Stand

Kleine 800-Watt-Photovoltaikanlagen, die den Strombezug von Haus oder Wohnung senken, sind im Massenmarkt angekommen und keine Spielerei exklusiv für Technikinteressierte mehr. Bürokratische Hürden werden zunehmend weniger.

Von **Jan Mahn**



Bild: KI Midjourney | Bearbeitung c't / www.freepik.com

Balkonkraftwerke: der aktuelle Stand
So bauen Sie Balkonkraftwerke

70
76

Vierzig Millionen Haushalte gibt es laut Statistischem Bundesamt in Deutschland, also schätzungsweise auch so viele Kühlschränke. Ähnlich hoch ist die Anzahl an Breitbandanschlüssen – laut Daten der Bundesnetzagentur dürften an 37 Millionen Internetzugängen ungefähr so viele Router rund um die Uhr laufen. Zusammen mit Smart-Home-Gerätschaften und Standby-Verbrauchern, vor allem aus dem Hi-Fi- und Unterhaltungsbereich, machen sie den Grundverbrauch privater Haushalte aus – in großen Häusern kommen weitere Kleinverbraucher wie Klingeltrafos dazu. Selbst in einer einfach ausgestatteten Wohnung kommen schnell 100 Watt zusammen, die sie zu jeder Tages- und Nachtzeit aus dem Netz zieht. Im Jahr sammeln sich so 875 Kilowattstunden an. Energie, für die man bei 30 Cent pro Kilowattstunde 262,50 Euro bezahlen muss.

Im Jahr 2022, das sicher noch lange wegen der rapiden Energiepreisseigerungen in Erinnerung bleiben wird, erlebte deshalb eine Idee ihren Durchbruch, die vorher nur einer an Umweltschutz und Energiethemen interessierten Minderheit ein Begriff war: Das Balkonkraftwerk schaffte den Sprung aus der Nische in den Massenmarkt. Im Amtsdeutsch heißen die Geräte „steckerfertige Erzeugungsanlage“, anderen sind sie als Mini-PV oder Guerilla-PV bekannt.

Gemeint sind Photovoltaikanlagen mit einer maximalen Wechselrichterleistung von aktuell 800 Watt. Die Besonderheit: Anders als große Anlagen, braucht man keinen Elektrofachbetrieb, um sie anzuschließen. Typischerweise besteht eine Mini-PV-Anlage aus einem oder zwei Photovoltaikmodulen und einem Mikrowechselrichter. Ihr natürliches Habitat ist nicht allein das Dach: Die beiden Module können auch am Balkon hängen, im Garten stehen, an der Fassade installiert werden oder das Dach der Gartenhütte bedecken – aber auch Installationen auf dem Hausdach sind erlaubt. Insgesamt wird die Zielgruppe dadurch größer: Nicht nur Hausbesitzer können mit Sonnenenergie einen Teil des selbst verbrauchten Stroms erzeugen, auch wer in einer Wohnung zur Miete wohnt, kann den Strombezug aus dem Netz reduzieren und damit die Stromrechnung. Module aufhängen, Wechselrichter dahinter schrauben und Kabel in die Steckdose gesteckt.

Ganz so einfach ist es nicht, denn gleich auf mehreren Ebenen haben in den vergangenen Jahren verschiedene Akteure Hürden errichtet und teilweise heftige Debatten angezettelt. Die gute Nachricht: Wenn Sie jetzt in das Thema einsteigen, profitieren Sie von einigen Gesetzesänderungen, die ganz frisch auf den Weg gebracht wurden.

PV für alle

Dass die Klein-PV-Anlagen Massenware sind, kann man an gleich mehreren Indizien festmachen. Zunächst ist da das Marktstammdatenregister der Bundesnetzagentur. Unter marktstammdatenregister.de muss sich jeder Betreiber einer Energieerzeugungsanlage eintragen. Das ist kein abschreckend bürokratischer Schritt, das Onlineformular ist recht übersichtlich und benutzerfreundlich, Erklärungen stehen jeweils direkt neben den Eingabefeldern. Das System ist für sämtliche Energieerzeugungsanlagen erfunden worden, mittlerweile gibt es für Balkonkraftwerke einen vereinfachten Fragebogen.

In dieser Datenbank kann man auch suchen und Daten exportieren. Und die haben es in sich: Setzt man einen Filter auf aktive PV-Anlagen, die als steckerfertige Anlagen eingetragen wurden, spuckt die Datenbank Stand Juli 2024 ganze 612.000 Balkonkraftwerke aus. Trägt man die installierte Leistung über die Zeit in einem Diagramm ab, entsteht die Kurve mit einem steilen Anstieg (siehe Grafik „Balkonkraftwerke in Deutschland“). Sie geht stark in Richtung einer Exponentialfunktion, ein Abflachen ist nicht erkennbar. Auch die installierte Gesamt-

Bild: Sebastian Müller



Es muss nicht immer Süden sein: Die zwei Module stehen in Ost-/West-Ausrichtung. Die Aufständnerung ist mit Waschbetonplatten ballastiert.

Balkonkraftwerke in Deutschland

Allein im Marktstammdatenregister der Bundesnetzagentur sind im Juli 2024 über 600.000 Photovoltaikanlagen unter 1 kW Peak-Leistung mit zusammen über 400.000 kW Leistung registriert.



leistung ist stattlich: 400.000 kW Wechselrichterleistung (400 Megawatt) kommen mittlerweile zusammen. Über 170 Megawatt davon wurden allein 2023 in Betrieb genommen. Bei dieser Betrachtung darf man nicht außer Acht lassen, dass längst nicht jeder Betreiber seine Anlage angemeldet hat. Weil man bis zu einer Gesetzesänderung im Jahr 2024 auch seinem Netzbetreiber auf einem separaten Formular (gern auch in Papierform) die Anlage melden musste, ließen viele in der Vergangenheit die Anmeldung ganz sein.

Mit den vorliegenden Daten sind auch andere Auswertungen möglich. Jeder Anlagenbetreiber darf sich einen Namen ausdenken, der ebenfalls in den exportierbaren Daten liegt. Neben kreativen Namen wie „Sonnentoby“ schreiben viele Begriffe in den Namen, die Rückschlüsse auf die Installationsart zulassen. 31.000-mal fanden wir das Wort Balkon, 7000-mal Garage und 10.000-mal Dach. Wenn Sie sich selbst an die Anmeldung machen, achten Sie auf Datenschutz und schreiben Ihren Namen, Ihre Adresse oder die Mailadresse nicht in das öffentlich einsehbare Freitextfeld – auch das haben einige Betreiber getan.

Das zweite Indiz für ein Massenphänomen: Balkonkraftwerke gibt es nicht mehr nur in darauf spezialisierten PV-Webshops im Internet, auch große Händler haben das Potenzial erkannt. Baumärkte haben sie im Sortiment, Discounter und kleine Händler, die ihre Lager in Industriegebieten aufgeschlagen haben. Wer ein Auto hat, spart sich beim lokalen Händler die Speditionskosten.

Steuererleichterung

Die erste große Veränderung bescherten bereits zum Jahreswechsel 2023 Bundestag und Bundesrat: Eingeführt wurde zum 1. Januar 2023 der Nullsteuersatz für Photovoltaikanlagen, Installationsmaterial und die Installation unter bestimmten Voraussetzungen. Die Anlage muss von Privatpersonen gekauft werden und darf nicht größer als 30 kW Peak sein. Ausdrücklich fallen auch Balkonkraftwerke unter diese Steuersenkung. Ganz konkret heißt das: Die Geräte werden mit 0 Prozent Mehrwertsteuer verkauft. Seitdem konnten wir auch nicht beobachten, dass große Händler die Differenz heimlich draufgeschlagen haben. Die Händler gehen aber

unterschiedlich mit dem Steuersatz um. Einige weisen den Preis direkt mit 0 Prozent in ihren Webshops aus, andere haben kurz vor dem Ende des Verkaufsprozesses eine Frage eingebaut, mit deren Antwort man bestätigt, dass man die Voraussetzungen für den Nullsteuersatz erfüllt.

Auftritt Bundesnetzagentur und VDE

Kam die Mehrwertsteuersenkung schon recht unerwartet, so gab es Anfang 2023 zwei Ereignisse, die noch mehr überraschten und mehrere Änderungen vorbereiteten: Zunächst mischte sich Klaus Müller, der Präsident der Bundesnetzagentur (BNetzA), in den wohl größten Streit ein, der seit Beginn des Balkonkraftwerkszeitalters geführt wird: in die Steckerdiskussion. Im Kern geht es um die Frage, wie ein steckerfertiges Gerät mit dem Stromnetz verbunden werden darf. Mit einem speziellen Steckverbinder, der berührungslose Kontakte hat und der nur mit Werkzeug aus der zugehörigen Steckdose entnommen werden kann, sagen die

einen. Mit einem ganz ordinären Schukostecker sagen die anderen. Aufeinander trafen die beiden Lager in Sitzungen der Deutschen Kommission Elektrotechnik (DKE), der Organisation, die für den Verband der Elektrotechnik (VDE) die Normen erarbeitet. Entstehen soll dort eine Produktnorm für steckerfertige PV-Anlagen. Im Mai 2022 gab es das erste Zwischenergebnis: Die Schukobefürworter konnten sich nicht durchsetzen, eine Abstimmung endete mit einem Patt und nur der Einspeisestecker (in der Praxis fast ausschließlich vom Hersteller Wieland) landete in der Vornorm. Das große Problem für Kunden: Um die Norm zu erfüllen, müssten sie einen Elektriker beauftragen, der die Steckdose tauscht. Das ist für die sowieso schon gut ausgelastete Branche aber nur ein vergleichsweise kleiner Auftrag, der dementsprechend ins Geld geht und so die Amortisationszeit der Anlage nach hinten verschiebt.

Die Argumentation der Schuko-Gegner: An den blanken Kontakten könne man einen Schlag erleiden, wenn man den Wechselrichter bei Last abzieht. Außerdem seien Haushaltssteckdosen per se nicht

Bild: Sebastian Müller



Jeder Balkon ist anders. Damit das Modul sicher hält, wird es oben einge-hängt und unten auf einer Profilschiene mit Endklemmen befestigt.



geeignet, weil die 800 Watt des Wechselrichters nicht am Sicherungsautomaten (Leitungsschutzschalter) vorbeifließen und der dadurch zu spät auslöse. Das Pro-Schuko-Lager hielt dagegen, dass die Leitungen durch die zusätzlichen 2,5 Ampere nicht unzulässig erwärmt werden und dass der sogenannte NA-Schutz in den Wechselrichtern so schnell abschalte, dass man unmöglich die Kontakte des Schukosteckers schnell genug berühren könne, um einen Schlag zu erleiden. Im Wechselrichtertest haben wir diese Behauptung getestet und extrem niedrige Abschaltzeiten gemessen, die die Argumentation der Schukobefürworter stützen.

Zum Lager der Befürworter bekannte sich dann auch Klaus Müller, seines Zeichens nicht Elektroingenieur, sondern Volkswirt, ehemaliger Umweltminister und Verbraucherzentralen-Vorstand. Per Twitter und in einem Brief verkündete er, dass nach Einschätzung der Bundesnetzagentur der Schukostecker ausreicht. Die BNetzA wolle sich außerdem im Normungsprozess für ihn einsetzen. Das sind ungewöhnliche Töne für eine Behörde.

Der nächste Paukenschlag folgte am 11. Januar 2023: Der VDE veröffentlichte ein Positionspapier über Balkonkraftwerke, das es in sich hatte. Darin forderte der Verband umfangreiche Änderungen. Die Bagatellgrenze von 600 Watt solle auf 800 Watt angehoben werden, schließlich handhaben das andere europäische Länder auch so. Dieser Forderung schloss sich auch die Bundesregierung an und änderte mehrere Gesetzespassagen, sodass die Grenze jetzt bei 800 Watt liegt.

Geduldet werden, so damals die Forderung des VDE, sollte auch der Schukostecker – eine bemerkenswerte Aussage des Verbands, die Folgen für die Beteiligten des eigenen Normungsprozesses haben dürfte. Und noch eine Überraschung hatte der bisher eher konservative Verband: Auch der Betrieb an einem alten schwarzen Ferrariszählern sollte erlaubt werden. Das war zu dem Zeitpunkt höchst illegal, weil sich dieser Zählertyp auch rückwärts drehen kann. Auf diese Weise kann man das gesamte europäische Verbundnetz als riesigen Speicher nutzen, tagsüber Überschuss einspeisen und nachts kostenlos wieder abrufen.

Der Gesetzgeber griff auch diesen Punkt auf: Wer einen solchen Zähler noch hat und ein Balkonkraftwerk in Betrieb nimmt, muss es lediglich anmelden – ab dann ist es Aufgabe des Messstellenbetreibers, den Zähler zu tauschen. Lässt der sich Zeit, ist das nicht das Problem des Betreibers.

Eine weitere Forderung des VDE und vieler anderer Akteure betraf die Anmeldeprozedur. Statt wie bisher auf der Homepage des lokalen Netzbetreibers ein Formular zu suchen (das jeder Netzbetreiber selbst entwirft), per Post oder Mail einzureichen und auf Reaktion zu warten, sollte man die Anlage nur noch bei der Bundesnetzagentur anmelden – der Netzbetreiber würde dann eine Information erhalten und keine eigenen Formulare mehr pflegen. Auch diese Forderung übernahm der Gesetzgeber, heißt für Sie: Wenn Sie ein Balkonkraftwerk gekauft haben, klicken Sie sich einmalig durch den Assistenten unter marktstammdatenregister.de und Sie haben Ihre Pflicht getan.

Eine Amortisationsrechnung

Wann lohnt sich ein Balkonkraftwerk? Die Frage beschäftigt alle, die über die Anschaffung nicht nur aus ökologischen Gründen nachdenken. Die Amortisationsrechnung ist schnell aufgestellt – weil die Preise schwanken, sollten Sie die mit aktuellen Preisen schnell wiederholen.

Ein Balkonkraftwerk mit 800 Watt und optimaler Ausrichtung (Süden, etwa 30° angewinkelt, keine Beschartung) liefert rund 800 Kilowattstunden im Jahr. Unsere Erfahrung zeigt:

Etwa 500 kWh können Sie im Haus verbrauchen, 300 kWh fließen unvergütet ins öffentliche Netz. Über die sollten Sie sich nicht allzu sehr ärgern. Wenn eine gekaufte Kilotröhre 30 Cent kostet, sparen Sie im Jahr rund 150 Euro. Angenommen, Sie zahlen inklusive Montagematerial 600 Euro, dann macht das Balkonkraftwerk nach vier Jahren Gewinn. Falls Sie die sperrigen Module selbst bei einem Händler abholen können, bekommen Sie das Komplett Paket oft für deutlich weniger Geld.

Zwischenstand

Mit diesen Änderungen hatte die Regierung schon einmal die ersten bürokratischen Hürden zurückgebaut. Mit einer weiteren Änderung ließ sie sich aus parteipolitischen Gründen bis Mitte 2024 Zeit. Die soll das größte Ärgernis für Mieter beseitigen. Bisher müssen Vermieter zustimmen, wenn ein Balkonkraftwerk außen am Balkon installiert werden soll. Eine häufige Reaktion: „Das müssen wir erst mit der Wohneigentümergemeinschaft besprechen und der ist das äußere Erscheinungsbild sehr wichtig.“

Mit der Änderung des Wohneingentumsgesetzes ist das jetzt fast Geschichte: Der Bundestag hat beschlossen, dass Balkonkraftwerke eine privilegierte Maßnahme darstellen, so wie unter anderem auch Ladeinfrastruktur für Elektroautos. Nur, wenn das Balkonkraftwerk dem Vermieter absolut nicht zumutbar ist, darf er es verweigern. Das ist eine hohe Hürde, über die im Streitfall ein Gericht entscheiden muss. Das „einheitliche Erscheinungsbild“, das Hausverwaltungen und Vermieter bisher gern angeführt haben, wiegt definitiv nicht höher als die privilegierte Maßnahme. Und auch eine Hausordnung steht nicht über dem Gesetz. Bis Mieter dieses Recht einfordern können, ist noch eine letzte Hürde zu nehmen, die eine reine Formsache sein dürfte: Der Bundesrat wird im September 2024 über das Gesetz beraten, die Zustimmung gilt eher als Formsache. Wer jetzt über die Anschaffung nachdenkt

und Ärger mit dem Vermieter erwartet, sollte den Bundesratsbeschluss noch abwarten und dann aus einer rechtlich starken Position den Vermieter über die Installation informieren. Die Forderung nach statischen Gutachten, Installationen durch Fachbetriebe oder elektrotechnische Gutachten, mit denen veränderungsresistente Hausverwaltungen aktuell ihre Mieter belästigen sind nach Auffassung von Juristen eher nicht haltbar.

Und jetzt?

Viele Hürden sind jetzt abgebaut und leidige Debatten fast beendet. Der Gesetzgeber hielt es für nötig, die maximale Modulleistung im Gesetz zu beschränken: Sie dürfen sich jetzt einen 800-Watt-Wechselrichter anschaffen und bis zu 2000 Watt Module anschließen – elektrisch liegt die Grenze des Machbaren bei den meisten Wechselrichtern darunter. Das Normungsgremium des VDE ist indes noch nicht so weit und hat sich bisher nicht durchgerungen, die Produktnorm mit Schukostecker zu beschließen. Auch das dürfte nur noch eine Frage der Zeit sein, denn Stand der Technik ist der Schukostecker schon seit Jahren.

Eine erfreuliche Nachricht für alle, die jetzt einsteigen: Module sind so günstig wie nie, Mikrowechselrichter gut verfügbar und Montagematerial gibt es mittlerweile für fast jeden erdenklichen Balkon. Eine gute Zeit zum Loslegen. (jam) ct

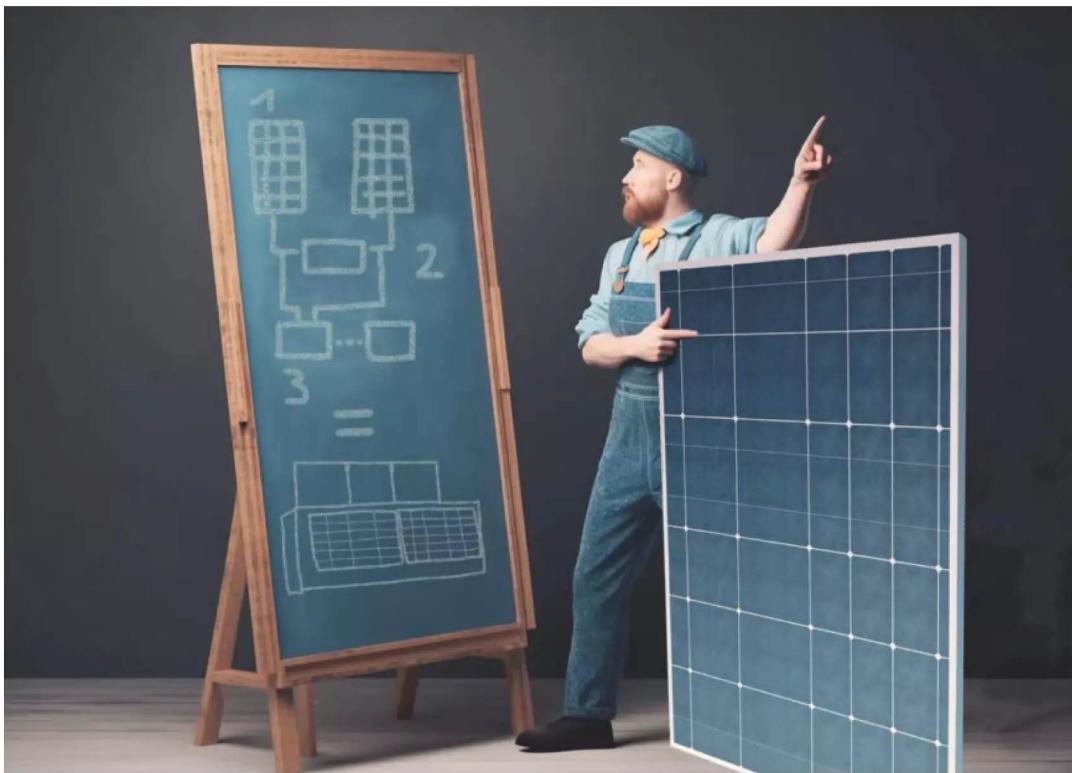
KI im Unternehmen sicher einsetzen

Externe und lokale Lösungen

Webinar am 9. Oktober 2024



Jetzt Ticket sichern: heise-academy.de/webinare/ki-im-unternehmen



So bauen Sie Balkonkraftwerke

Das Planen selbst kleiner Photovoltaikanlagen ist trotz vieler kursierender Informationen für Einsteiger schwierig. Direkt drauflos zu kaufen ist immer eine schlechte Idee. Deshalb gibt's hier einen Leitfaden mitsamt Planungsvorlage.

Von **Andrijan Möcker**

S eitdem über Balkonkraftwerke an allen Ecken und Enden berichtet und auch viel dafür geworben wird, hat auch c't das Thema in vielen Artikeln behandelt. Eigentlich könnten wir jetzt behaupten, dass dazu alles gesagt ist. Dennoch

trudeln in unseren Mailpostfächern regelmäßig Fragen ein.

Darum lesen Sie in diesem Artikel, wie Sie für Ihre persönlichen Verhältnisse Schritt für Schritt zu Ihrer mehr oder weniger großen Photovoltaikanlage mit

Mikrowechselrichter kommen. Die Planungsschritte beruhen auf unseren Erfahrungen, die wir beim Bau solcher Anlagen gesammelt haben.

Dabei variiert die Detailtiefe mancher Schritte, weil wir nicht jeden spitzverdackelten Spezialfall aller denkbaren baulichen und Verkabelungsgegebenheiten behandeln können. Unsere Tipps plus etwas weitere Recherche und Handarbeit sollten Sie aber an Ihr Ziel bringen. Dieser Artikel geht davon aus, dass Sie sich schon grob informiert haben, was ein Balkonkraftwerk eigentlich ist und einige Grundbegriffe der Elektroinstallation kennen.

Lohnt sich das?

Die Frage ob sich das lohnt, steht bei vielen an erster Stelle. Die Antwort lautet meistens: „Ja!“ Geht es nicht nur um eine gelegentlich genutzte Kleingartenhütte oder Zweitwohnung ohne Kühlschrank, Router und so weiter, ist ein Balkonkraftwerk die perfekte Ergänzung, um den Grundverbrauch zu verringern und in absehbarer Zeit tagsüber für den Strom nichts mehr zu bezahlen – ein sonniges Plätzchen vorausgesetzt.

Die Preise für die Komponenten sind durch die Senkung der Mehrwertsteuer auf 0 Prozent und das gestiegene Angebot in den Keller gefallen. Dimensionieren Sie die Anlage nicht zu groß und nicht zu klein, haben Sie Ihr Geld nach drei bis sechs Jahren wieder drin. Wie schnell das geht, hängt von den Installationskosten, dem Strompreis und den Sonnenstunden ab.

Wie Sie Ihren Grundverbrauch ermitteln und darüber das Balkonkraftwerk dimensionieren, erfahren Sie weiter unten. Erstmal schaffen wir einen Rahmen für das Projekt und klären die Voraussetzungen.

Ortsbegehung

Der Begriff „Balkonkraftwerk“ hat sich als umgangssprachliche Bezeichnung für kleine Photovoltaikanlagen etabliert. Solche Anlagen sind aber nicht nur am Balkon gestattet. Sie können Ihre an beliebigen geeigneten Orten installieren.

Selbst wenn das Balkongeländer tauglich erscheint, lohnt es sich, nach weiteren Orten zu schauen; eventuell ist die Installation dort einfacher. Behalten Sie im Kopf, dass Sie einschattiges Plätzchen

Planungsvorlage

Schreiben Sie Ihre Pläne zum Thema auf. Das teilt das Projekt in gut handhabbare Häppchen. Dafür genügt ein beliebiges Textdokument; wir verwenden aber gerne sogenannte Markdown-Pads.

Markdown-Pads sind Textdokumente in einem Browser-Editor, die mit der Auszeichnungssprache Markdown formatiert und gleichzeitig von mehreren Personen bearbeitet werden können. Klingt erstmal kompliziert, ist es aber nicht: Markdown braucht keine Menüs und verändert nicht ungefragt Formatierungen, weil es glaubt zu wissen, was Sie wollen.

Unter ct.de/wsfn finden Sie eine Balkonkraftwerk-Planungsvorlage im Markdown-Editor HedgeDoc, die Sie aus der Markdown-Ansicht (Stift, oben links) kopieren und für Ihre eigenen Zwecke in einem beliebigen Markdown-Editor

einfügen können. Der Chaos-Computer-Club betreibt unter md.darmstadt.ccc.de eine HedgeDoc-Instanz, auf der Sie als Guest eine Notiz erstellen können. So was ist von Vorteil, wenn mehrere Leute gemeinsam eine Anlage planen. In der Leseansicht (Auge) können Sie das Dokument zudem über den Browser-Druckdialog aufs Papier oder in ein PDF drucken. Achten Sie nur darauf, keine persönlichen Daten und Privatadressen dort einzutragen. Planen Sie nur für sich selbst, nehmen Sie einfach irgendeinen Markdown-Editor auf Ihrem lokalen Rechner.

Sie können aber auch eine eigene HedgeDoc-Instanz betreiben – in [1] haben wir beschrieben, wie das gelingt. So was ist von Vorteil, wenn mehrere Leute gemeinsam eine Anlage planen. Sie können aber auch fremde Server nutzen.



Dachhaken wie diesen zu installieren ist keine Magie. Je nach Pfannenform muss eine Nut in den unteren, den oberen oder in beide Ziegel gefräst werden, damit der Haken passt.

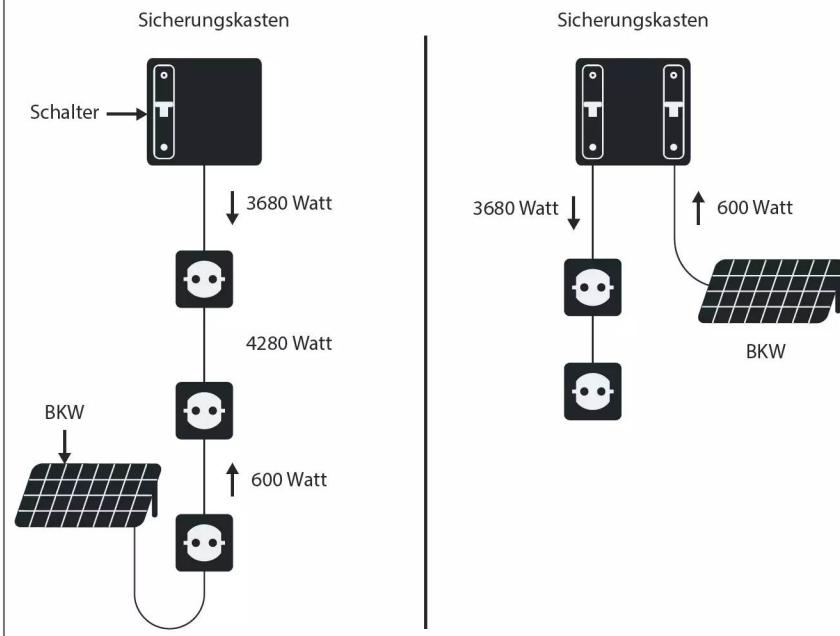
für den Mikrowechselrichter benötigen; die Geräte drosseln ihre Leistung, wenn es ihnen zu heiß wird. Schauen Sie sich gründlich um und suchen Sie Orte mit vielen Sonnenstunden über den Tag und stellen Sie sich auch am besten schon vor, wie eine Anlage jeweils dort aussähe. Der Rest ergibt sich aus den folgenden Schritten.

Auf Flachdächern von Carports oder Gartenhütten haben Sie oft leichtes Spiel. Dort können Sie die Anlage mit wenig Werkzeug zusammenschrauben und günstige Aufständungen für den besten Winkel des Panels zur Sonne verwenden. Doch auch mit Dachpappe eingedeckte Dächer auf Schuppen oder fest stehende Pavillons taugen für Solarinstallationen. An sonnigen Wänden spricht ebenso nichts gegen Solarmodule.

Natürlich kann auch ganz klassisch das Ziegeldach als Kraftwerksplatz herhalten. Sind die Ziegel

Absicherungsproblem

Steckt man das Balkonkraftwerk einfach in die Steckdose, ist es ein Generator in einem Verbraucherstromkreis. Dementsprechend steigt die Maximalleistung, die an anderen Steckdosen abgerufen werden kann, um die Leistung der Photovoltaikanlage an – das kann ein Sicherheitsrisiko sein. Eine eigene Leitung mit separater Absicherung löst das Problem.



lediglich aufgelegt und nicht mit Mörtel fixiert, ist die Arbeit überschaubar – die Liste an Werkzeug und Ausrüstung jedoch länger. Überlegen Sie, wo die Ersatzziegel liegen oder wo Sie sie kaufen können; einen werden Sie mindestens beschädigen.

Auf vielen von Profis gebauten Dächern ist das hinzukommende zusätzliche Gewicht der Solarmodule kein Thema, weil die Konstruktionen auf ein Vielfaches der typischen Schneelast ausgelegt sind. Die beträgt meist über 50 Kilogramm pro Quadratmeter. Möchten Sie auf Nummer sicher gehen, fragen Sie einen Architekten, Statiker oder den Erbauer.

Naturgemäß lohnen sich Süd- sowie Ost- und Westinstallationen am meisten; doch auch Norddächer funktionieren, allerdings nur bei geringer Neigung und dann auch primär im Sommer. Auch Kombinationen sind mit passenden oder einzelnen Wechselrichtern möglich.

Der Platzbedarf variiert etwas mit der Installationsweise, der verwendeten Halterung beziehungsweise Aufständerung und der Panelgröße. Derzeit weit verbreitete Panels zwischen 380 und 430 Watt sind grob $1,80 \times 1,15$ Meter groß. Rechnen Sie also pro Modul mit einem Platzbedarf von etwa $2 \times 1,35$

Meter. Möchten Sie Panels hintereinander aufständern, müssen Sie 50 bis 100 Zentimeter Platz zwischen den Panels einkalkulieren.

Haben Sie einen oder mehrere vielversprechende Orte identifiziert, machen Sie sich Gedanken, wie Sie den Installationsort mit Netzspannung versorgen: Existierende Elektroverteilungen und Steckdosen sind meist ein gutes Zeichen, besonders dann, wenn Sie in einer Haupt- oder Unterverteilung einen separaten Leitungsschutzschalter (umgangssprachlich: Sicherung oder Automat) entdecken: Gibt es etwa eine durchgehende Leitung zum Balkon, dem Carport oder Gartenhaus, können Sie das Balkonkraftwerk und die Verbraucher jeweils getrennt absichern. Im 800-Watt-Normfall ist das nicht unbedingt nötig, aber sinnvoll und bei größeren Anlagen sowieso.

Haben Sie die Hürden im Haus gemeistert, geht es an die Zulässigkeit: Grundsätzlich ist das Installieren einer (kleinen) Photovoltaikanlage in allen Bundesländern baugenehmigungsfrei und in Neubau- oder Einfamilienhaussiedlungen dürften Sie keine Probleme bekommen.

Versicherungen

Um die Versicherungslage bei Balkonkraftwerken ranken sich mindestens so viele Mythen wie um die Anlagen selbst. Versicherungsverträge sind kompliziert; eine sichere Aussage bekommen Sie nur, wenn Sie für Ihr Installationsvorhaben schriftlich bei Ihrer Versicherung nachfragen. Prüfen Sie nicht nur, ob Gebäude- und Hausratversicherung Schäden am und durchs Balkonkraftwerk abdecken, auch für separate, das Gebäude betreffende Versicherungen – bei Feuerversicherungen etwa – kann das eine Rolle spielen.

Insbesondere bei Wohnungen und Reihenhäusern müssen Sie im Hinterkopf haben, dass Sie für Schäden, die durch Ihr Balkonkraftwerk entstehen und die nicht auf die Hersteller der Komponenten zurückzuführen sind, persönlich haften. Selbst wenn Sie am Ende nicht Schuld haben, wird sich der Hersteller wahrscheinlich erst einmal wehren. Eine Privathaftpflichtversicherung ist einmal mehr sinnvoll; vergessen Sie nicht, auch bei dieser das Thema Balkonkraftwerk anzusprechen. Grundsätzlich sind viele Versicherer Ihnen positiv gestimmt. Wir konnten weder bei der Recherche noch in Zuschriften Problemfälle entdecken.

Die Zusagen der Versicherungen sind kein Freifahrtschein für Pfusch. Auf der sicheren Seite sind



Flachdachaufständerungen bekommen Sie in allerhand Formen mit unterschiedlichem Neigungswinkel. Der Aufbau ist in der Regel unkompliziert.

Sie, wenn Sie sich die Zeit nehmen und alles ordentlich machen.

Dimensionierung

Steht die Wirtschaftlichkeit Ihres Balkonkraftwerks für Sie oben auf der Prioritätenliste, müssen Sie die Anlage richtig dimensionieren. Der Gesetzgeber hat sich überlegt, die Grenze auf Wechselrichter mit 800 Watt und maximal 2000 Watt Modulleistung zu verändern. Mikrowechselrichter gibt es unter anderem mit 300, 400, 600 und 800 Watt Ausgangsleistung, Zwei 400-Watt-Module passen gut an einen 800-Watt-Wechselrichter.

Für die Dimensionierung müssen Sie Ihren Grundverbrauch berechnen, also die Energie, die Daueraufläufer wie Kühlschrank, Router und so weiter in Ihrem Haushalt im Schnitt benötigen. Den Messzeitraum wählen Sie so, dass währenddessen die in Frage kommenden Flächen Ihres Balkonkraftwerks beschienen werden.

Der Rest ist Mathematik: Notieren Sie den Stromzählerstand zu Beginn und zum Ende des Messzeitraums. Dann ziehen Sie den Zählerstand zu Beginn vom Zählerstand am Ende ab und teilen ihn durch die Anzahl der Stunden zwischen beiden Zählerständen, um den Grundverbrauch in Kilowatt zu erhalten. Beispielsweise: $(4690,2 \text{ kWh} - 4689,5 \text{ kWh}) / 9 \text{ Stunden} = 0,077 \text{ kW}$, also 77 Watt. Während des Messzeitraums sollten Großverbraucher wie die Waschmaschine, der Trockner und Geschirrspüler nicht laufen. Arbeiten Sie aber primär daheim, machen Sie das während der Messung auch, denn das zählt dann zur Grundlast.

Bei unter 100 Watt Grundlast planen Sie ein Panel mit einem 400-Watt-Wechselrichter – je nachdem, was gerade günstig ist. Panels zwischen 380 und 415 Watt liefern auch an dunkleren Tagen 30 bis 100 Watt. Bei höherem Verbrauch lohnt sich ein 800-Watt-Wechselrichter.

Spielt die Wirtschaftlichkeit für Sie weniger eine Rolle, empfehlen wir direkt eine 800-Watt-Anlage. Das macht einerseits den europäischen Strommix etwas grüner und garantiert Ihnen über Jahrzehnte – also auch bei Leistungsverlust der Module – dass Ihr Grundverbrauch abgedeckt ist.

Elektrik

Das Stromnetz besteht aus drei Phasen und ein Mythos besagt, man müsse diese Tatsache bei der Planung berücksichtigen. Die Wahrheit: In welche

der drei Phasen Sie die gewonnene Energie aus dem Balkonkraftwerk einspeisen, spielt keine Rolle. Alle verbauten Zähler saldieren die Leistung über alle Phasen, Verbrauch und Erzeugung können also auf unterschiedlichen Phasen hängen.

Wie man den Wechselrichter mit dem Netz verbinden soll und darf, ist bis zuletzt heftig diskutiert worden und noch ist die Produktnorm für Balkonkraftwerke von Normungsgremium des VDE immer noch nicht verabschiedet worden. Einspeisesteckdosen von Wieland, die von der Norm verlangt werden, findet man auf dem Markt fast gar nicht mehr. Der Schuko-Stecker hat sich durchgesetzt, auch wenn die Norm noch auf sich warten lässt.

Für hohe elektrische Sicherheit sollten Sie die Absicherung ändern (lassen): Balkonkraftwerke bis 800 Watt sind meist kein Problem für frische, normgerechte Elektroinstallationen. Allerdings altern diese auch und wenn die Komponenten mehr als 20 Jahre hinter sich haben, empfehlen wir, den besagten Leitungsschutzschalter für den Stromkreis, an dem das Balkonkraftwerk angeschlossen wird, um eine Größenordnung zu reduzieren – also typischerweise von 16 auf 13 oder auch 10 Ampere. Unabhängig vom Alter auch dann, wenn Sie direkt 800 Watt anschließen wollen.

Der Grund ist, dass das Balkonkraftwerk an einer normalen Haushaltssteckdose ein Generator in einem Verbraucherstromkreis ist. Wenn am zuständigen Leitungsschutzschalter mehrere Steckdosen angeschlossen sind und das Balkonkraftwerk an einer davon hängt, steigt die abrufbare Leistung im Kreis, die sonst typischerweise 3860 Watt bei 16 Ampere Absicherung beträgt, um die vom Balkonkraftwerk erzeugte Leistung.

Erzeugt das Balkonkraftwerk also 800 Watt, müssen an allen anderen Steckdosen insgesamt schon 4480 Watt fließen, bevor der Leitungsschutzschalter erst in seinen Auslösebereich kommt. Er löst dann also deutlich später aus.

Den Leitungsschutzschalter muss eine Elektrofachkraft austauschen. Besitzt Ihre Elektroinstallation noch Schraubsicherungen, ist das Austauschen zwar einfacher, trotzdem sollte in diesem Fall eine Fachperson einen Blick auf die Anlage werfen und entscheiden, welche Sicherungsgröße sinnvoll ist.

Einzeln abgesichert

Das Problem der Absicherung löst sich (fast) in Luft auf, wenn ein Kabel mit eigenem Leitungsschutzschalter und ohne Abzweige von der Unter- oder

Hauptverteilung, also vom Sicherungskasten zum Installationsort führt. Die vom Balkonkraftwerk produzierte Energie gelangt dann nicht mehr zu Verbrauchern, ohne eine Sicherung gesehen zu haben; das Balkonkraftwerk hat einen eigenen „Generatorstromkreis“ und die Verbraucher sind separat geschützt.

Benötigt man am Installationsort auch Verbraucheranschlüsse, kann eine Elektrofachkraft über einen Kleinverteiler mit separaten Leitungsschutzschaltern absichern. Wie viel Leistung Sie anschließen können, muss die Fachkraft beurteilen, denn was Sie dauerhaft sicher über das Kabel schicken dürfen, hängt vom Kabelquerschnitt und der Verlegeart ab.

Anti-Pfusch

Wir möchten Sie eindringlich davor warnen, einfach bei der Verkabelung selbst loszulegen und mal eben etwas anzuklemmen, einen Kleinverteiler zu installieren oder gar einen Leitungsschutzschalter in der Verteilung zu tauschen. Fehler können weitreichende Konsequenzen haben, Ihre Existenz durch ein Feuer vernichten und Sie und andere Menschen schwer verletzen oder töten.

Rein rechtlich gesehen verbietet Ihnen die Niederspannungsanschlussverordnung (NAV) in Paragraph 13 Absatz 2 das Ändern der E-Installation. Eine Strafe und Zahlungsverweigerung der Versicherung gibt's dann, wenn etwas passiert. In einer Mietwohnung kann das Ändern der Elektroinstallation indes zu einer fristlosen Kündigung führen.

Was Sie tun dürfen: Sie können – sofern Sie sattfest in den Sicherheitsregeln, den Grundlagen der Elektroverteilung und der nötigen und zulässigen Installationsmaterialien sind – die Installation nach den anerkannten Regeln der Technik vorbereiten und das von einer Fachkraft beurteilen lassen, die auch die Installation und den Anschluss übernehmen kann.

Panelauswahl

Haben Sie keine besonderen Anforderungen an das Solarmodul, müssen Sie nur beachten, welche mit weniger als 2 Quadratmeter Glasfläche zu wählen. Größere dürfen aktuell nur auf gebäudeunabhängigen Freiflächen bis drei Meter Höhe installiert werden – das Baurecht befindet sich auf Ebene der 16 Länder gerade in der Änderung..

Hohe Speditionskosten für Ihre Solarpanels können Sie vermeiden: Suchen Sie zunächst in der Umgebung nach Händlern, die Ihnen Solarkomponenten direkt verkaufen. Wir machen das am liebsten über eBay-Kleinanzeigen, da gerade Lagerverkäufe dort häufig auftauchen. Solarmodule in der Nähe selber abzuholen, ist mit Abstand am günstigsten und im Kombi oder Anhänger kein Problem.

Zwischen vielen Modulen asiatischer Hersteller konnten wir bislang erstaunlich wenig Qualitätsunterschiede feststellen. Wir achten lediglich darauf, dass der Hersteller bereits einige Jahre am Markt ist und dass es keine negativen Berichte über die Produkte gibt.

Wenn Sie Wert darauf legen, dass die Solarmodule in Europa hergestellt worden, werden Sie etwa bei Solarwatt, Kioto Photovoltaics, Luxor Solar,



Glasfreie Module aus Kunststoff sind eine sichere Alternative zu GlasmODULEN in großer Höhe. Allerdings darf man nicht dieselbe Lebenszeit erwarten und teurer sind sie auch.

Heckert, Meyer-Burger oder Aleo-Solar fündig. Da die asiatischen Module den Markt jedoch dominieren, stehen die Chancen, europäische Module bei Lagerverkäufern zu finden, nicht gerade gut. Sie müssen also 50 bis 100 Euro Versandkosten einplanen.

Komplettssets mit Modulen und Wechselrichtern kaufen wir gar nicht, da diese aufgrund des Versands vergleichsweise teuer sind und meist nicht die von uns favorisierten Wechselrichter beinhalten - mehr dazu gleich.

Die Auswahl der Halbleitertechnik für die Solarmodule ist aktuell nicht groß: Monokristalline Module haben polykristalline verdrängt. Gängige Techniken zur Effizienzsteigerung nehmen sich wenig. Doppelseitige Module (Bifazial, englisch bi-facial) sind nur sinnvoll, wenn die Fläche hinter dem Modul auch tatsächlich nennenswert Licht reflektiert. Gerade bei diesen Modulen rechnet der Hersteller auch gerne Vorder- und Rückseite zusammen. Näheres dazu finden Sie beim Wälzen der Datenblätter.

Beachten Sie außerdem, dass die angegebenen Maximalwerte im Datenblatt unter Testbedingungen entstanden sind. An einem heißen Sommertag können Sie 70 bis 90 Prozent der angegebenen Modulleistung erwarten. An einem sonnigen Frühjahrstag sind 100 Prozent möglich, weil Solarmodule bei Kälte besser arbeiten können. Als Steckverbinder hat sich bei Solarmodulen weltweit MC4 durchgesetzt.

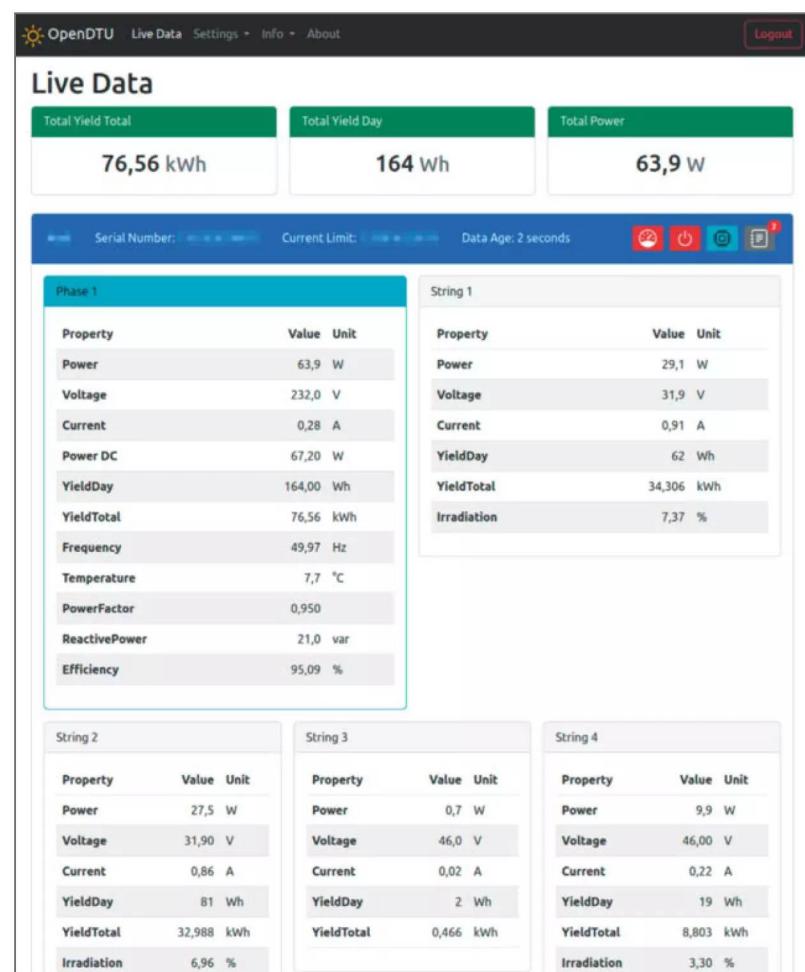
Mikrowechselrichter

Wir verwenden derzeit bevorzugt Mikrowechselrichter von Hoymiles. Vor allem, weil sie sich günstig per Funk überwachen lassen. Das liegt am Open-Source-Projekt OpenDTU, das das Auswerten aller Modelle der HM-Serie ohne teure Zusatzgeräte, Cloudaccounts oder umständliche Messadapter als Zwischenstecker erlaubt. Mehr dazu finden Sie im Artikel „OpenDTUs für Balkonkraftwerke“.

Mögen Sie es lieber per App, bedienen Sie sich in Deyes WLAN-fähiger Mikrowechselrichter-Serie. Die 800-Watt-Modelle erhalten Sie in Deutschland auch unter den Marken Bosswerk und revolt (Pearl).

Alle Geräte gab es bei Redaktionsschluss günstig und gut verfügbar in Onlineshops. Sie sollten ausschließlich Geräte wählen, welche die Norm VDE-AR-N 4105 erfüllen und von einem europäischen Händler kommen. Diese haften als Importeure für die Sicherheit; Schadensersatz von einem ausländischen Händler zu bekommen, ist extrem schwierig.

Ob ein Solarmodul zu einem Mikrowechselrichter passt, können Sie prüfen, indem Sie die Datenblätter beider vergleichen: Die Spannung des Solarmoduls im unbelasteten Zustand (Volt, open circuit; Voc) muss im Spannungsbereich des Wechselrichters liegen. Liegt sie darunter, kann das Gerät nicht arbeiten, darüber wird es möglicherweise beschädigt. Zweitens: Die Spannung bei voller Leistung (Volt, maximum power; Vmp/Ump) muss sich im Arbeitsbereich des Leistungsoptimierers (Maximum Power



Wer auf cloudfreie Smart Homes und unkomplizierte Photovoltaikauswertung ohne Anmeldung steht, wird OpenDTU gut finden. Mithilfe des WLAN-Mikrocontrollers ESP32 und einem separaten 2,4-GHz-Modem kann man alle Hoymiles-Wechselrichter der HM-Serie auslesen.

Point Tracker, MPPT) des Wechselrichters bewegen. 5 bis 10 Volt Luft zum unteren Ende sind optimal, damit der Wechselrichter auch bei schwächerem Licht noch Leistung abrufen kann.

Übersteigt der Strom des Panels (Ampere; Imax) bei maximaler Leistung den Eingangsstrom des Wechselrichters, ist das kein Drama, weil dieser ihn selber begrenzt. Größere Differenzen führen aber dazu, dass der Wechselrichter die Energie aus dem Panel nicht ausschöpfen kann. Welche Leistung der Wechselrichter tatsächlich abrufen kann, berechnen Sie, indem Sie die Vmp des Panels mit dem Imax (maximaler Eingangsstrom) des Wechselrichters multiplizieren. Beispielsweise: $31,3 \text{ Volt} \times 11,5 \text{ Ampere} = 359,95 \text{ Watt}$, sprich: 360 Watt.

Eine Ausnahme sind Mikrowechselrichter, die Panels durch Kurzschließen prüfen können. Liefert dabei das Solarmodul mehr Strom als vorgesehen, geht der Wechselrichter kaputt. Datenblatt oder Anleitung verraten, ob der Wechselrichter das kann.

Um von den Photovoltaikmodulen zum Wechselrichter zu kommen, benötigen Sie wahrscheinlich Verlängerungen mit MC4-Anschlüssen. Die gibts fertig konfektioniert in gängigen Längen im Netz. Wie Sie den benötigten Leitungsquerschnitt (in der Regel 4 oder 6 mm²) berechnen und MC4 selbst in passender Länge crimpeln, lesen Sie im Artikel „Kabel für PV richtig verbinden“.

Halterungen

Wir nähern uns der Zielgeraden: Steht der Installationsort fest, kümmern Sie sich um eine passende Halterung für die Anlage. Die Installationsanleitung des Herstellers - meist zu finden auf dessen Website, verrät, ob die Panels in jeder Lage montiert werden können und ob sie über die Montagelöcher hinten angeschraubt oder auch am Rahmen eingeklemmt werden können. Dafür verwendet man typischerweise Modulklemmen in Rahmenhöhe beziehungsweise M8-Schrauben mit Karosseriescheiben. Die nutzt man auch, um den Mikrowechselrichter anzuschrauben.

Fürs Balkongeländer finden Sie im Netz am ehesten die geeignete Halterung. Geländer sind individuell und nur durch Ausmessen und Recherchieren finden Sie etwas Passendes. Kaufen Sie auch hier aus Haftungsgründen nur bei einem europäischen Händler.

Viele Lagerverkäufer haben neben Panels und Kabeln auch Installationsmaterial für (Flach-)Dächer. Je nach Profilform können Sie es auch für Wandinstallationen verwenden und die Module senkrecht

mit Modulklemmen befestigen. Passende Maueranker gibts im Baumarkt.

Auf Gartenhütten, Schuppen oder sonstigen, beispielsweise mit Dachpappe gedeckten Dächern können Sie günstige Z-Halter oder Rahmenhaken einsetzen. Schauen Sie beim Auswählen jedoch nach der Tragkraft und vergessen Sie nicht, vor dem Installieren Dichtmasse zu besorgen.

Flachdachaufstände gibt es zuhauf günstig im Netz. Diese sollten Sie nicht nur ballastieren, sondern auch mit Stahlseil oder -ketten mit dem Gebäude verankern, damit Ihre Anlage sturmsicher ist. Architekten und Solarinstallateure wissen meist, was in Ihren Gefilden sinnvoll ist. Ausschlaggebend ist die Windlastzone, die Sie auch im Netz ermitteln können; einen Link finden Sie über ct.de/wsfn.

Das benötigte Werkzeug ist überschaubar: Ein gut sortierter Werkzeugkasten bringt Sie schon weit und solange Sie nicht täglich neue Module anschrauben, genügt etwas Günstiges - machen wir auch nicht anders. Konkret sollten Sie Sets mit Schrauben- und Inbusschlüsseln, einen Stecknusskasten mit Ratsche sowie typische Schraubendreher haben.

Anmeldung und Eigenverbrauchsoptimierung

Haben Sie den handwerklichen Teil erledigt, geht es zum bürokratischen Teil über: Anmelden müssen Sie die Anlage nur noch im Marktstammdatenregister der Bundesnetzagentur (BNetzA). Folgen Sie einfach den großen bunten Grafiken, die Balkonkraftwerksbetreiber neuerdings direkt zum richtigen Formular leiten.

Tipp zur Eintragung: Die Bruttoleistung ist die addierte Leistung Ihrer Panels - zum Beispiel 820 Watt - und die Nettonennleistung die wechselseitige Ausgangsleistung Ihres Wechselrichters - beispielsweise 800 Watt.

Auf den Tausch Ihres Zählers müssen Sie nach der Anmeldung nicht mehr warten, auch wenn sich ihr alter noch rückwärts drehen kann. Der Netzbetreiber bekommt eine Information von der BNetzA und schickt einen Monteur mit einem passenden Zähler los.

Dann bleibt nur noch, sich über die Sonnenproduktion zu freuen und Eigenverbrauchsoptimierung zu üben. Lassen Sie Waschmaschinen, Geschirrspüler, Wäschetrockner und andere Großverbraucher eher bei Sonnenschein laufen, dann verschenken Sie weniger Strom. Ehe Sie sich versehen, schreibt die Anlage schwarze Zahlen. (amo) 

Literatur

- [1] Andrijan Möcker, Tippgemeinschaft, HedgeDoc: Gemeinsam texten mit Markdown-Pads, c't 13/2022, S. 178

Planungspad und weitere Informationen

ct.de/wsfn

Überwachungs-Apps für Photovoltaik

Die Solarmodule auf dem Dach verwandeln eifrig Licht in Strom, doch der will optimal genutzt sein. Dabei helfen Apps und Portale der Wechselrichter, Solarbatterien und Energiemanager, die aber je nach Hersteller unterschiedlich ausfallen.

Von **Christof Windeck**

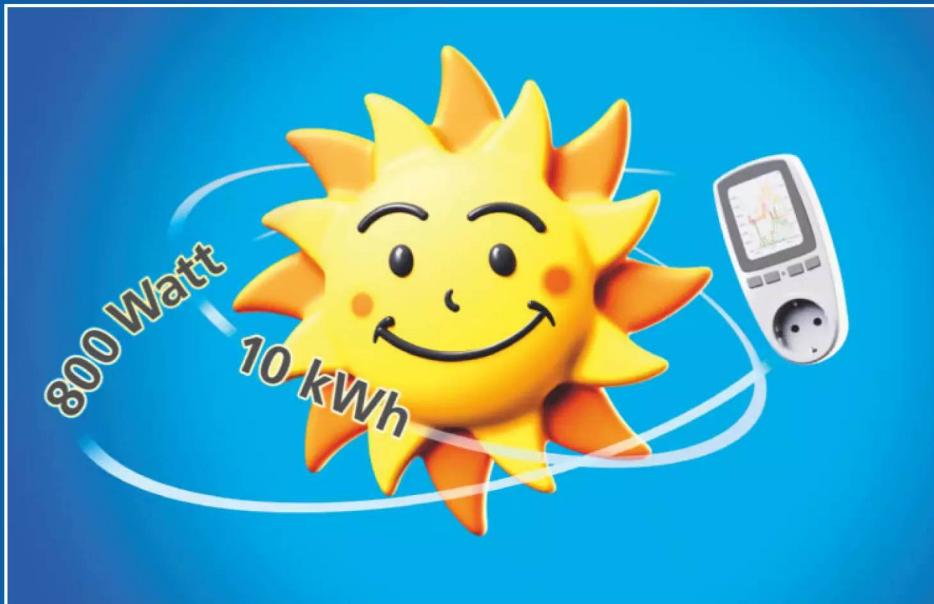


Bild: Moritz Reichartz

Überwachungs-Apps für Photovoltaik	84
OpenDTUs für Balkonkraftwerke	94
Tibber: Dynamische Strompreise im Test	102
Energieversorgung per E-Auto absichern	108

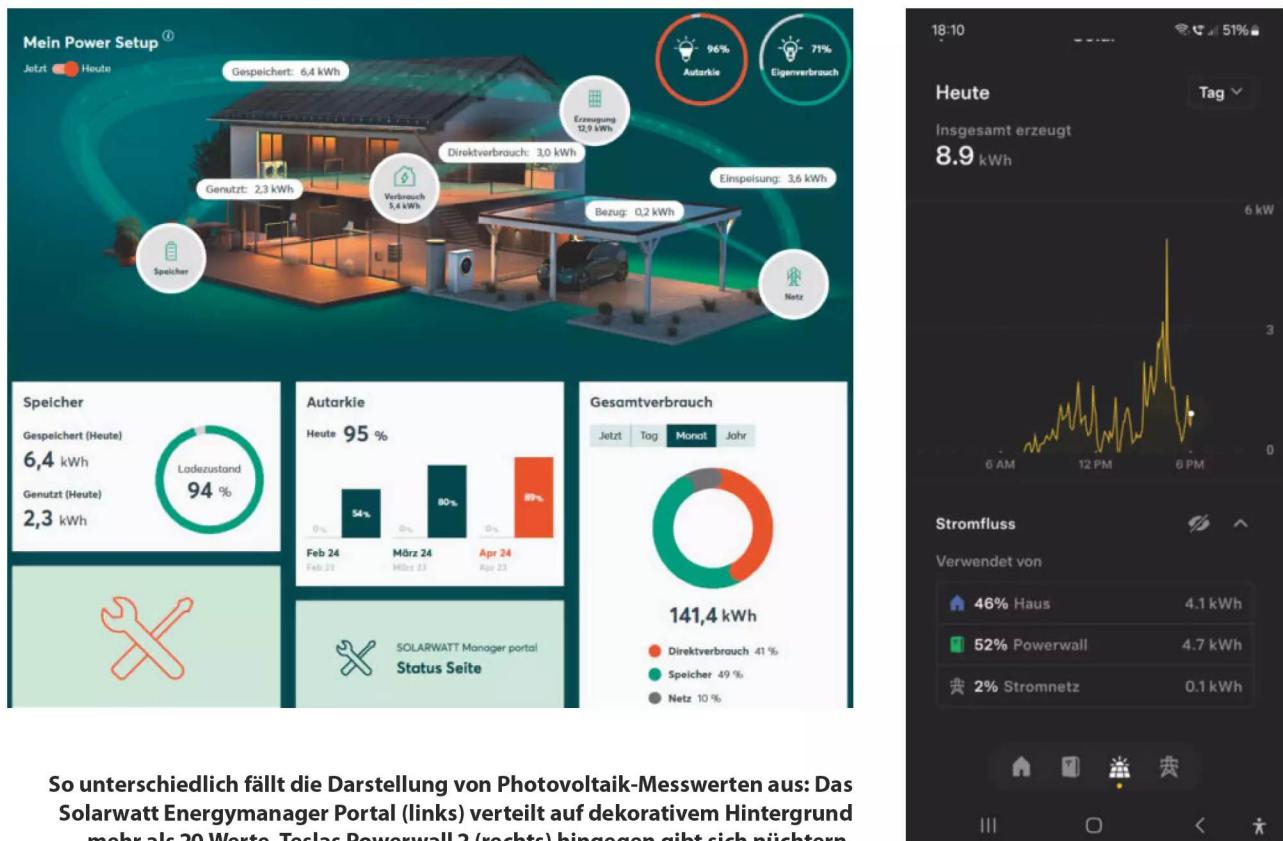
Billiger als mit Solarmodulen lässt sich elektrische Energie kaum erzeugen. Privatleute mit Photovoltaik-(PV-)Anlage sparen desto mehr Geld, je mehr Sonnenstrom sie selbst verbrauchen. Doch die Sonne scheint gerade dann am hellsten, wenn viele Menschen außer Haus sind: am Mittag.

Daher kaufen sich viele PV-Anlagenbesitzer eine Solarbatterie, die den am Tag erzeugten Strom speichert und abends, nachts und am nächsten Morgen wieder abgibt. Dadurch steigt zwar die Autarkie, aber es dauert ein paar Jahre, bis sich die Zusatzkosten von mehreren Tausend Euro für die Batterie durch eingesparte Stromkosten amortisieren (mehr dazu im Artikel „PV-Anlagen dimensionieren“).

Zusätzliches Sparpotenzial lässt sich ausschöpfen, indem man große Verbraucher gezielt einschaltet, wenn die Sonne scheint: Wasch- und Spülmaschine, Wärmepumpe, eine Wallbox zum Laden des E-Autos oder einen elektrischen Heizstab im Warmwasserspeicher. Doch das ist entweder unkomfor-

tabel, wenn man die Geräte von Hand schaltet, oder kompliziert und teuer, wenn man vernetzte Geräte anschafft sowie einen Energiemanager, der sie automatisch steuert.

Beim Sparen helfen Apps und Websites, die die heimische PV-Produktion überwachen. Für die meisten aktuellen PV-Wechselrichter stellen die jeweiligen Hersteller solche Apps bereit, deren Funktionen wir in diesem Artikel betrachten. Viele PV-Wechselrichter haben einen eingebauten Energiemanager, der vernetzbare Geräte ansteuern kann. Das gilt vor allem für PV-Anlagen mit Batterie, weil die nur dann geladen werden soll, wenn die Sonne lacht – sonst würde sie teuren Netzstrom tanken. Hängt die Batterie direkt am Wechselrichter, spricht man von DC-Kopplung (DC steht für Gleichstrom). Es gibt aber auch AC-gekoppelte Solarbatterien, die am heimischen Wechselstromnetz hängen. Auch sie müssen abhängig von der PV-Produktion gesteuert werden. Bei solchen Anlagen kommt häufig ein separater Energiemanager



zum Einsatz, der außer mit dem Wechselrichter und der Batterie auch mit einem Leistungsmessgerät in der elektrischen Hausverteilung kommuniziert. Außerdem gibt es Solarbatterien mit eingebautem Energiemanager, etwa Teslas Powerwall.

Überwachungzwang

Überwachung ist wichtig. Denn eine PV-Anlage kann sich nur amortisieren, indem sie Strom liefert. Klappt das nicht wie geplant, hat man das Geld für die PV-Anlage zum Fenster rausgeschmissen. Daher sollte man regelmäßig in der zugehörigen App oder auf der Website nachsehen, ob alles wie erwartet funktioniert. Also ob sich beispielsweise die Solarbatterie tatsächlich füllt, wenn die Sonne scheint.

Im Idealfall kann die App (oder die Website, die ist im Folgenden mitgemeint) außer Wechselrichter und Akku auch andere Verbraucher überwachen oder sogar schalten, möglichst automatisch. Dazu müssen Wärmepumpe, Wallbox, Heizstab oder Schalt-

steckdosen mit dem Leistungsmanager und dem Wechselrichter kommunizieren. Dafür gibt es unterschiedliche Schnittstellen, Verfahren und Konzepte, was die Sache verkompliziert.

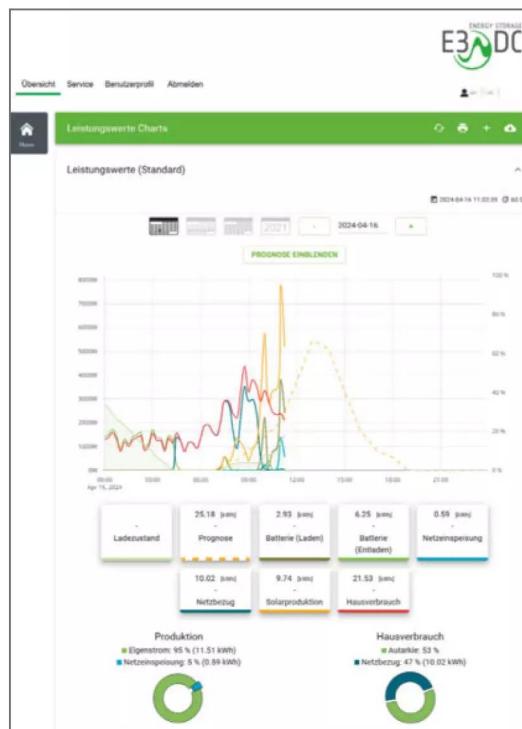
Wärmepumpen mit der Technik SG Ready bekommen vom Wechselrichter nur das simple Signal, dass PV-Überschuss besteht, und laufen dann los. Die für Eigenstromnutzung optimalen Parameter stellt man dann bei der Wärmepumpe ein. Für komplexere Steuersignale, etwa die aktuelle PV-Leistung, nutzen viele Energiemanager den standardisierten Modbus.

Und damit sind wir mitten in die Regelungstechnik gerutscht, denn für optimale Eigenstromnutzung braucht man eine Strategie. Ist nur eine Solarbatterie vorhanden, ist es noch relativ einfach: Sonne da, Akku laden, sonst nicht. Hängen aber auch noch eine Wärmepumpe und eine Wallbox dran, stellen sich kompliziertere Fragen. Soll zuerst der Akku befüllt werden, dann die Wärmepumpe Warmwasser bereiten und der Rest ins E-Auto fließen? Oder bekommt das E-Auto Vorrang? Und soll die Strategie ewig gelten oder will ich dynamisch eingreifen, etwa das E-Auto spontan am sonnigen Nachmittag laden, weil es tags darauf ins Grüne fahren soll?

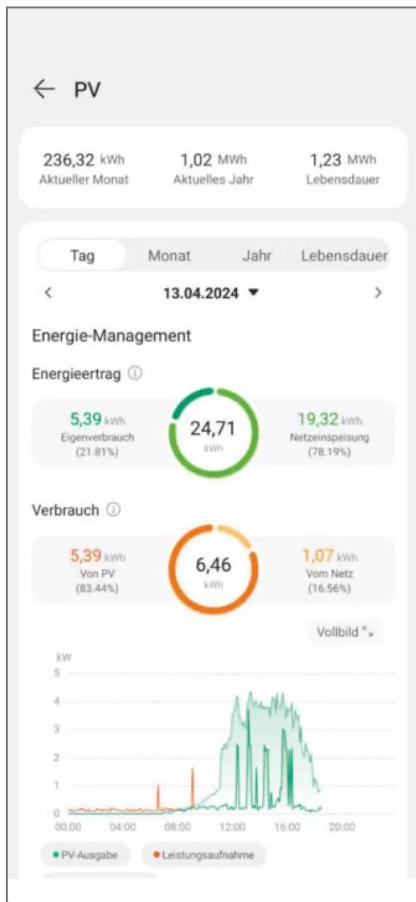
Idealerweise lassen sich diese Strategien mit einer einzigen App steuern und überwachen. Deshalb empfehlen manche PV-Installateure, alle Geräte von derselben Marke zu kaufen. Viele Energiemanager, egal ob als separates Gerät oder eingebaut in Wechselrichter oder Akkuspeicher, können aber auch Geräte anderer Hersteller überwachen und steuern. Dazu finden sich üblicherweise Kompatibilitätslisten. Man findet aber auch Tipps, um solche Funktionen im Eigenbau zu programmieren, etwa auf Basis eines Raspberry Pi mit Modbus/TCP-Umsetzer und auf Basis von Smart-Home-Software wie MQTT oder von Matter.

Cloudzwang

Die meisten Energiemanager, deren Daten per App zugänglich sind, senden sämtliche Daten des heimischen Stromnetzes in die Cloud, also zu Servern des jeweiligen Herstellers. Anders wäre der Zugriff vom Smartphone aus nur mit viel Aufwand zu bewerkstelligen. Denn dazu müsste im jeweiligen Haushalt ein Server laufen, der wiederum gewartet sein will, Stichwörter Sicherheitsupdates und Backup. Solche Datenlogger speziell für PV-Anlagen kann man fertig kaufen, etwa den ab 350 Euro erhältlichen Sun-Watch, der viele verschiedene Wechselrichter auslesen kann. Zudem gibt es lokale Logging-Software wie Solar-



Die Website von E3/DC zeigt alle wesentlichen Messwerte einer PV-Anlage auf einen Blick.



Fronius Solar.web zeigt alle wichtigen Daten der PV-Anlage.
Es gibt Apps für Android und iOS sowie eine Website, die gut auf Smartphone-Bildschirmen skaliert.

Huawei's FusionSolar combines performance and energy data in a single view. The English translation is not always successful: "Lebensdauer" refers to the total yield since commissioning.

In both cases, one must pay attention to compatibility with inverters and batteries, which limits the choice of components.

The operator of PV apps with cloud connection can expand it to cover the function range and protect against possible damage by checking the software functions of the connected devices. This also applies to the hardware of the involved devices.

An important criterion for selecting a system is data protection. Energy managers capture consumption data of the household very precisely and at short intervals. In the diagrams, one can see with some experience whether, for example, the vacuum cleaner, the washing machine, the oven or the toaster are running. This allows conclusions about the habits of the household members. They must trust the respective operator to store these data securely and not misuse them.

Steel and misuse protect and do not sell to third parties. Therefore, it is important to read the data protection regulations and secure the access with a strong password.

Many PV installation companies provide a diagnostic access to their installed systems. In addition, they can search for errors from afar. Inverters and batteries have special maintenance modes for technicians. These set parameters that are important for grid connection and are specified by the respective grid operator. These parameters may only be changed by technicians, so the operator of the system usually has no normal access to them.

For their actual function, PV systems do not require cloud connection; the current flows even without it. Some systems, however, use it to monitor the yield.

Optimierung zwar das lokale Netz, etwa für Modbus/TCP, brauchen aber dabei ebenfalls keine Cloud.

Ein digitaler Stromzähler (Smart Meter) mit Online-Anbindung, der jede Viertelstunde Verbrauchsdaten protokolliert, ist übrigens auch für eine PV-Anlage mit Einspeisevergütung nicht nötig, sofern sie unter 7 kW Leistung bleibt. Einen solchen Lastgangzähler kann man aber beispielsweise einbauen lassen, um Mieterstrom in einem Haus mit mehreren Wohnungsparteien abzurechnen, oder um einen dynamischen Stromtarif mit wechselnden Energiepreisen zu nutzen.

Datenflut

Die Energiemanager-Apps zeigen wesentlich mehr Daten als bloß die vom Stand der Sonne abhängige Stromproduktion des Wechselrichters, also den zeitlichen Verlauf der Leistung in Watt (W) oder Kilowatt (kW). Einerseits summieren sie Leistungswerte über die Zeit, berechnen also die resultierende Energie (Arbeit) in Kilowattstunden (kWh). Andererseits erfassen sie eine Fülle an weiteren Leistungsdaten, etwa von einer Solarbatterie, falls vorhanden: eingespeicherte und abgerufene Leistung und Energie.

Um den PV-Eigenverbrauch des Haushalts zu ermitteln, muss der Energiemanager den absoluten Verbrauch des Haushalts sowie die vom Netz bezogene Leistung messen; dafür wird in die Hausverteilung ein elektronisches Dreiphasenmessgerät eingebaut. Das tut im Prinzip dasselbe wie der vom Netzbetreiber oder Messstellenbetreiber installierte

Zweirichtungszähler, bloß dass er eben mit dem Energiemanager kommuniziert. Und diese Messwerte verrechnet er dann mit den möglichst zeit-synchron gemessenen Werten von Wechselrichter und Solarbatterie. Der aktuelle PV-Eigenverbrauch berechnet sich beispielsweise aus der Summe der von Wechselrichter und Solarbatterie gelieferten Leistung abzüglich der aus dem Netz bezogenen Leistung.

Die aktuellen Leistungswerte verändern sich rasch und sagen wenig über den Ertrag aus. Relevant sind die über die Zeit aggregierten Energie-daten für einzelne Tage, Wochen, Monate, Jahre sowie die gesamte Betriebsdauer der Anlage. Daraus lässt sich der energetische Ertrag der Anlage berechnen und somit auch die durch Eigenverbrauch eingesparten Stromkosten sowie das durch Netzeinspeisung „verdiente“ Geld. Bei manchen Apps kann man die jeweiligen Kilowattstunden-preise für ge- und verkauften Strom eintragen, sie zeigen dann gleich den finanziellen Ertrag an. Wenn sich Tarife ändern, muss man die aber auch nachpflegen, sonst führen die App-Angaben in die Irre. Am Jahresende sollte man jedenfalls die Daten aus der App mit der Stromrechnung vergleichen; kleine Abweichungen sind dabei normal. Entscheidend sind die Daten aus dem Stromzähler des Messstellenbetreibers, aber doppelt gemoppelt hält besser. Gibt es starke Abweichungen, sollte man den PV-Installateur befragen.

Sinnvoll ist auch der Vergleich des Ertrags über mehrere Jahre, zum Beispiel in Form einer Zeitreihe



Kostal Solar
kombiniert viele
Daten übersicht-
lich in einer nüch-
ternen Ansicht.

mit nebeneinanderliegenden Balken für die Monate verschiedener Jahre.

Manche Apps liefern Zusatzinformationen, etwa eine Prognose für den Ertrag am aktuellen Tag. Diese Daten stammen aus dem Internet und beziehen technische Daten der individuellen Anlage mit ein, etwa Ausrichtung, Neigungswinkel und Leistung der Solarmodule. Diese Vorhersage hilft etwa bei der Einschätzung, ob das spätere Einschalten der Waschmaschine noch lohnt oder ob ohnehin nicht viel PV-Strom zu erwarten ist.

Lerneffekte

Die PV-Apps helfen bei der Optimierung des Eigenstromverbrauchs, egal ob mit oder ohne Solarbatterie. Bei den folgenden Beispielen rechnen wir mit einem Strompreis von 30 Cent pro Kilowattstunde, denn glücklicherweise ist der Preisschock nach dem russischen Einmarsch in der Ukraine wieder vorbei. Für die Einspeisung von PV-Strom ins Netz rechnen wir mit 8 Cent. Eine PV-Kilowattstunde, die man im Haushalt selbst verbraucht und nicht ins Netz einspeist, spart also 22 Cent.

Eine aktuelle Waschmaschine braucht für einen 40-Grad-Waschgang rund 0,8 kWh; fließen die vom eigenen Dach, spart das knapp 18 Cent. Ein moderner Backofen verheizt pro Stunde rund 1 kWh, die Zeit reicht ungefähr für einen Marmorkuchen. Ersparnis: 22 Cent.

Der volle Spareffekt tritt dabei nur ein, wenn tatsächlich genug Sonnenstrom fließt. Bei Wolken, im Winter und am Abend liefern die Module vielleicht nur ein halbes Kilowatt (500 Watt), dann kommt der Rest aus dem Stromnetz oder dem Akku. Und laufen viele Verbraucher gleichzeitig, dann ziehen die maximalen Abgabekapazitäten von Wechselrichter oder Akku die Grenze. Mancher AC-gekoppelte Akku liefert höchstens 2,4 kW und ist mit Waschmaschine und Backofen parallel schon am Anschlag. Je nach System addieren sich aber die Leistungen von Akku und Wechselrichter, sofern die Sonne scheint und der Akku noch gefüllt ist.

Diese Effekte sieht man in der App und lernt mit der Zeit, die größeren Verbraucher im Haus passend zu nutzen. Oder man lässt es nach einer Weile bleiben, weil es zu mühselig ist: Um bloß 10 Euro zu sparen, muss die Waschmaschine 55 Mal zum richtigen Zeitpunkt starten.

Eine App, die auch den aktuellen Verbrauch des gesamten Haushalts anzeigt, kann heimliche Stromfresser enttarnen. Das hat zwar nichts mit der Opti-



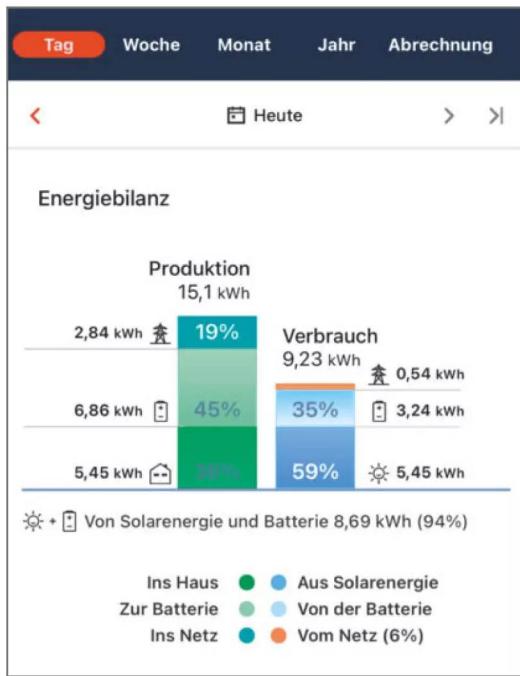
Die App SMA Energy teilt die Messdaten auf; sie lassen sich visuell gut erfassen.

mierung des PV-Eigenverbrauchs zu tun, kann die Stromkosten aber ebenfalls senken. Im manchen Fällen bringt es womöglich mehr, sparsamere Haushaltsgeräte zu kaufen als einen teuren Akkuspeicher, der im Grunde unnötige Stromkosten senkt. Das ist auch ökologisch sinnvoller.

Blick auf die Apps

Wir befragten einige Kollegen aus den Heise-Redaktionen nach den Erfahrungen mit ihren jeweiligen PV-Apps. Sie lieferten Antworten zu Wechselrichtern der Firmen E3/DC (Hager), Fronius, Huawei, Kostal, SolarEdge, zur Speicherbatterie Tesla Powerwall 2 sowie zu separaten PV-Energiemanagern von SMA und Solarwatt.

Alle Apps zeigen die aktuelle PV-Produktion, sowie in Verbindung mit einem Stromzähler in der



Die App mySolarEdge für SolarEdge-Wechselrichter zeigt die Energiebilanz pro Tag, Woche, Monat oder Jahr übersichtlich als Diagramm mit gestapelten Säulen an.

Elektroverteilung auch den Verbrauch des Haushalts, den Netzbezug respektive die Einspeisung. Gehört ein Batteriespeicher zur Anlage, dann zeigen alle auch die Be- und Entladung in Watt oder Kilowatt an sowie den Füllstand in Kilowattstunden und Prozent.

Große Unterschiede gibt es in der Art der Darstellung: Manche Firmen verteilen die Daten auf mehrere Bildschirmseiten, andere packen möglichst viele in ein gemeinsames Diagramm. Umkonfigurieren lassen sich meistens nur einzelne Aspekte davon.

Die meisten Wechselrichter und Energiemanager lassen sich auch per Website oder „Portal“ überwachen, man muss also keine App installieren und kann etwa vom Büro-PC aus nach dem Heimkraftwerk schauen. Doch die Präsentation der Daten kann sich zwischen App und Website deutlich unterscheiden, so verwendet etwa Solarwatt für manche Kurven unterschiedliche Farben, die sich auch nicht ändern lassen. Bei der Tesla Powerwall 2 geht es aus der Ferne nur per App, die Weboberfläche der Speicherbatterie ist nur im lokalen Netz zugänglich.

Für die Funktionskontrolle hilfreich ist ein Diagramm, das die monatliche Produktion der letzten Jahre vergleicht. Unterscheiden sich die Verläufe sehr stark oder fallen in jüngerer Zeit ab, deutet das auf Pannen hin.

Einige Geräte sind deutlich kommunikationsfreudiger als andere. Der Energiemanager von SMA kann etwa DECT-Funksteckdosen von AVM via Fritzbox steuern sowie Shelly-Geräte. Letztere steuert auch der Energymanager von Solarwatt. E3/DC wiederum beherrscht den Heimvernetzungsstandard KNX.

Nervereien

Die Systeme der Kollegen liefen seit bis zu vier Jahren. Die meisten Kollegen waren recht zufrieden, obwohl durchaus Störungen auftraten, etwa durch Systemumstellungen bei den Anbietern. Und einige Kollegen wünschten sich Zusatzfunktionen, die nicht oder nur gegen Aufpreis realisierbar wären. Manche waren von ihren jeweiligen PV-Installationsbetrieben generiert. Eine Firma weigerte sich beispielsweise, die Ansteuerung für eine anderswo gekaufte Wallbox freizuschalten. Man kenne das Fabrikat nicht und dazu sei ein Energiemanager eines anderen Typs nötig. Das zur Umkonfiguration des vorhandenen Energiemanagers nötige Passwort wollte der Betrieb nicht herausgeben.

Beim anderen Kollegen wollte der Installateur unbedingt für 50 Euro Aufpreis einen WLAN-Adapter installieren, weil er das wohl in der Schulung des Anlagenherstellers so gelernt hatte. Mit der Konfiguration des vorhandenen LAN-Ports kannte er sich nicht aus.

Manche Kollegen wünschten sich zusätzliche Steuerungsmöglichkeiten, waren sich aber auch nicht sicher, ob sich diese überhaupt mit der vorhandenen Technik oder bezahlbaren Adapters nachrüsten ließen. In einem Fall empfahl der Installationsbetrieb dazu den Einbau eines mehrere Hundert Euro teuren Energiemanagers, vermutlich wie im vorgenannten Fall, weil man sich mit dem anderen System nicht auskannte. Letztlich lassen sich solche Ärgernisse nur vermeiden, indem man bei der Projektierung der Anlage sehr genau hinschaut oder selbst die Datenblätter und Installationsanleitungen studiert.

Ein erhebliches Risiko liegt darin, dass der Amortisationszeitraum vieler PV-Anlagen sehr lange dauert, aber im Verlauf der Jahre der eine oder andere Gerätehersteller vielleicht vom Markt verschwindet. Dann gibt es möglicherweise keine Ersatzteile oder Updates mehr oder der Clouddienst für die Über-

Modbus für die Photovoltaik-Steuerung

Das Modbus-Protokoll für Industriesteuerungen hat schon mehr als 40 Jahre auf dem Buckel. Es ist ein sogenannter Feldbus, den der offene Standard IEC 61158 beschreibt. Speziell für den Einsatz in der Photovoltaik legt das Industriegremium SunSpec Alliance fest, wie verteilte Geräte miteinander kommunizieren sollten (SunSpec Modbus). Dabei nutzen Wechselrichter, Solarbatterien und Leistungsmanager die physischen Modbus-Varianten Modbus RTU oder Modbus/TCP. Modbus RTU läuft bei PV-Geräten über die serielle Schnittstelle RS-485 (EIA-485) mit zwei Leitungen. Modbus/TCP nutzt hingegen Ethernet (LAN) oder WLAN, standardmäßig auf Port 502. Bezahlbare Adapter (Dongles) setzen Modbus RTU um auf Modbus/TCP.

Für die Kommunikation im Haus verteilter PV-Geräte ist Modbus/TCP sehr praktisch:

Man koppelt einfach jedes einzelne Gerät per LAN oder WLAN mit dem vorhandenen (DSL-)Router. Dann spricht der Wechselrichter im Keller mit der Solarbatterie in der Garage sowie dem Leistungsmanager in der Elektroverteilung, ohne dass man separate Kabel verlegen muss. Latenz und Geschwindigkeit typischer Heimnetze reichen für die PV-Regelung völlig aus. Doch das Netz muss dann auch laufen, wenn sich die Solarbatterie füllen soll. Anders ausgedrückt: Ein Ausfall des Routers stört auch die Kommunikation der verschiedenen PV-Geräte. Befinden sich letztere dicht beieinander oder sogar im selben Raum, dann kommt auch Modbus RTU zum Einsatz. Viele Wärmepumpen wollen das Signal zum Anlaufen per Smart Grid Ready (SG Ready) bekommen, das sich per Adapter (etwa von Shelly) auch via Modbus/TCP senden lässt.

wachung wird abgeschaltet. In vielen Fällen dürfte sich das für einige Hundert Euro durch die Umrüstung der Anlage auf einen anderen Energiemanager beheben lassen. Es ist jedenfalls ratsam, möglichst etablierte Hersteller und solide Installationsbetriebe zu wählen, die mehrere Jahre Erfahrung vorweisen können.

Sonnige Tage

Wenn die Sonne lacht, freuen sich Photovoltaik-Betreiber: Die Kasse klingelt. Doch mühsam nährt sich das Eichhörnchen, weil jeden Tag höchstens Kleingeld hereinkommt, und das auch nur, wenn sich keine Wolken türmen. Die vielen Tausend Euro



Heft + PDF mit 26 % Rabatt

Jetzt gibt's eine aufs Dach!

Heft für 19,90 € • PDF für 16,90 €
Bundle Heft + PDF 26,90 €



shop.heise.de/ct-solarstromguide23

Generell portofreie Lieferung für Heise Medien- oder Mauer Media Zeitschriften-Abonnenten oder ab einem Einkaufswert von 20 € (innerhalb Deutschlands). Nur solange der Vorrat reicht. Preisänderungen vorbehalten.

heise shop

Apps zur Überwachung und Steuerung von Photovoltaik-(PV-)Anlagen (Wechselrichter und Batterien), Auswahl

Hersteller	E3/DC (Hager)	Fronius	Huawei	Kostal	SMA	SolarEdge	Solarwatt	Tesla
Hardware	SI0E	Symo GEN24 8.0 Plus	Sun2000-8ktl-m1	Plenticore Plus	Sunny Home Manager 2.0	SE10K-RWB48BFN4	Energymanager pro	Powerwall 2
Typ ¹	WR/DC	WR/DC	WR/DC	WR/DC	EM	WR/DC	EM	AC-Akku
Anlage hat Stromspeicher	✓	✓ (DC)	—	✓ (DC)	✓ (DC)	✓ (DC)	✓ (AC)	✓ (AC)
App iOS / Android / Website	✓/✓/✓	✓/✓/✓	✓/✓/✓	✓/✓/✓	✓/✓/✓	✓/✓/✓	✓/✓/✓	✓/✓/-
Daten in der Cloud	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Name der App oder Website	My E3/DC	Solar.web	FusionSolar App	KOSTAL Solar App	SMA Energy	mySolarEdge App	Solarwatt	Tesla
Anzeige aktueller Werte (vorwiegend Leistung)								
PV-Produktion (W)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Eigen- / Gesamtverbrauch (W)	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓
Stromnetz: Einspeisung / Entnahme (W)	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓
Batterie: Einspeisung / Entnahme (W)	✓/✓	✓/✓	(✓/✓) ²	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓
Akkufüllstand in kWh / %	✓/✓	✓/✓	(✓/✓) ²	-/✓	-/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓
PV-Tagesprognose (Wh)	✓	— ³	—	— ³	✓	—	✓	—
Auswertungen Tag/Woche/Monat/Jahr (Energie/Kosten):								
PV-Produktion (Wh)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Eigen- / Gesamtverbrauch (Wh)	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓
Stromnetz: Einspeisung / Entnahme (W)	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓
Batterie: Einspeisung / Entnahme (Wh)	✓/✓	✓/✓	(✓/✓) ²	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓
Grad der Autarkie (%)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—
Kostenersparnis in Euro	—	✓	✓	✓	✓	—	✓	—
gesammelte Daten herunterladbar	✓	✓	✓ ⁴	✓ ⁴	✓	✓	✓	—
Steuerungs-/Schaltfunktionen								
Wärmepumpe / Wallbox möglich	✓/✓	(- / ✓) ²	-/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	-/-
andere kompatible Verbraucher	✓	(-) ²	—	✓	✓	✓	✓	—
weitere Benutzer für App möglich (außer Installateur)	—	—	—	✓	✓	—	—	✓

¹WR = Wechselrichter, WR/DC = WR mit DC-Akku, AC-Akku = Akku mit AC-Kopplung, EM = Energiemanager ² war nicht angeschlossen ³ nur Pro-Version, Basis zeigt jedoch Wettervorhersage an
⁴ mit Berechtigung als Installateur

für eine größere PV-Anlage amortisieren sich deshalb erst nach mehreren Jahren. Umso wichtiger ist es, ab und zu nach dem Rechten zu sehen. Dabei helfen die PV-Apps.

Für den prüfenden Blick liefern alle Apps ausreichende Informationen. Wichtig ist der Abgleich mit der jährlichen Stromrechnung. Die Apps helfen aber auch, den optimalen Zeitpunkt für den Betrieb häuslicher Stromfresser zu finden.

Komplizierter ist es, den PV-Eigenverbrauch durch automatisierte Steuerung größerer Verbraucher zu optimieren. Hier bringen Apps Vorteile, die die Betriebszustände von Wärmepumpe, Wallbox oder Heizstab auf derselben Oberfläche darstellen wie die von Wechselrichter und Akkuspeicher. Im Ideal-

fall lässt sich die Optimierungsstrategie direkt in derselben App anpassen. Letzteres klappt oft nur mit einer kleinen Auswahl kompatibler Geräte. Das Nachrüsten über Adapter kostet rasch einige Hundert Euro. Daher muss man schon beim Kauf auf Funktionsumfang und Kompatibilität der App achten.

PV-Überwachung ist auch ohne Cloud möglich, falls man entweder einen diesbezüglich kompetenten Installateur findet, selbst einen lokalen Logger installiert oder einen eigenen Server dafür einrichtet. Mindestens zwei Kollegen hatten das eigentlich vor, setzten das bisher aber nicht um. Meistens läuft es dann doch auf die Apps der PV-Gerätehersteller heraus, und bei denen lohnt sich ein genauer Vergleich. (ciw) **ct**



 heise academy

Für erfolgreiche IT-Teams von morgen

Weiterbildung als Erfolgsstrategie

Professionelle IT-Weiterbildung für Unternehmen – das bietet die heise academy. Als Tochter der heise group haben wir es uns zur Aufgabe gemacht, Unternehmen und ihre IT-Professionals mit digitaler Weiterbildung voranzubringen, Qualifikationslücken zu schließen und internes Lernen zu fördern.

Ihre Zukunft, unser Plan

- Sofort einsetzbare Lernumgebung
- Vier verschiedene Lernformate – digital und vor Ort
- Große Auswahl an aktuellen IT-Themen
- Individuelle Lizenzen für Ihr Team
- Onboarding & persönliche Betreuung durch unser Sales Team



Jetzt academy Pass 7 Tage kostenlos testen:

heise-academy.de/Fuer-erfolgreiche-IT-Teams-von-morgen



OpenDTUs für Balkonkraftwerke

Das Open-Source-Softwareprojekt OpenDTU kann die Ertragsdaten von Hoymiles-Mikrowechselrichtern der HM-, HMS- und HMT-Serien auslesen – ganz ohne Cloud und teure Bridges. Mittlerweile gibt es fertige Hardware dafür bei Amazon & Co. Wir testen, ob sie taugt.

Von **Andrijan Möcker**

Eine dank der Sonne gesunkene Stromrechnung zu sehen, ist schön. Doch so richtig Spaß macht das neue Balkonkraftwerk erst, wenn man den Sonnertrag live beobachten kann. Viele Hersteller bauen dafür eine per Funk abgefragte Ertragsüberwachung direkt in die Mikrowechsel-

richter ein. Wer sich für einen Mikrowechselrichter der Firma Hoymiles entschieden hat, könnte den Eindruck gewinnen, dass dafür eine teure „Data Transfer Unit“ oder kurz DTU genannte Bridge des Herstellers nötig sei: Kleinere Installationen deckt Hoymiles mit einem 50 Euro teuren Stick ab. Packt

einen die PV-Sucht, locken die HMT- und HMS-Wechselrichterserien; die Bridge dafür kostet über 200 Euro.

Dank ehrenamtlicher Entwickler gibt es jedoch das Softwareprojekt OpenDTU als vergleichsweise günstige Alternative: Die Entwickler haben Hoymiles' Funkprotokoll auseinandergenommen und eine herstellerunabhängige und cloudfreie Firmware gestrickt. Anfangs unterstützte OpenDTU ausschließlich die HM-Serie, mittlerweile versteht sie sich auch mit den HMT- und HMS-Serien. Gegenüber der Hersteller-Bridge kann man deshalb mit OpenDTU richtig Geld sparen. Ausgenommen ist lediglich die neue HMS-Serie mit „W“ in der Modellbezeichnung; das steht nicht für „Watt“, sondern für integriertes WLAN.

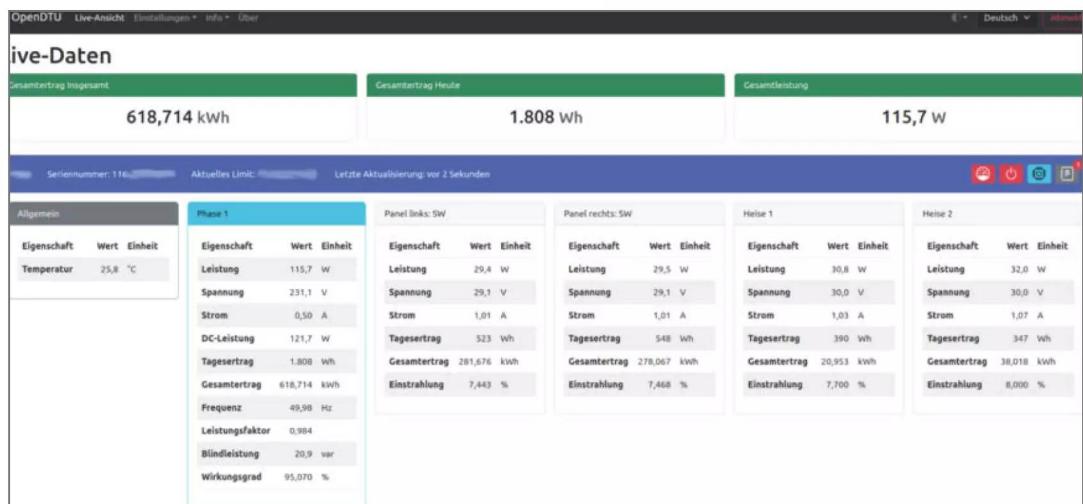
OpenDTU läuft auf dem günstigen, gut erhältlichen WLAN-Mikrocontroller ESP32 und nutzt separate Modems, um mit den Wechselrichtern zu kommunizieren. Eigentlich ist OpenDTU ein Bastelprojekt. Doch durch die wachsende Beliebtheit von Balkonkraftwerken haben mehrere Unternehmer das Potenzial fertiger OpenDTU-Geräte erkannt: Mit und ohne Display, für die HM-Serie, für HMS-/HMT-Geräte oder für alle drei – die Auswahl ist mittlerweile groß. Wir haben sechs Stück im Netz bestellt und uns angesehen. Doch zuerst folgt ein kleiner Exkurs für die, die OpenDTU noch nicht kennen.

Das kann OpenDTU

Während OpenDTU dieselben Daten aus den Wechselrichtern ausliest wie die Bridges des Herstellers, ist der Funktionsumfang darüber hinaus anders. Eine App und eine Website mit schicken Diagrammen und Ertragsdaten über Monate bietet OpenDTU nicht.

Einmal ins heimische WLAN eingebucht, liefert die Firmware ein einfaches Webinterface ähnlich dem eines Routers, das man über die IP-Adresse im Browser aufruft. Das Webinterface präsentiert die Ertragsdaten der ausgelesenen Wechselrichter live und in Zahlen: Momentanleistung in Watt, den Ertrag des aktuellen Tages in Wattstunden und die Energie, die der Wechselrichter über seine gesamte Lebenszeit erzeugt hat, in Kilowattstunden. Diese Werte sowie Spannungen und Ströme zeigt OpenDTU auch noch einmal für jeden Eingang des Wechselrichters an – praktisch, um defekte Panels zu erkennen. Fragt die OpenDTU-Instanz mehrere Wechselrichter ab – bis zu zehn sind möglich –, betrachtet sie alle als eine Anlage und zeigt die Erträge auch kumuliert an.

Außerdem kann die Firmware Fehlermeldungen auslesen, die wechselspannungsseitige Ausgangsleistung temporär (bis Tagesende) sowie permanent



Das Webinterface von OpenDTU gibt alle wichtigen technischen Details der bis zu zehn abgefragten Wechselrichter aus. Grafische Fähigkeiten besitzt die Firmware zwar nicht, dank MQTT ist das aber leicht mit anderen Tools umzusetzen.



Die Dashboard-Software Grafana kann insbesondere numerische Daten vielfältig darstellen. Diese Liniendiagramme visualisieren die Leistung einer Photovoltaikanlage sowie den Import und Export am Stromzähler des Haushalts.

drosseln und dem Wechselrichter befehlen, neu zu starten oder ganz abzuschalten.

Der Grund für diesen relativ rudimentären Funktionsumfang ist der ESP32 und dessen Speicher ausstattung. Er besitzt lediglich einige hundert Kilobyte RAM und wenige Megabyte Speicher – ein Mikrocontroller eben. Da er aber auch nichts außer der Konfiguration permanent speichert, ist das kein Problem.

Wege nach draußen

Wollen Sie die Messwerte langfristig speichern und visualisieren, müssen andere Anwendungen übernehmen. OpenDTU ist jedoch gut dafür gerüstet, Messwerte übers Netzwerk weiterzugeben: Es besitzt eine HTTP-Anwendungsschnittstelle und spricht das Telemetrieprotokoll MQTT [1]. Beide Wege liefern dieselben technischen Details wie das Webinterface.

Nutzt man etwa die Vermittlersoftware Telegraf, um die per MQTT ankommen Daten in eine Influx-Datenbank zu schreiben, kann Grafana daraus schicke Diagramme und informative Dashboards

zeichnen. Alle drei sind kostenfrei und laufen auch auf jedem halbwegen aktuellen Raspberry Pi oder vergleichbaren Einplatinencomputern. Etwas grundlegender, aber dafür einfacher klappt das Bauen von Dashboards mit der Flussdiagrammsoftware Node Red [2, 3].

Da man sich um das alles selber kümmern muss, bietet OpenDTU deutlich weniger Komfort als die Bridges und Dienste des Herstellers. Das Wälzen digitaler Dokumentationen und steile Lernkurven beim Einrichten von Grafana & Co. bleiben einem dabei nicht erspart. Gleichzeitig erzielt man aber vollständige Unabhängigkeit vom Hersteller, was mit Blick auf die avisierten Lebenszeiten der Wechselrichter ein großer Vorteil ist: Selbst wenn Hoy miles und die zugehörige Cloud durch unglückliche Umstände in fünf oder zehn Jahren nicht mehr existieren, funktioniert OpenDTU weiterhin.

Eine Frage des Modems

Wer nun Lust auf cloudlose Ertragsüberwachung hat und sich eine fertige OpenDTU-Box zulegen



Feuchtraum-DTU

Diese DTU vom eBay-Nutzer waldy83 ist zweifels-ohne die liebloseste in unserer Auswahl. Sie sitzt in einer Feuchtraum-Abzweigdose (IP54) aus dem Elektroinstallationsbedarf. Sowohl die USB-Stromversorgung als auch die Antenne sind ohne weitere Befestigung durch die gummierten Öffnungen gesteckt. Gerade die Antenne sitzt dadurch sehr wabbelig im Gehäuse. Diese Konstruktion will man höchstens irgendwo in der Garage oder in der Gartenhütte hinter dem Schrank verstecken und dann darauf hoffen, dass Fernupdates fehlerfrei laufen, sodass man sie möglichst selten sehen muss.

Für 28 Euro hätte der Hersteller wenigstens zwei Kabelverschraubungen spendieren können, damit Antenne und USB-Anschluss fest im Gehäuse sitzen. Lediglich die externe Antenne verbleibt als Vorteil, den man in dieser Preisklasse meist nicht findet.

- ➡ lieblose Gehäusewahl
- ➡ wackelige Konstruktion
- ➡ teuer fürs Gebotene

Preis: 28 Euro



Diamex DX-DTU (HM)

Das Gesamtpaket der beiden Diamex DX-DTUs überzeugte uns von allen am meisten. Beide kamen mit einer Anleitung in der Tüte, die gerade für Einsteiger wertvolle Infos parat hat. Sie enthält nicht nur einen Leitfaden zur OpenDTU-Einrichtung, sondern auch einen zum Flashen des ESP32, sollte etwas mal nicht klappen.

Wer einen inneren Monk besitzt, muss bei der HM-Variante jedoch stark sein: Weil das NordicRF-Modul einen aufgelötzten Antennenanschluss hat, sitzt die linke Antenne ein Stück tiefer als die rechte, die an einem SMA-U.FL-Pigtail mit Mutter angeschlossen ist, das zum ESP32 führt.

Dieses Manko schaut sich jedoch im Alltag schnell weg – gerade, wenn man die Antennen anwinkelt. Praktisch sind auch die Schraublöcher an der Seite; weil die Display-Rotation in den OpenDTU-Einstellungen änderbar ist, kann man das Gehäuse in beliebiger Orientierung befestigen.

- ➡ Wandhalterung
- ➡ gute Anleitung
- ➡ ungleich lange Antennen

Preis: 49,90 Euro

möchte, muss nur einige wenige Infos im Hinterkopf haben, um die richtige Wahl zu treffen: Alle angebotenen Geräte sind softwareseitig gleich und die eingesetzte Hardware ähnlich. Es gibt nur eine Variante der Firmware und da OpenDTU nur auf dem ESP32 läuft, existieren auch keine Leistungsunterschiede.

Ein entscheidendes Detail sind die eingebauten Modems: Hoymiles' HM-Serie nutzt ein NordicRF nRF24L01+ auf 2,4 GHz und die Serien HMT und HMS ein Cmostek CMT2300A auf 868 MHz. Kauft man die falsche Variante, können OpenDTU-Gerät und Wechselrichter nicht miteinander sprechen. Händler geben den Modemtyp und die kompatiblen Wechselrichter



Diamex DX-DTU (HMS/HMT)

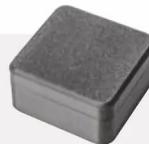
Sowohl Gehäuse als auch Hardware der beiden Diamex DX-DTUs nehmen sich wenig: Die 3D-Druck-Qualität von beiden ist gut und das Design durchdacht.

Eine Kleinigkeit entdeckten wir trotzdem: Die HMS-/HMT-Variante von Diamex hat das Antennen-Manko der HM-Serie zwar nicht, beim ersten Einschalten fiel uns jedoch auf, dass das Display schief sitzt. Der Blick ins Innere offenbarte den Grund: Das 3D-Druck-Teil, das das Display hält, ist verzogen – für uns ebenso verkraftbar.

Beide Geräte sind mit Blick auf die Kleinserie angemessen bepreist und werden – von den kleinen Mankos abgesehen – unseren Qualitätsansprüchen gerecht.

- ⬆️ sichtbare Status-LEDs
- ⬆️ gute 3D-Druck-Qualität
- ⬇️ Display leicht schief eingebaut

Preis: 54,90 Euro



AllianceApps OpenDTU Fusion

Die AllianceApps OpenDTU Fusion ist die optimale Wahl für alle, die eine schlichte, unauffällige DTU, aber trotzdem beide Modems auf einer Platine haben wollen. Für 29,99 Euro bekommt man das 6 × 6,2 Zentimeter große Gehäuse mit OpenDTU-Fusion-Platine. Das Gehäuse unseres Testgeräts zeigte an einigen Stellen Spuren eines nicht hundertprozentig justierten 3D-Druckers, aber da das Gerät sowieso unauffällig ist, meckern wir da auf hohem Niveau.

Gerade wer noch nicht weiß, ob er sein OpenDTU-Setup später erweitern will, macht mit dem Gerät von AllianceApps nichts falsch: Die eingesetzte Fusion-Platine ist mit allen Anschlussleisten bestückt, die man für Displays so benötigt. Genügt die Reichweite der internen Klebeantennen nicht, kann man diese einfach tauschen; alle Antennen sind per U.FL-Verbinder angeschlossen. Das Gehäuse hat genug Luft, um Löcher für SMA-Buchsen zu bohren und externe Antennen anzuschrauben.

- ⬆️ kompaktes Design
- ⬆️ beide Modems an Bord
- ⬇️ 3D-Druck könnte schöner sein

Preis: 29,99 Euro

meist in der Beschreibung an, sodass man nur genau lesen muss. Wie zuvor erwähnt: Die neue HMS-Serie mit WLAN – wie das W in der Modellbezeichnung angibt – ist nicht mit OpenDTU kompatibel.

Einen Zwang, sich für eine Variante zu entscheiden, gibt es nicht: OpenDTU kann auch beide Modems simultan bedienen und somit alle drei Wechselrichterserien gleichzeitig abfrühstückten. Der

Entwickler Markus Krause hat zu diesem Zweck eine Platine namens OpenDTU Fusion designt, die einen ESP32, beide Modems, Antennenanschlüsse, Pins für Displays und Weiteres vereint. Die OpenDTU Fusion ist vom OpenDTU-Projekt anerkannt und beliebt. Im OpenDTU-GitHub-Repository (Link via ct.de/wxuw) steht eine Konfigurationsdatei zur Verfügung; erfordert ein größeres Update mal eine Neuinstal-



PV-Strom OpenDTU

Einen formschönen und hochwertigen 3D-Druck liefert der eBay-Nutzer PV-Strom. Lediglich die Antenne stört das Design etwas; so hoch wie das Gehäuse ist, hätte sie auch problemlos im Inneren Platz finden können. Zumal das Gerät für die HMS- und HMT-Serien ist und somit auf 868 MHz arbeitet, also etwas bessere Durchdringungstiefe hat.

Die über Schienen eingeschobene Platine lässt sich leicht entnehmen, nachdem man die gesteckte Rückseite abgenommen hat. Der ESP32 ist nicht festgelötet wie bei den meisten anderen Kandidaten, sondern ein typisches Entwicklerplatinchen, das auf die Platine gesetzt ist. Sollte der Mikrocontroller eines Tages das Zeitliche segnen, fällt das Austauschen leicht. Gleiches gilt für das mit Jumper-Kabeln verbundene Display.

⊕ **werkzeugfrei zu zerlegen**

⊕ **schönes Gehäusedesign**

⊕ **geringe Standfestigkeit**

Preis: 64 Euro



3PrintD Solution OpenDTU Fusion ePaper

Die DTU von 3PrintD Solution ist die größte und teuerste unserer Auswahl. Dafür bekommt man aber auch Einiges: Im Inneren sitzt die Fusion-Platine mit Modems für beide Frequenzbänder.

Das 3,9-cm-ePaper-Display auf der Vorderseite wird von OpenDTU noch nicht unterstützt. Die Frage des eBay-Verkäufers, ob wir mit der Beta einverstanden wären, ist uns durchgerutscht, und so installierte dieser die Alternative AhoyDTU. Das Display macht zwar einen guten ersten Eindruck, AhoyDTU rebootet jedoch alle 15 Sekunden, sobald man die Pins des ePaper-Displays einstellt.

Eine offizielle OpenDTU-Beta-Variante konnten wir nicht entdecken und die Code-Änderung für das Display scheint der Entwickler noch nicht abgenickt zu haben. Bleibt nur, OpenDTU auf eigene Faust selbst zu kompilieren oder zu warten; OpenDTU ohne Display läuft bereits anstandslos. Den Test des ePaper-Displays reichen wir mit der offiziellen Variante nach.

⊕ **schönes Design**

⊕ **stabiler Stand auf Gummifüßen**

⊖ **ePaper-Display nicht unterstützt**

Preis: 57 Euro

lation, lädt man sie einfach hoch und OpenDTU weiß sofort über alle Komponenten Bescheid.

Gerade wenn einem weitere Flächen gehören, die sich für kleine PV-Anlagen eignen, lohnt es sich auch, die 20 bis 40 Euro mehr für eine Doppelmodemplatine auszugeben. Erfahrungsgemäß platzen nach der ersten selbstgebauten Anlage einige gedankliche Knoten und man bekommt Lust auf mehr.

Auswahl

Für unsere Testgeräteauswahl haben wir uns etwas auf typischen Handelsportalen wie eBay und Amazon umgesehen. Da es sich bei den aktuellen Herstellern um Kleinserienfertiger handelt, spielt sich der Verkauf hauptsächlich auf diesen Plattformen ab.

Betriebsbereite OpenDTUs

Modell	Feuchtraum-DTU	DX-DTU (HM)	DX-DTU (HMS/HMT)	OpenDTU Fusion	OpenDTU	OpenDTU Fusion ePaper
Hersteller	waldy83	Diamex	Diamex	AllianceApps	PV-Strom	3PrintD Solution
Firmware-Version ¹	v23.8.28	v23.8.28	v23.8.28	84e947e	v23.8.28	AhoyDTU 0.7.46
Hardware						
Spannungsversorgung ²	USB-C	USB-C	USB-C	USB-C, Schraubklemme	USB-C	USB-C, Schraubklemme
Antennenanschlüsse	SMA (Modem)	2 × SMA (Modem, WLAN)	SMA (Modem), SMA (WLAN)	–	SMA (Modem)	2 × SMA (nRF-Modem, WLAN), RP-SMA (CMT-Modem)
Kompatible Serie(n)	HM	HM	HMS, HMT	HM, HMS, HMT	HMS, HMT	HM, HMS, HMT
Display	–	OLED (2,5 cm)	OLED (2,5 cm)	–	OLED (3 cm)	ePaper (3,9 cm)
Maße (B × H × T) ³	8,7 cm × 3,8 cm × 21,3 cm	10,1 cm × 2,5 cm × 18,3 cm	10,1 cm × 2,5 cm × 18,3 cm	6,2 cm × 3,2 cm × 6 cm	8,4 cm × 10,7 cm × 8,9 cm	8,1 cm × 15,3 cm × 11,2 cm
Messwerte						
Leistungsaufnahme ⁴	0,8 W	0,9 W	0,9 W	1,1 W	1 W	0,9 W
jährliche Stromkosten ⁵	2,80 €	3,15 €	3,15 €	3,85 €	3,50 €	3,15 €
Bewertung						
Design	⊖⊖	⊕	⊕	⊕	⊕⊕	⊕⊕
Qualität	⊖⊖	⊕⊕	⊕⊕	⊕	⊕	⊕⊕
Display	–	⊕	○	–	⊕	⊕
Preis	28 €	49,90 €	54,90 €	29,99 €	64 €	57 €

¹ mitgeliefert ² immer 5 Volt ³ mit Antennen ⁴ USB-seitig, je ein Wechselrichter pro Modem abgefragt, 5-Sekunden-Intervall, ggf. Display an

⁵ bei 40 ct/kWh, Netzeilverlust nicht eingerechnet

✓ vorhanden – nicht vorhanden ⊕⊕ sehr gut ⊕ gut ○ zufriedenstellend ⊖ schlecht ⊖⊖ sehr schlecht

Das untere Ende der Fahnenstange ist die Konstruktion des eBay-Nutzers waldy83, der für 28 Euro ESP und Modem mit Jumper-Kabeln zusammensteckt und in einer Feuchtraumdose verpackt, aus der die Antenne dann wackelig herauhängt. Im selben Preissegment fanden wir bei „godmode_solar“ Geräte, die deutlich liebenvoller konstruiert sind.

Alle anderen Geräte unserer Auswahl sind zwar teurer, zeugen aber davon, dass die Verkäufer sich Mühe geben, ein ansehnliches und durchdachtes Produkt zu verkaufen. 3D-gedruckte Gehäuse sind nahezu omnipräsent, aber schick und präsentierbar – vorausgesetzt, externe Antennen stören einen nicht. Alle Verkäufer flashen OpenDTU auf den ESP, sodass der Benutzer sich darum keine Gedanken machen muss.

Weitere Details zu den Geräten und unsere abschließende Bewertung lesen Sie in den Produktkästen.

Fazit

Die getesteten OpenDTU-Geräte – die Feuchtraumdose ausgenommen – sind qualitativ in Ordnung und preislich attraktiv; über die kleinen Mängel kann man im Alltag problemlos hinwegschauen. Keines der Geräte zeigte im Test negative Ausreißer bei der Reichweite. Besonders positiv fiel uns die Firma Diamex auf, die eine Installations- und Einrichtungsanleitung mit FAQ beilegt.

OpenDTU ist ein Bastelprojekt und das gefällt nicht jedem, denn die Lernkurve dabei kann steil und frustrierend sein. Die fertigen OpenDTU-Kästchen haken an der richtigen Stelle ein und bieten allen, die keine Lust auf Basteleien haben, aber mit Software gut können, eine günstige Möglichkeit, cloudlos an die Daten der Hoymiles-Wechselrichter zu kommen und diese unkompliziert wie flexibel ins Smart-Home zu integrieren. (amo) 

Literatur

[1] Jan Mahn, Weltsprache, Das Protokoll MQTT für robusten Datenaustausch in Industrie und Hausautomation, c't 6/2018, S. 164

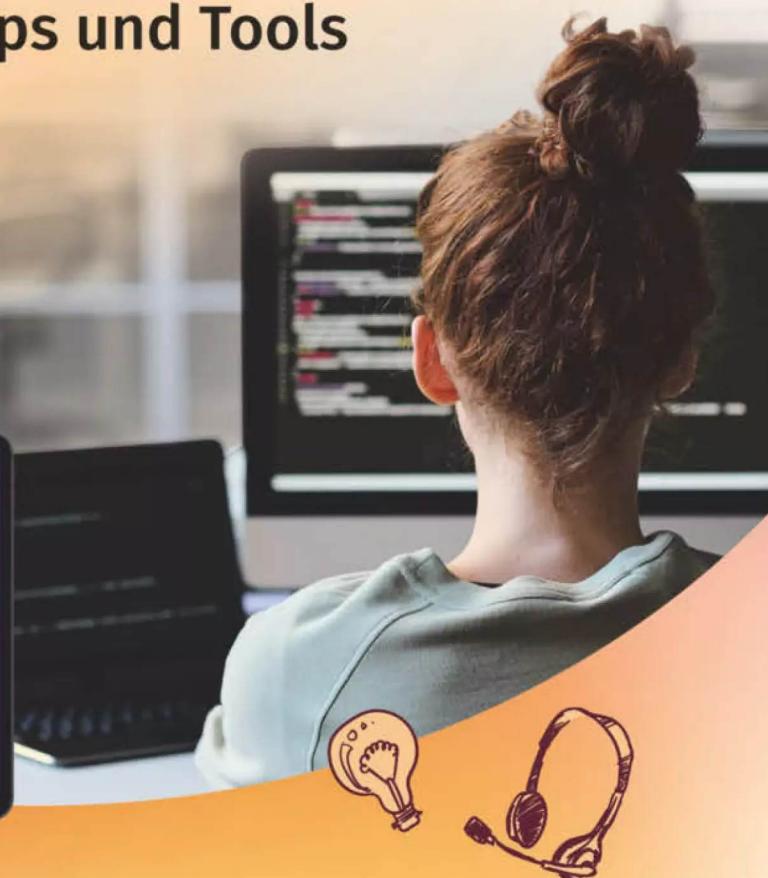
[2] Jan Mahn, Reaktionsmaschine, Einstieg in Heimautomation mit Node-Red, c't 15/2018, S. 142

[3] Andrijan Möcker, Photovoltaikausblick, Einfaches Photovoltaik-dashboard für OpenDTU, c't 3/2023, S. 168

Produktlinks,
Dokumentation
ct.de/wxuw

Für alles gerüstet!

Tests, Tipps und Tools



Das Sonderheft richtet sich vor allem an Privatnutzer, Freelancer und kleinere Unternehmen und enthält Kaufberatungen, Tests und Praxisanleitungen zu typischen Büroprogrammen, auch abseits von Microsoft Office.

- Schreiben, rechnen, präsentieren
- Online-Officepakete im Vergleich
- Schreibassistenten für Englisch im Test
- Persönliche Dokumentenverwaltung
- Auswahlkriterien für den Monitorkauf
- OLED-Displays fürs Büro und zu Hause



Heft für 14,90 € • PDF für 12,99 € • Heft + PDF 19,90 €



shop.heise.de/ct-homeoffice24





Tibber: Dynamische Strompreise im Test

Der Stromanbieter Tibber erfreut sich in Deutschland überproportionaler Beliebtheit mit dem dynamischen Stromtarif. Ein Erfahrungsbericht eines Neukunden.

Von Clemens Gleich

E ist wieder passiert, ich habe über ein Produkt so viel berichtet, dass ich mich selber zum Kauf überzeugt habe. Diesmal: Strom beim Anbieter Tibber, der stundenweise nach den Day-Ahead-Preisen der Strombörse abrechnet – entsprechende Zählhardware vorausgesetzt. Meine Erfahrungen mitsamt allerlei interessanten Erkenntnissen möchte ich in diesem Artikel mit Ihnen teilen.

Eigentlich sind für solche dynamischen Stromtarife (siehe ct.de/wz53) Smart Meter die richtige Lösung: geeichte Zähler, die den Verbrauch viertelstündlich erfassen und ihn über das Internet an den Verteilnetzbetreiber schicken, von wo aus der Stromanbieter Zugriff haben sollte.

In unserem schönen #Neuland ist die Dichte solchen informationszeitalterlichen Teufelswerks eher

gering, was nicht verwundert, wenn man sich umschaut: Kein anderes europäisches Land hängt noch so am Fax wie wir, und die beschlossene netzdienliche Notfall-Lastreduzierung (siehe ct.de/wz53) von Wallboxen oder Wärmepumpen erfolgt nicht über OCPP, sondern nach langen Expertengremiensitzungen über einen Rundsteuerempfänger. Es ist ein Wunder, dass Sie diesen Text nicht über BTX lesen müssen.

Eigenheiten mit Eigenentwicklung umgehen

Um diese technologischen Hürden zu umgehen, hat Tibber kleine Geräte namens „Pulse“ entwickelt, die digitale Stromzähler („moderne Messeinrichtung“, kurz mMe) auslesen und die Werte über das Internet schicken. Bedeutet: Sie benötigen für die dynamische Abrechnung mindestens einen Pulse-kompatiblen digitalen Zähler (diese und weitere Informationen finden Sie unter ct.de/wz53). Ein alter mechanischer Drehscheibenmesser reicht nicht für die stündliche Abrechnung; wenn Sie noch so einen haben, können Sie bei Tibber immerhin im Standardlastprofil abgerechnet werden, wobei ein Stromverbrauchsverlauf wie im durchschnittlichen Haushalt angenommen wird.

In den Niederlanden holt sich das Pulse diese Daten über einen RJ45-Stecker sehr zuverlässig und einfach aus digitalen Zählern. In Deutschland liest das Pulse die optische Schnittstelle digitaler Zähler aus. Das geht weniger zuverlässig, weniger einfach und ist ein steter Quell von Support-Anfragen in den User-Gruppen und bei Tibber selbst. Ein weiterer Quell ist der Umstand, dass sich Tibber komplett auf den Mainstream eingeschossen hat. Haushalte mit zwei Zählern, zum Beispiel für separaten Wärmestrom, fallen raus, ebenso wie Zweitarifzähler. Das bemerkt der Kunde häufig erst, wenn sein abgeschlossener Vertrag gleich wieder gekündigt wird, weil die Zählerkonstellation nicht passt.

Mit einem Zähler für alles können Sie teilnehmen; falls der Zähler digital ist, meistens auch im dynamischen Tarif. Zunächst müssen Sie dazu von Ihrem Netzbetreiber die PIN Ihres Stromzählers anfordern. Das erfolgt per Briefpost und kann etwas länger dauern. Erst mit der PIN haben Sie Zugriff auf die vollen Daten Ihres Stromzählers, darunter etwa die Tages- und Monatszähler. Die gesamte Bedienung des digitalen Stromzählers inklusive der PIN-Eingabe erfolgt über die optische Schnittstelle, für den typischen Endkunden also mit einer Taschenlampe über Blinksignale.

Für den Betrieb des Pulse müssen Sie:

- die Info-Schnittstelle des Zählers freischalten, damit sie stetig die aktuellen Leistungswerte auf der optischen Schnittstelle ausgibt
- die PIN deaktivieren (dazu brauchen Sie die PIN)

Die Bedienmenüstruktur Ihres Zählers finden Sie in dessen Handbuch, das Google nach Modelleingabe üblicherweise als PDF ausspuckt. Wenn der Zähler dauerhaft ohne PIN-Eingabe in der oberen Zeile die Zähldaten anzeigt und in der unteren die aktuellen Leistungsdaten, stimmt die Einstellung meistens und auf der optischen Schnittstelle stehen sowohl Leistung als auch Verbrauch für den Pulse.

Benutzerführung und Smart Meter

Jetzt können Sie den Pulse einrichten. Er besteht aus einer „Bridge“, die in eine Steckdose gesteckt und mit dem WLAN verbunden wird, und dem per Funk kommunizierenden Pulse-Lesegerät, das im Zählerschrank montiert wird und mit Batteriestrom läuft. Der Lesekopf haftet magnetisch auf der optischen Schnittstelle des Stromzählers.



„Moderne Messeinrichtung“ mit optischer Schnittstelle. Der Lesekopf des Pulse kann auch separat vom Gerät per Kabel angebracht werden wie hier im Bild. Auf dem Display ist „Info“ zu sehen, die Zählerdaten und die Momentanleistung.



Bild: Clemens Gleich

Die WLAN-Bridge des Pulse in einer Aufputzdose im Keller direkt neben einem Fritz-Repeater. Durch die zu große Nähe ist der WLAN-Empfang schlecht, reicht aber für die Datenmenge aus.

Angesichts der Fummelie von Zähler und Pulse muss man Tibber zugutehalten, wie umfangreich und redundant die Benutzerdokumentation ausfällt. Praktisch jede Frage, die in den Foren anfällt zu „warum ist das so?“ oder „wie geht das?“ wird dort beantwortet, deshalb lohnt es sich, im Zweifelsfall ans RTFM-Prinzip zu denken. Für Tüftler-Hausnetze interessant: Die Bridge des Pulse kann dauerhaft die Stromdaten über einen Webserver bereitstellen. Eine Anleitung nebst Integration für den Home Assistant

gibt es auf Github (siehe ct.de/wz53). Alternativ bietet Tibber auch einen Zugriff auf die eigene API an.

Tibber treibt zusammen mit anderen Anbietern dynamischer Tarife beim Thema Smart-Meter-Roll-out, doch diese Geräte haben für Endkunden zunächst keine Vorteile gegenüber dem Pulse: Ein Smart Meter in Deutschland schickt einmal am Tag die akkumulierten Viertelstunden-Verbrauchsdaten an den Verteilnetzbetreiber. Um im Haus auf dessen Echtzeit-Daten zuzugreifen, müssten Sie jedoch deutlich mehr Fummellimbo tanzen als für die optische Datenschnittstelle mit dem Pulse – vor allem aufgrund der zur Sicherheit verwendeten, verschlüsselten Kommunikation.

Selbst mit Smart Meter käme also aus Gründen der Einfachheit oft eine Echtzeit-Datenerfassung über einen Pulse (oder einen Poweropti) zum Einsatz. Tibber hat für mich als Neukunden gleich bei meinem Netzbetreiber NetzeBW angefragt, ob mein Haus für ein Smart Meter in Betracht kommt. Kommt es, kostet 116 Euro. Wenn ich allerdings warte, bis ich ab 2025 per Pflicht dran bin, kostet der Einbau mich null Euro, also warte ich. Aufgrund der Wärmepumpenheizung im großen Haus falle ich in die Smart-Meter-Pflicht, die ab 6000 kWh/Jahr greift und meine PV-Anlage überschreitet die 7 kW Nennleistung, ab der die Pflicht gilt, ebenfalls knapp.

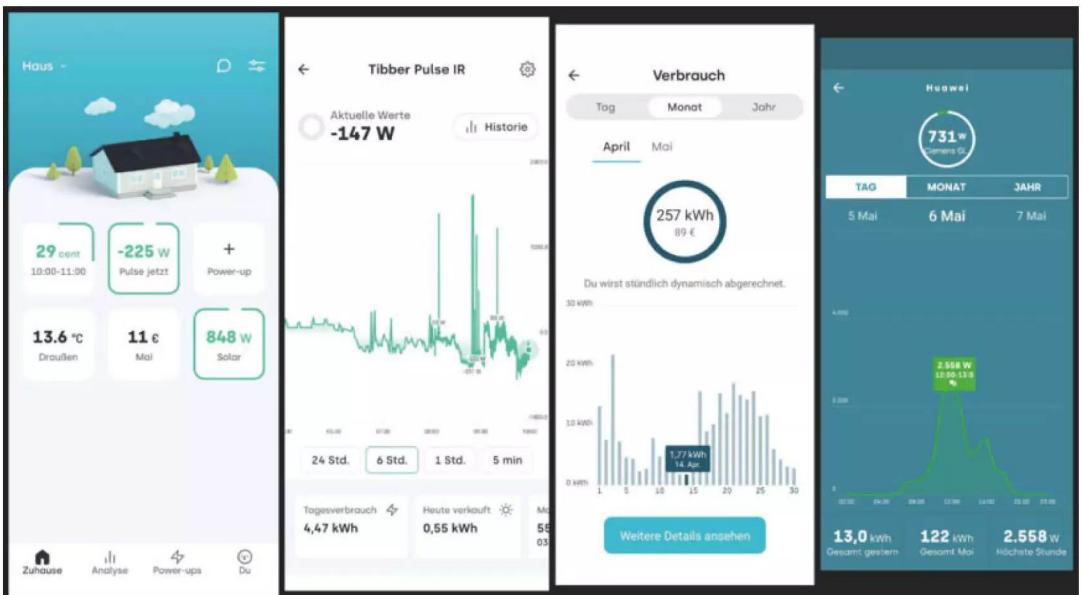


Bild: Tibber

Links die Hauptansicht der App mit dem Powerup-Modulen, rechts davon die sehr hilfreiche Momentanleistungsanzeige. Daneben das Tagesprofil für den April. Man sieht am 3. April Ragout kochen für Gäste und die Frostperiode, in der die Heizung lief. Rechts die in dieser Form eher nutzlose Leistungskurve des Wechselrichters.

Startup-Artefakte

Über den vorigen Winter protokollierte ich die Strompreise, weil wir im Winter aufgrund der Heizung den meisten Strom beziehen. Das sah mir gut aus, wobei ich mir bewusst bin, dass die Wetterbedingungen mit viel Wind und wenig Kälte günstig waren und es teurere Winter geben wird. Der Ausbau volatiler Erzeugung schreitet allerdings voran, genauso wie die Erderwärmung, was für die Konstellation Wärme-pumpe-Heizung mit dynamischem Stromtarif langfristig Vorteile hat.

Ich nahm mir obendrein die Zeit und installierte das Pulse-System ein paar Wochen, bevor Tibber mein Stromanbieter wurde. Dann konnte ich schon die App ausprobieren. Einige Einschränkung ohne Stromvertrag: Die Verbrauchsdaten stehen nur 24 Stunden im Speicher der App. Die App arbeitet mit Modulen (genannt „Powerups“), die man sich auf der Home-Oberfläche anordnet. Außer Echtzeitverbrauch, Strompreise nach Stunden und Temperatur habe ich dort noch meinen Huawei-Wechselrichter integriert. Er wird bei Tibber unter den experimentellen Plugins geführt und ist mit seinen nur stündlichen Leistungs-Updates keine wirkliche Hilfe beim Strom Managen. Daher „experimentell“ vielleicht.

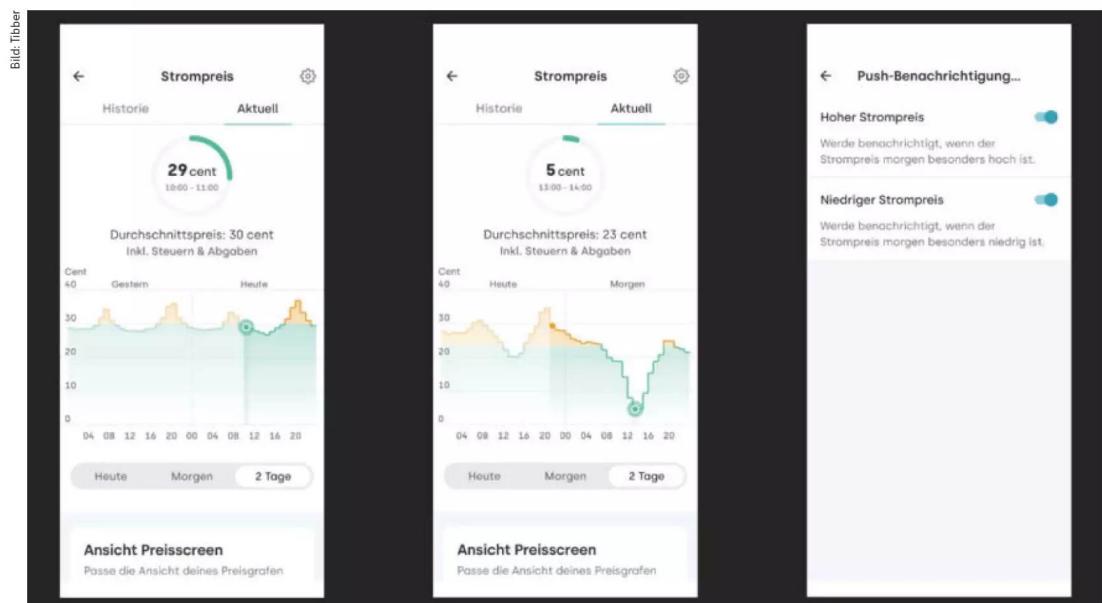
Die Kernfunktionen können jedoch auch immer mal wieder hängen, meistens geht alles spätestens

am nächsten Tag wieder. Während Ausfällen wird das Standardlastprofil zur Abrechnung angenommen. Für mich ist Stromkauf eine statistische Tätigkeit, kleine Ausreißer sind egal, solange es im Großen und Ganzen geht. Wer wirklich rechtssicher Strom nach Stunden beziehen will, kann das nicht mit einem kleinen WLAN-Gadget tun, sondern muss sein Smart Meter beantragen.

Relevant: Tibber bietet Energie-Management-Funktionen von ihren Servern aus an, die wichtigste davon Smart Charging von Elektroautos. Dabei bedient sich Tibber bei den Software-Schnittstellen der Autos, um etwa Dinge wie „Lade nur bis 80 Prozent!“ umzusetzen. Das kann man ausprobieren, es kann aber die B-Lösung sein, vor allem mit Photovoltaik. Vielen Tesla-Fahrern etwa fiel auf, dass Tibbers stete Verbindung zum Auto dafür sorgt, dass nie Busruhe einkehrt. Das Auto verbraucht dann über 100 W im Standby-Betrieb. Die bessere Lösung ist oft eine Wallbox, die mit externer oder interner Steuerung auch PV-Überschuss verbrässt. Ausprobieren kann man Smart Charging aber immer, da es im Preis inbegriffen ist.

Preisschwankungen und Information

Was passiert, wenn der Strompreis wie ab 2021 an der Börse steil steigt? Dann zahle ich diese steigen-



Links normale Strompreisschwankungen über den Tag. In der Mitte starke Schwankungen mit tief negativen Börsenpreisen, aber aufgrund der Nebenkosten weiter positiven Stromkosten. PV-Besitzer profitieren üblicherweise nicht von niedrigen Preisen, weil sie an solchen Sommertagen keinen Strom beziehen müssen.

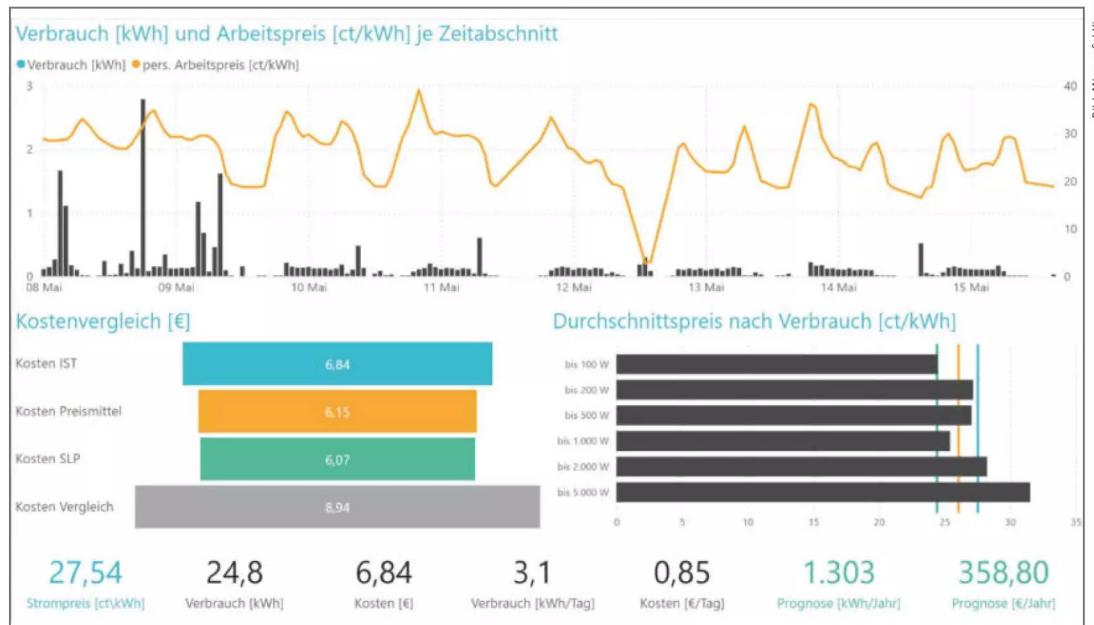
den Preise, genauso, wie ich die günstigen Phasen mitnehme. Ich habe den Abschlag auf unser Haushaltskonto erst einmal nicht verändert. Nach frühestens einem Jahr kann man dann eventuelle Überschüsse (minus einen Puffer) entnehmen und den Abschlag anpassen. Letztlich sehe ich die Sache aber so: Über die Zeit muss ich so oder so die Schwankungen am Strommarkt mitgehen. Mit einem dynamischen Tarif sind die Schwankungen größer und kürzer, beim fixen Tarif länger und ich muss die Absicherungen für die Langzeitfixierung bezahlen. Wer eine Versicherung braucht, sollte sie in Form eines fixen Stromtarifs oder eines dynamischen Tarifs mit Deckelung kaufen. Beide enthalten dann einen Kostenanteil für diese Versicherung.

Information beeinflusst das Verbrauchsverhalten. Deshalb installierte ich die App auch auf dem Smartphone meiner Frau. Das hat wie erwartet sehr gut funktioniert. Sie bedient die großen Verbraucher wie Herd oder alles was heizt jetzt mit einem Blick darauf, ob es wirklich in den teuersten Stunden sein muss. Durch die Echtzeitdaten schaut sie aber auch auf jedes unnötig brennende Licht und schaltet es aus. Das war vorher nie so, obwohl uns unnötig

Strom ziehende Verbraucher vorher mehr Geld kosteten aufgrund des höheren kWh-Preises. Ich würde also so weit gehen und sagen: Tibber-App und Pulse werden bei Ihnen selbst ohne Tibber-Vertrag für weniger Strombezug sorgen. Bei den dynamischen Anteilen kommt es stark darauf an, wann Sie sich im Haus aufhalten oder automatisiert Verbraucher steuern können.

Kosten und Lasten

Ich bin tagsüber hier, weil ich mein Büro hier im Haus habe. Meine Frau fängt sehr früh an und kommt an den meisten Tagen schon mittags heim und dann kochen wir ausgiebig. Haushaltsgeräte laufen meistens tagsüber, weil sie mich nachts nerven. Das sind gute Voraussetzungen für sowohl dynamische Stromtarife als auch Eigenverbrauch aus Photovoltaik. Beides spielt jedoch bei typischen Hausanlagen nicht besonders gut zusammen, weil hohe PV-Leistung meistens mit den günstigsten Preisen zusammenfällt. Immerhin sorgen die ganzen PV-Anlagen durch gleichzeitiges Angebot mit für die niedrigen Strommarktpreise.



Die Auswertung zeigt, dass auch bei mir die PV-Anlage dafür sorgt, dass ich tendenziell zu günstigen Zeiten weniger Strom beziehe. Resultat: Bei mir wäre das Standardlastprofil (SLP) günstiger. Der Strom ist dennoch günstiger als vorher beim Fixtarif.

Bisher war es so, dass wir zu den billigsten Zeiten gar nicht so viel Strom verbrauchen konnten, wie wir von PV als Leistung erhielten. Das kann nur mit einem E-Auto anders werden, und ganz ehrlich: Wie lange wollen Sie kochen, dass es an einem Sommertag mit negativen Börsenstrompreisen (bedeutet bei mir: Endkundenpreise unter 19 ct/kWh) nicht genug PV-Fahrstrom für den nächsten Tag gibt? Mit typischen Haus-PV-Anlagen sind die negativen Stunden nur im Winter relevant. Für die Leistungsbereiche von Balkonkraftwerken passt es aber super: Die erzeugte Leistung vom Balkon ist komplett selbst verbraten und der Netzbezug der darüber liegenden Leistung kommt günstig ins Haus. Ein weiterer Aspekt: Dynamische Strompreise bieten einen niedrigschwälligen Zugang zu günstigem Mittagsstrom für alle, nicht nur PV-Betreiber. Das freut Vielkocher in Mietverhältnissen.

In meinem Haus gibt es ein gutes Haushaltlastprofil und wir haben eine Wärmepumpe, die nach Strompreisen und PV-Leistung die Heizkurve einstellen kann. Damit kam ich im April 2024 auf einen durchschnittlichen kWh-Preis von 27,7 ct/kWh brutto inklusive Nebenkosten und Steuern. Der Schnitt wäre niedriger gewesen ohne PV, weil die Anlage dafür sorgt, dass wir zu den günstigsten Zeiten gar keinen Strom ziehen.

Dazu kommen noch die Fixkosten. Tibber nimmt 5,99 Euro Grundgebühr im Monat. Der Netzbetreiber nimmt seine jeweils individuellen Netz- und Messstellengebühren von 11,50 Euro. Vergleich im selben Verteilnetzgebiet: Mein Grundversorger etwa nimmt 18,49 Euro Grundgebühr und ab 32 ct/kWh im günstigsten Tarif ohne Preisgarantie (heißt: Preise können monatlich angepasst werden). Am Strom selber will Tibber laut Eigenaussage nichts verdienen, auf den Arbeitspreis schlagen sie nur 2,15 ct/kWh „Beschaffungskosten“ auf, mit dem Beispiel der Verwaltung von Ökostromzertifikaten. Günstiger reicht meines Wissens kein Mitbewerber eine kWh durch.

Was dynamische Tarife schmerzlich zeigen: Der Großteil des deutschen Strompreises besteht aus Nebenkosten. Zuletzt stiegen die Netzentgelte noch einmal. Das schwächt die Steuerwirkung dynamischer Tarife erheblich ab.

Beispiel: Bei Börsenstromkosten von 0 Euro/MWh zahle ich immer noch knapp 19 ct/kWh - nur Nebenkosten (Höhe regional unterschiedlich, je nach Verteilnetzbetreiber). In Österreich mit wesentlich niedrigeren Netznebenkosten dagegen kann das Wiener Unternehmen Awattar damit werben, dass man sein E-Auto regelmäßig mittags an Sonnentagen zum

Nulltarif oder knapp darüber laden kann. Das Ziel für Deutschland muss also sein, die Netzkosten ebenfalls nach lokaler Last zu berechnen, um die Wirkung der Preise zu erhöhen. Bedarfssteuerung ist die billigste Maßnahme, volatile Erzeugung zu verarbeiten. Speicher sind sehr teuer.

Standardhaushalte können das Standardlastprofil nehmen

Tibber gehört zu den günstigsten Stromanbietern, allerdings ist der Anbieter nicht bei allen Haushalten die günstigste Wahl. Wenn etwa ein anderer Stromanbieter seine Kalkulation mit günstigen Grundpreisen macht, kann so ein Fixtarif für Haushalte mit geringem Strombedarf günstiger sein (es gab noch nie so viele Single-Haushalte wie heute). Die ganze Fummeli mit der Echtzeit-Stromerfassung entfällt obendrein. Mit Interesse habe ich ein Tibber-Fazit-Video von Martin Oster für seinen Youtube-Kanal „gewaltig nachhaltig“ gesehen. Bei ihm war es im Winter so, dass er mit stundenweiser Stromabrechnung minimal teurer lag, als wenn er einfach ohne Messung im Standardlastprofil abgerechnet hätte. Der Effekt von PV ist zu dieser Zeit minimal.

Wenn Ihr eigenes Stromprofil also nahe am Standardlastprofil liegt, werden die stündlichen Preise keine großen Vorteile bieten. Das heißt aber auch: Für Haushalte mit Mainstream-Verhalten, also Abwesenheit tagsüber und abends kochen, gibt es keine wirklichen Hürden: Sie können bei Tibber den Tarif nach dem durchschnittlichen Lastprofil wählen. Den Pulse für immerhin 110 Euro Neukundenpreis können sie sich sparen, sollten es aber nicht.

Im Gegenteil sorgt die Stromverbrauchs-Bewusstmachung für einen Großteil der Einsparungen. Es muss also nicht Tibber sein, es muss nicht der Pulse sein, aber ein regelmäßiger Blick auf den Zähler für alle wird die Stromkosten senken.

Zur regelmäßigen Anzeige des Strompreises gibt es mehrere Anbieter-unabhängige Geräte, den Poweropti nannte ich bereits. Auch die Apps der Stromanbieter mit regelmäßiger manueller Ableitung und Auswertung helfen.

Ab 2025 sollen dem Gesetzgeber nach alle Stromanbieter einen dynamischen Tarif anbieten. Da können die etablierten Stromkonzerne zeigen, was sie eventuell besser können als der Neuling Tibber. Dann werden viele Leute schnell umsteigen, denn mit zwei Wochen zum Monatsende sind die Kündigungsfristen so gestaltet, dass man die Sache ohne lange Bindung ausprobieren kann. (jow) 



Energieversorgung per E-Auto absichern

Wenn man verstanden hat, dass Energie in jede Richtung durchs Netz fließt, ergeben sich neue Möglichkeiten für Notstromkonzepte mit Generator, Batterie, Balkonkraftwerk oder E-Auto. Manch einer hat die fette Powerbank fürs Haus schon längst unterm Carport stehen. Wir zeigen, welche Fehler Sie besonders bei der Hausverkabelung machen können und wie Sie zu einer brauchbaren Notstromlösung kommen.

Von **Sven Hansen**

Zugegeben: Als Anwohner in einem ausgewiesenen Überschwemmungsgebiet hätte man besser vorbereitet sein können. Als der Energieversorger am 27. Dezember die Stromversorgung zu einem abgelegenen Ortsteil von Winsen an der Aller kappte, war dies für viele dennoch eine überraschend abrupt eintretende Konsequenz des zuvor

langsam angeschwollenen Aller-Hochwassers. Im Aller-Leine-Tal gehört das Leben mit dem Fluss und seinen Launen zum Alltag. Nie zuvor allerdings war das Gebiet bei Hochwasserereignissen vom Netz getrennt worden. Dass der Strom trotz sinkender Pegel über zwölf Tage abgeschaltet bleiben sollte, war die zweite unangenehme Überraschung.

Rettungsfrust

Dabei wäre Strom dagewesen, denn im Carport stand das E-Auto mit vollgeladenem 60-kWh-Akku, ein Renault Megane E-Tech. Das Auto hätte den Haushalt für ein paar Tage mit Strom versorgen können, doch leider verfügt es nicht über die notwendigen Stromausgänge.

Bei Modellen der ID-Baureihe von VW hätte es theoretisch die bidirektionale Verbindung via CCS (Combined Charging System) gegeben. Theoretisch deshalb, weil entsprechende Wallboxen kaum verfügbar, teuer und der Einbau so stark reguliert sind, dass die momentane Verbreitung gegen null tendiert. Volvo hat ein niederschwelliges System zur Stromabgabe vom Fahrzeug auf Wechselstrombasis für den ES90 zumindest angekündigt. Insgesamt stecken die Themen „Vehicle 2 Grid“ (V2G) und „Vehicle 2 Home“ (V2H) über entsprechende lokale Ladeinfrastruktur jedoch in den Kinder- oder wohl eher Lauflernschuhen.

Was für die Praxis bleibt, sind E-Fahrzeuge mit einem einfachen Wechselstromausgang zum direkten Anschluss von Lasten. Bei der „Vehicle to Load“-Funktion (V2L) wandelt ein Wechselrichter im Fahrzeug die Gleichspannung der Fahrbatterie in 230 Volt Wechselspannung um und macht sie für Haushaltsgeräte nutzbar. Das Feature findet man bei asiatischen E-Fahrzeugen etwa von Kia, Hyundai, Genesis, BYD oder MG (siehe Tabelle „Autos mit V2L-Anschluss“). Die Fahrzeuge liefern über ihre 230-Volt-Steckdose bis zu 3600 Watt und lassen sich so pro-

blemlos fürs Campen oder ein Grillfest am Baggersee nutzen – oder zur Notstromversorgung. All das bot der Renault nicht - das E-Auto im Carport schied also als Stromlieferant aus.

Angesichts der steigenden Fluten, fehlendem Strom und nahenden Frost blieb keine Alternative, als zu Diesel- und Benzingeneratoren („Moppel“) zu greifen, um Schäden am Haus zu vermeiden. Eine Reise in die Vergangenheit, in der man mit der Taschenlampe in der Hand auf matschigem Untergrund mit Generatoren, Öl, Benzin und Diesel herumhantiert. Dabei wurde der erzeugte Strom notdürftig mit diversen Verlängerungsstücken auf dem Grundstück und im Haus verteilt.

Aus Fehlern lernen

Im Nachhinein fragt man sich, ob man eine Notstromversorgung nicht etwas eleganter hätte umsetzen können. Spätestens seit dem Aufkommen der Balkonkraftwerke hat sich herumgesprochen, dass Strom nicht nur aus der Steckdose kommt, sondern auch hineingeht. Was liegt also näher, als die Notstromversorgung über das bestehende Netz ohne zusätzliches Kabelgewirr abzuwickeln.

Klare Empfehlung des VDE: „Don't!“. Schon bei der Einspeisung vom Balkonkraftwerk ins Niederspannungsnetz per Schukostecker direkt in die Steckdose tut sich Deutschlands Normungsinstanz in Sachen Elektro schwer. Das gilt auch für die Einspeisung mit Notstromaggregaten. Die VDE-AR-N 4100 enthält die „Technischen Regeln für den Anschluss von Kunden-

Don't try this at home!



Das hier beschriebene Verfahren ist eine Ultima Ratio bei Naturkatastrophen (Überflutungen, Erdbeben, Erdrutsche) mit lang anhaltenden Stromausfällen und nicht die erste Wahl, um sich auf Ausfälle vorzubereiten! In jedem Fall ist eine professionelle Not- oder Ersatzstromanlage (in Kombination mit einem Batteriespeicher und einer Photovoltaikanlage) vorzuziehen. Wenn Sie in gefährdeten Gebieten (etwa in der Nähe von Flüssen) leben, sollten Sie rechtzeitig eine solche Investition planen.

Falls Sie unverhofft in die Ausnahmesituation geraten und sich in der Abwägung trotz existierender Sicherheitsprobleme (siehe im Abschnitt „Aus Fehlern lernen“) dafür entscheiden, das Haus über einen Generator zu betreiben, müssen Sie in jedem Fall sicherstellen, dass das Hausnetz vom öffentlichen Netz allpolig getrennt ist. Eine Rückeinspeisung ins öffentliche Netz ist lebensgefährlich – nicht nur für Sie, sondern auch für andere. Konsultieren Sie in jedem Fall einen Elektriker, bevor Sie das Haus notdürftig versorgen.

anlagen an das Niederspannungsnetz und deren Betrieb“ Sie kennt zumindest den Begriff „Inselbetrieb“ und sagt etwas zu klassischen Notstromaggregaten. Das Thema E-Autos spielt dabei allerdings keine Rolle. Eine Nachfrage beim VDE ergibt, dass auch die gültige Regel zur Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz (VDE-AR-N 4105) das Thema nicht berücksichtigt. „Dies wird in der Novelle 2025 behandelt, die wir noch in diesem Jahr im Entwurf planen vorzulegen.“, so der VDE.

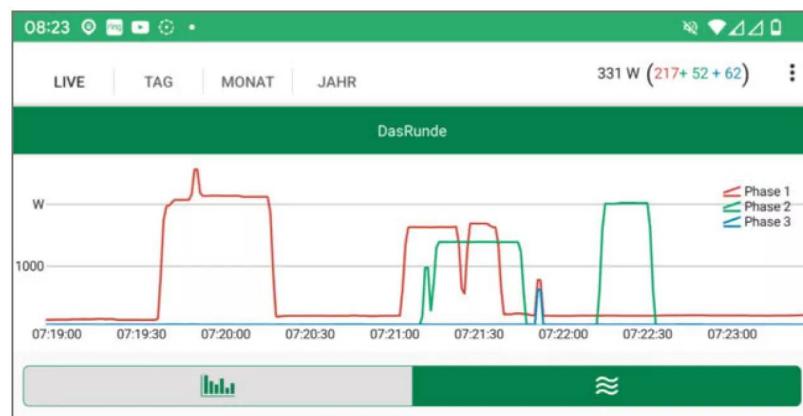
Die Generatoren für den Heimanwender arbeiten mit dem Sicherheitskonzept Schutztrennung. Das bedeutet, dass der Sternpunkt nicht mit der Erde verbunden ist. Falls ein angeschlossenes Gerät in diesem Fall einen Fehler hat und Spannung an einem Metallgehäuse anliegt, passiert nichts, wenn ein Mensch dieses Gehäuse berührt – denn es fließt kein Strom über den Körper und die Erde zurück zum Generator. An Geräte mit Schutztrennung darf allerdings nur ein Verbraucher angeschlossen werden. Einen solchen Hinweis findet man auch in der Anleitung der Generatoren.

Betreibt man den Generator in einer Hausinstallation mit geerdetem PE-Leiter, hebt man das Prinzip der Schutztrennung auf. Schlimmstenfalls liegt im Fehlerfall gefährliche Spannung an Gehäusen an. Daher ist das beschriebene Verfahren potenziell gefährlich und sollte nur bei tagelangen Notfällen Anwendung finden!

Notstrom Off-Grid

Generelles Problem bei der improvisierten Notstromversorgung – egal, ob mit einem E-Fahrzeug per V2L oder einem einfachen Baumarkt-Moppel: Nur eine einzelne Phase lässt sich über diesen Weg ersetzen. Der vom Energieversorger angelieferte Strom dagegen läuft dreiphasig in die Hausverteilung und wird auf die Sicherungen und damit auf die einzelnen Verbrauchsstränge im Haus verteilt. Die möglichst gleichmäßige Verteilung über alle Verbraucher ist gewollt, um eine Schieflast auf nur einer Phase zu vermeiden. Deswegen sind die Sicherungskreise der Geräte und Steckdosen im Haushalt nach dem Zufallsprinzip über die drei Phasen verstreut.

Wer sein Heim beim Wegfall des Netzes über einphasigen Notstrom versorgen will, tut daher gut daran, sich schon vor dem Ernstfall einen genauen Überblick zu verschaffen, welche Verbraucher oder Steckdosen überhaupt an welcher der drei Phasen hängen. Man kann dazu zwei der drei Hauptsicherungen in der Verteilung herausdrehen und mit farbigen



Bei manch einem Smart Meter kann man in der zugehörigen App in der Live-Ansicht die einzelnen Phasen darstellen lassen. Das hilft bei der Zuordnung einzelner Verbraucher.

Klebpunkten bewaffnet durchs Haus wandern. Alles, was noch leuchtet, rappelt und funktioniert, hängt an der aktiven Phase. Genau so geht man mit der zweiten Phase vor, die dritte ergibt sich von selbst.

Im konkreten Fall geht es bei den Steckdosen auch ohne Schraube an den Hauptsicherungen, denn das vernetzte Smart Meter des Messstellenbetreibers Discovery ist recht auskunftsreich. Das Smart Meter kostet zwar extra, dafür bekommt man über die Discovery-App eine Liveansicht der Stromentnahme über die Einzelphasen angezeigt. Es genügt also, einen Verbraucher einzuschalten oder kurz mal den Föhn an jede Steckdose zu hängen, um zu sehen, auf welcher der drei Verbrauchskurven ein Peak entsteht.

Hat man sich einen Überblick verschafft, muss man sich für eine der drei Phasen entscheiden. Das wichtigste dabei ist die Wahl des Einspeisepunktes. Schließlich muss er die gesamte Last aller im Haus genutzten Verbraucher tragen. Es sollte sich daher am besten um eine direkt mit der Verteilung verbundene Steckdose mit diskreter Absicherung handeln. Im Beispiel ist dies eine Außensteckdose, die extra für das Aufladen eines E-Autos mit dem Notladeadapter gesetzt wurde, auf Dauer Nutzung ausgelegt und extra abgesichert ist.

Danach geht es darum, dass alle entscheidenden Verbraucher auf denselben Phase liegen müssen. Ist dies nicht der Fall, schließt man die mit Verlängerungsstrippen an oder kontaktiert den Elektriker. Der kann einzelne Stränge in der Verteilung nachträglich

vertauschen. Am Ende sollten Kühlschrank, Kommunikationstechnik und eine Kochmöglichkeit auf der Notstrom-Phase liegen – damit wären die drei wichtigsten Bereiche abgedeckt. Und der Fernseher darf auch nicht fehlen.

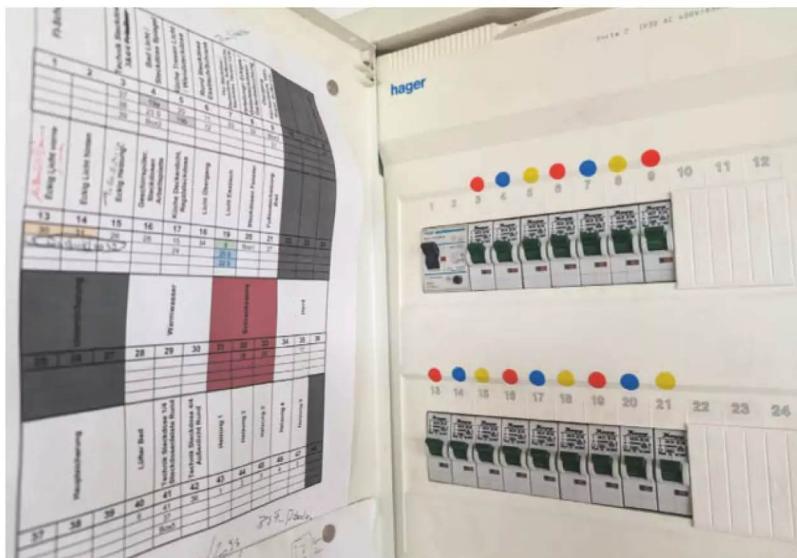
Einschränkungen

Spätestens beim Kochen kommt eine Notstromversorgung schnell an ihre Grenzen. Maximal 3,8 Kilowatt genügen nicht in jedem Fall, um die Kochstelle in der Küche zu betreiben. Geräte mit besonders hohem Energiehunger, etwa Induktionskochfeld, Durchlauferhitzer oder Saunaofen, benötigen zwar keinen korrekt phasenversetzten Drehstrom wie Baustellenkreissägen oder Holzspalter, oft aber mehr Leistung, als eine Phase liefern kann.

Modernere Geräte tendieren zudem dazu, den Zustand der Installation elektronisch zu überwachen. Ist nur eine der geforderten drei oder zwei Phasen der Installation intakt, verweigern sie den Betrieb. Bei älteren Geräten kann es passieren, dass sie noch eingeschränkt funktionieren – der Saunaofen etwa mit einem Drittel der Leistung. Hier heißt es auszuprobieren und vorbereitet zu sein. Günstige Induktionsfelder etwa gibt es auch einphasig, mit Schukostecker und praktischer Anzeige in Watt.



Günstige Induktionsfelder für den Campingbedarf können im Notbetrieb hilfreich sein. Einige zeigen den Momentanverbrauch direkt an.



Klebepunkte über den Sicherungsautomaten markieren die drei Phasen. Im Sicherungskasten werden sie durch Kupferschienen gleichmäßig verteilt.



Einspeisekabel von Schukostecker auf Schukostecker gibt es nicht im Handel zu kaufen. Bei Generatoren liegt aber häufig ein separater Stecker für den Selbstbau im Karton. Da über das Kabel die komplette Notstromversorgung läuft, sollte man auf gute Qualität, Dauerlastauslegung und solide Stecker Wert legen.



Ein mit Benzin betriebener Inverter-Generator ist der Klassiker bei der Notstromversorgung. Er ist im Betrieb recht laut und muss per Kanister nachgefüllt werden.



Fenster auf, Zündung an: Im Ioniq 5 ist der V2L-Anschluss unter der Rückbank zu finden.



Generell gilt es, eine Überlastung des Notnetzes möglichst von vornherein auszuschließen. Auch hierfür ist es wichtig, gründlich zu planen und die angeschlossenen Verbraucher durchzumessen. Bei Überlastung fällt ansonsten die Sicherung von E-Fahrzeug oder Generator oder der Sicherungsautomat, der als Einspeisepunkt dient.

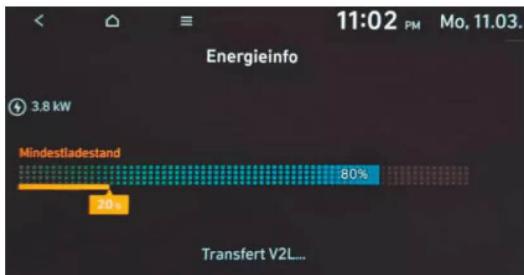
Wichtige Fragen sind zum Beispiel: Wie viel Watt zieht der Wasserkocher? Kann sich die elektrische Fußbodenheizung im Bad zeitgesteuert zwischendrängeln? Oder benötigt der Kaffeevollautomat einen übermäßig hohen Einschaltstrom? Bringt ein Verbraucher mit seinem Verhalten das Notstromkonzept ins Wanken, kann man ihn über den Sicherungskasten vom Netz nehmen. Welche Maßnahmen vor der Notstromeinspeisung nötig sind, sollte man sich aufschreiben und das Dokument für den Tag X zur Seite legen. Dazu gehört auch ein Plan des Sicherungskastens, der zeigt, welche Sicherungen an und welche aus sind.

Stromlieferant

Nicht jeder an Notstrom Interessierte wird sich gleich ein E-Auto kaufen. Benzin- oder Dieselpartagatoren sind die klassische Lösung dafür. Man bekommt sie ab 400 Euro aufwärts, sie unterscheiden sich vor allem in der maximalen Leistungsabgabe, Treibstoff (Benzin/Diesel/LPG), der Lärmwicklung und in Komfortfunktionen wie einer elektrischen Starterbatterie oder einem mehr oder weniger informativen Statusdisplay. Man braucht noch Motoröl, den geeigneten Treibstoff und einen Kanister mit möglichst nicht tropfendem Einfüllstutzen - letzterer ist im Jahr 2024 nicht mehr leicht zu finden.

Der genutzte klassische Benzingenerator lieferte 2100 Watt kontinuierlich, maximal 3100 Watt Peak. Der ohrenbetäubende Sound ändert sich, sobald ein Verbraucher zugeschaltet wird. Bei Überlast ändert sich die Drehzahl abrupt und die Spannung schwankt. Nicht gerade das, was man haben will, wenn am anderen Ende empfindliche elektronische Geräte hängen.

Notstrom Deluxe: Die Geräte von Ecoflow lassen sich kombinieren und per App steuern. Die tragbare Pufferbatterie Delta 2 Max (links unten) mit Speichererweiterung (links oben) speichert 4 kWh. Läuft sie leer, springt der per LPG betriebene Smart Generator automatisch an und lädt nach.



Der Ioniq zeigt die aktuell entnommene Leistung im Display an. Die Fahr batterie wird maximal bis 20 Prozent entladen.



Ruft man zu viel Leistung ab, setzt der Ioniq die V2L-Versorgung aus.



Im Menü des Ioniq 5 lässt sich der „Standmodus“ unter EV-Einstellungen aktivieren.

Eine andere Variante ist die Versorgung über einen Solargenerator. Der in c't 25/2023 auf Seite 86 getestete Delta Max 2 von Ecoflow mit 2-kWh-Akku kann wie der Generator bis zu 3100 Watt Spitzenleistung liefern und lässt sich per App überwachen. Das ist praktisch, denn man hat den aktuellen Energieverbrauch im Haus auf diese Weise gut im Blick. Auch hier gilt: Bei Überlast schaltet das Gerät die Stromversorgung ab. Immerhin kann man sich dann noch per Bluetooth mit dem Gerät verbinden, sodass man den Neustart vom Handy aus erledigen kann.

Eine besonders komfortable Lösung entsteht, wenn man Moppel und Speicherbatterie kombiniert. Der Solargenerator lässt sich so einstellen, dass er eine kontinuierliche Leistung vom Benzinaggregat bekommt – zum Beispiel 1000 Watt. Er speist seinen Notstrom dann gepuffert über die Batterie. Damit fällt der Wechsel beim Soundspektakel am Generator weg oder man kann ihn über Nacht sogar ganz ausschalten, was Sprit spart. Nutzt man als Generator den in c't vorgestellten Smart Generator von Ecoflow, können beide Geräte sogar miteinander kommunizieren. Der Generator springt dann nur noch an, wenn die Batteriekapazität unter einen definierten Stand fällt. Zudem lässt sich Ecoflows Moppel auch mit Propangas betreiben, was einem das Hantieren mit Benzinkanistern erspart.

Wir haben die Noteinspeisung auch mit einem E-Auto erprobt. Da das Thema bidirektionales Laden Vehicle to Grid (V2G) in Deutschland über das Konzeptstadium bisher wie erwähnt nicht hinausgekommen ist, bleibt nur die kleinere Variante „Vehicle to Load“ (V2L). Hyundai stellte für den Test einen Ioniq 5 bereit.

Das Fahrzeug muss zu diesem Zweck in Fahrbereitschaft versetzt werden. Anschließend kann man über das Einstellungsmenü unter EV den Punkt „EV-Einstellungen/Standmodus aktivieren“. Der 230-Volt-Anschluss des Ioniq 5 befindet sich in der Mitte unterhalb der Rückbank. Eine Kabeldurchführung gibt es nicht, man muss also Tür oder Fenster einen Spalt geöffnet lassen. Eigentlich lässt sich der Ioniq 5 geöffnet und in Fahrbereitschaft so nur in der Garage als Notstrombatterie nutzen.

Ein weiteres Einstellungsmenü erlaubt es, die minimale Akkukapazität des Fahrzeugs vorzugeben, bei deren Erreichen das Fahrzeug die V2L-Funktion abgeschaltet. Unter 20 Prozent lässt sich der Wert nicht drücken. Von den 77,4 kWh des der Batterie stehen daher netto „nur“ 62 kWh zur Verfügung. Das reicht für ein paar Tage Homeoffice und gut durchgekühltes Gefriergut.

Was tun bei Schäden durch Stromausfall

Bei Stromausfallschäden steht der örtliche Netzbetreiber in der Verantwortung. Das kann – muss aber nicht – der eigene Stromanbieter sein. Die 2006 erlassene NAV (Niederspannungsanschlussverordnung) ist dabei besonders verbraucherfreundlich ausgelegt. Es wird laut § 18 Absatz 1 im Rahmen der Haftung für Anschlussstörungen „widerleglich vermutet, dass Vorsatz oder (grobe) Fahrlässigkeit vorliegt,“ – und zwar aufseiten des Netzbetreibers.

Die Beweislast liegt also nicht beim Kunden, sondern man geht von der Annahme aus, der Netzbetreiber hätte die Umstände, die zum Stromausfall führten, vorhersehen und mit technischen Maßnahmen vermeiden können (Verschuldensvermutung). Diese Grundannahme muss der Netzbetreiber widerlegen und nachweisen, dass er alle Rechtsvorschriften und Normen eingehalten hat und seiner Sorgfaltspflicht nachgekommen ist, um den Stromausfall zu verhindern. Dabei können auch Planungsfehler wie das Platzieren eines Trafohauses in der Senke eines Überschwemmungsgebietes oder unterlassene Wartungsarbeiten das Tatbestandsmerkmal der Fahrlässigkeit erfüllen.

Diese Verschuldensvermutung gilt bei der Haftung für Sach- und Vermögensschäden, die durch den Stromausfall ent-

standen sind. Typischer Sachschaden ist das verdorbene Gefriergut. Vermögensschäden entstehen etwa, weil man eine Notstromversorgung kaufen und betreiben muss oder eine alternative Unterkunft beim Komplettausfall der Heizung mieten muss. Derlei Schäden sind formlos und unverzüglich dem örtlichen Netzbetreiber zu melden.

Soviel zum Thema „Recht haben“. Im konkret beschriebenen Fall wurde formlos Ende Februar eine moderate Schadenersatzforderung über die vom Netzbetreiber bereitgestellte Beschwerdeadresse eingereicht. Der Eingang des Schreibens wurde fristgerecht bestätigt, dann tat sich nichts. Auf Nachfrage wurde mitgeteilt, dass der Vorgang an den zuständigen Schadenumlagenverband weitergeleitet wurde. Dieser vermeldete weitere zwei Wochen später, dass kein Verschulden des Netzbetreibers vorliege, weil man auf behördliche Anordnung gehandelt habe. Auf weitere Nachfrage gab es noch den Screenshot einer lokalen Zeitungs-Blogs zur Abschaltung. Das ist sicherlich nicht die technische Detailtiefe, die die Verordnung im Sinne der Verbraucher vorsieht. Das Thema „Recht bekommen“ ist also zu Redaktionsschluss nicht abgeschlossen und wie immer schwierig. Im Konfliktfall helfen ein langer Atem, die Schllichtungsstelle Energie und der Verbraucherservice der Bundesnetzagentur.

Leben mit Notstrom

Eine gute Planung vorausgesetzt, ist das Leben im per Notstrom versorgten Haus komfortabel. Ein paar Tage Homeoffice könnte man so locker bestreiten. Es ergibt sich ein gewisser Vitrineneffekt: Vieles funktioniert mit nur einer Phase, man kann aber nicht alles gleichzeitig benutzen. Kaffee aus der Mikro-

welle und paralleles Föhnen im Bad führt zur Abschaltung. Schwächstes Glied war jeweils die Stromquelle: die V2L-Funktion des Fahrzeugs, das die Versorgung mit einer entsprechenden Fehlermeldung einstellt, die Softwareabschaltung der Delta-Max-Batterie oder der Kollaps des Generators.

Wer ein wenig Campererfahrung besitzt, den schockt das wenig. Am Ende ließen sich selbst Ausfälle durch Überlastung technisch abfangen. Etwa mit smarten Zwischensteckern mit Messfunktion wie von Shelly oder Ghome, die die gesamt abgerufene Leistung überwachen und Verbraucher nur einzeln zuschalten. Ausgewählten Geräten könnte man zudem einen individuellen Pufferakku spendieren, damit etwa der Router oder das Satelliteninternet über Starlink nicht bei jedem Ausfall neu booten müssen.

Propangaskocher oder der Holzofen im Wohnzimmer sind ein zusätzlicher Baustein für eine langfristige Notversorgung. (sha) 

Autos mit V2L-Anschluss

Hersteller	Typ
Genesis	GV60, GV70, G80
Kia	EV6, EV9
BYD	Han
MG	MG4, MG5, ZS EV
Hyundai	Ioniq 5, Ioniq 6
Marvel	R

IMPRESSUM

Redaktion

Postfach 61 04 07, 30604 Hannover
Karl-Wiechert-Allee 10, 30625 Hannover
Telefon: 05 11/53 52-300
Telefax: 05 11/53 52-417
Internet: www.heise.de

Leserbriefe und Fragen zum Heft:
sonderhefte@ct.de

Die E-Mail-Adressen der Redakteure haben die Form xx@heise.de oder xxx@heise.de. Setzen Sie statt „xx“ oder „xxx“ bitte das Redakteurs-Kürzel ein. Die Kürzel finden Sie am Ende der Artikel und hier im Impressum.

Chefredakteur: Torsten Beeck (tbe, verantwortlich für den Textteil), Dr. Volker Zota (vza)

Konzeption: Jan Mahn (jam), Jörg Wirtgen (jow)

Koordination: Jobst Kehrhahn (keh, Leitung),
Pia Groß (piae), Tom Leon Zacharek (tlz)

Redaktion: Sven Hansen (sha), Jan Mahn (jam),
Andrijan Möcker (amo), Stefan Porteck (spo), Georg Schnurer (gs),
Christof Windeck (cwi), Sophia Zimmermann (ssi)

Mitarbeiter dieser Ausgabe: Clemens Gleich, Jamil Sabih,
Luca Schröder

Assistenz: Susanne Cölle (suc), Tim Rittmeier (tir),
Martin Triadan (mat)

DTP-Produktion: Vanessa Bahr, Dörte Bluhm, Lara Bögner,
Beatrix Dedek, Madlen Grunert, Steffi Martens,
Leonie Preuß, Lisa Reich, Marei Stade, Matthias Timm,
Christiane Tümmler, Ninett Wagner, Nicole Wesche

Digitale Produktion: Christine Kreye (Leitung),
Thomas Kaltschmidt, Martin Kreft, Pascal Wissner

Fotografie: Andreas Wodrich, Melissa Ramson

Illustration: Moritz Reichartz

Titel: Steffi Martens, Leonie Preuß,
Bild: Big Shot Theory/Shutterstock

Verlag

Heise Medien GmbH & Co. KG
Postfach 61 04 07, 30604 Hannover
Karl-Wiechert-Allee 10, 30625 Hannover
Telefon: 05 11/53 52-0
Telefax: 05 11/53 52-129
Internet: www.heise.de

Herausgeber: Christian Heise, Ansgar Heise, Christian Persson

Geschäftsführer: Ansgar Heise, Beate Gerold

Mitglieder der Geschäftsleitung: Jörg Mühle, Falko Ossmann

Anzeigenleitung: Michael Hanke (-167)
(verantwortlich für den Anzeigenanteil),
www.heise.de/mediadaten/ct

Anzeigenverkauf: Verlagsbüro ID GmbH & Co. KG,
Tel.: 05 11/61 65 95-0, www.verlagsbuero-id.de

Leiter Vertrieb und Marketing: André Lux (-299)

Service Sonderdrucke: Julia Conrades (-156)

Druck: Firmengruppe APPL Druck GmbH & Co. KG,
Senefelder Str. 3-11, 86650 Wemding

Vertrieb Einzelverkauf:
DMV DER MEDIENVERTRIEB GmbH & Co. KG
Meßberg 1
20086 Hamburg
Tel.: 040/3019 1800, Fax: 040/3019 145 1815
E-Mail: info@dermedienvertrieb.de
Internet: dermedienvertrieb.de

Einzelpreis: € 19,90; Schweiz CHF 34,40;
Österreich € 21,90; Luxemburg € 22,90

Erstverkaufstag: 30.08.2024

Eine Haftung für die Richtigkeit der Veröffentlichungen kann trotz sorgfältiger Prüfung durch die Redaktion vom Herausgeber nicht übernommen werden. Kein Teil dieser Publikation darf ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Die Nutzung der Programme, Schaltpläne und gedruckten Schaltungen ist nur zum Zweck der Fortbildung und zum persönlichen Gebrauch des Lesers gestattet.

Für unverlangt eingesandte Manuskripte kann keine Haftung übernommen werden. Mit Übergabe der Manuskripte und Bilder an die Redaktion erteilt der Verfasser dem Verlag das Exklusivrecht zur Veröffentlichung. Honorierte Arbeiten gehen in das Verfügungsberecht des Verlages über. Sämtliche Veröffentlichungen erfolgen ohne Berücksichtigung eines eventuellen Patentschutzes.

Warennamen werden ohne Gewährleistung einer freien Verwendung benutzt.

Hergestellt und produziert mit Xpublisher:
www.xpublisher.com

Printed in Germany.

Alle Rechte vorbehalten.

© Copyright 2024 by
Heise Medien GmbH & Co. KG

Was PV, Dämmung & Co. bringen

Eine unkomplizierte Heranführung an Wärmepumpen-Nutzung: Was brauchen Sie?
Was ist wichtig? Und wie können Sie das einigermaßen simpel halten?

Von **Clemens Gleich**



Bild: KI Midjourney / Bearbeitung c't / www.freepik.com

Was PV, Dämmung & Co. bringen	116
Wärmepumpen optimal betreiben	122
Smarte Heizungsthermostate im Test	128
AC ELWA: Wärme aus PV-Überschuss	136
PV ohne Akku mit Wärmepumpe nutzen	140

Eine falsch eingestellte Heizungskurve an einer Verbrennungsheizung bedeutet einen Kosten- nachteil im Bereich von fünf Prozent. Deshalb ist es so vielen einfach wurscht. Dagegen kann eine falsch eingestellte Heizungskurve bei einer Wärmepumpe durchaus den doppelten Verbrauch bedeuten, und das ist bei deutschen Strompreisen kaum noch jemandem wurscht.

Dennoch kann man eine Wärmepumpenheizung durchaus simpel halten, und meistens sind simple Lösungen sogar die besten, weil dann Kosten und Nutzen am besten nachvollziehbar sind. Also fangen wir einmal bei den wichtigsten Dingen an und gehen schrittweise die Prioritätsleiter hinunter: Was brauchen Sie? Was ist wichtig? Und wie können Sie das einigermaßen simpel halten?

Bestandsaufnahme: Wie sieht das Haus aus?

Wenn Sie Ihr Haus neu bauen, haben Sie es einfach: Kaufen Sie das, was Ihre Hausfirma wahrscheinlich empfiehlt, nämlich eine zum Haus passende Wärmepumpe – fertig. Die Mehrzahl hat das ohnehin längst begriffen, was sich in der Heizungsartenverteilung bei Neubauten zeigt.

Sollten Sie ein Bestandshaus mit Fußbodenheizung (FBH) haben, und das wird ausreichend warm, haben Sie es ebenfalls einfach: Üblicherweise können

Sie dann eine Wärmepumpe effizient betreiben, weil die Vorlauftemperaturen für Fußbodenheizungen niedrig sein müssen, sonst wirds heiß an den Füßen.

Haben Sie mittlerweile in Ihrem Bestandshaus wichtige Teile wie Fenster oder Dach saniert, folgt daraus eine im Vergleich zu vorher geringere Heizlast – und Sie kommen daher im Allgemeinen mit einer entsprechend kleineren Heizungsleistung aus, die bei Wärmepumpen (WP) deutlich mehr kostet als bei Brennern. Am besten ist es bei gleichbleibendem Heizerhalten, die Verbräuche vor und nach den Sanierungsmaßnahmen zu vergleichen und daraus auf die Heizlasten zu schließen. Das Verfahren hat den Vorteil, dass es die Erderwärmung mit berücksichtigt. Ansonsten hilft Ihnen der Heizungsbetrieb mit einer Schätzung, die meistens realistischer ist als die vergleichsweise aufwendige (aber vorgeschriebene) Heizlastberechnung.

Heizkörper

Etwas schwieriger wird es bei normalen Heizkörpern (HK). Heizkörper bringen ihre Heizleistung in Abhängigkeit von der Vorlauftemperatur, die anders als bei Fußbodenheizungen früher ziemlich hoch liegen konnte, manchmal sogar bei über 80 °C. Sie können sich wahrscheinlich vorstellen, dass ein so heißer Gegenstand kleiner sein kann und trotzdem einen Raum erwärmt.

Moderne Wärmepumpen schaffen zwar höhere Vorlauftemperaturen von über 60 °C (das steht prominent in den Prospekten), aber eben nicht effizient (das steht ganz hinten bei den Arbeitszahl-Kurven). Je niedriger die Vorlauftemperatur, umso besser für die Effizienz. Sie finden das Vorgehen zur Planung einer Wärmepumpe im Bestandshaus online auf heise+ unter ct.de/wau9. Am einfachsten funktioniert das folgende Vorgehen: Stellen Sie auf der bestehenden Heizung im Winter eine Heizkurve ein, wie sie bei der neuen Wärmepumpe effizient wäre und beobachten Sie, ob die Räume die Zieltemperatur erreichen und halten. Das wird aufgrund der niedrigeren Temperatur länger dauern als vorher.

Wenn die alten Heizkörper trotz neuer Fenster nicht ausreichend wärmen, ist das kein Beinbruch. Dann installieren Sie größere Heizkörper, damit sie bei niedrigeren Temperaturen mehr Leistung bringen. Neue Heizkörper sind Teil der Förderungen. Es gibt bei deutschen Strompreisen wirklich keinen Grund, jahrzehntealte Heizkörper zu behalten und dann den Kompressor mit hohen Temperaturen zu plagen. Wenn Sie die Vorlauftemperatur in einen Bereich drücken können, in dem eine Wärmepumpe



Bild: Clemens Gleich

Unsere kleine PV-Anlage auf der Garage konnten wir vergleichsweise günstig montieren. Sie rechnet sich jedoch nicht durch die Wärmepumpe, sondern durch unser Lastprofil mit Kochen mittags und Anwesenheit tagsüber. Die Wärmepumpe trägt weniger bei als vermutet.

effizient läuft, dann haben Sie weit über 80 Prozent der möglichen Ersparnisse erreicht und können sich den Rest entweder sparen oder ihn nach Gusto schrittweise nachrüsten.

Kein Must-Have: Dämmung

In unserem Detail-Artikel zur Wärmepumpen-Installation haben wir beschrieben, dass (und warum) die meisten Häuser keine zusätzliche Dämmung benötigen, um mit einer Wärmepumpe betrieben werden zu können. Experten-Schätzungen gehen von über 70 Prozent des Bestandes aus, die ohne Änderungen der Außenbauteile für einen wirtschaftlichen Betrieb mit Wärmepumpe geeignet sind (siehe ct.de/wau9).

Die Ausnahme sind meist alte Häuser vor der ersten Wärmeschutzverordnung (WSchV) vom November 1977, an denen nie etwas saniert wurde (obwohl sie fallweise erstaunlich gut passen können). Bei solchen Objekten lohnen sich Dämm-Mindestmaßnahmen nicht nur, sie sind für Käufer sogar seit längerem vorgeschrieben. Wenn Sie ein altes Objekt noch auf Baujahrstandard schon länger besitzen und gar nichts machen wollen, um zum Beispiel günstiger zu vermieten, dann bauen Sie eine Verbrennerheizung ein, weil diese die nötigen Vorlauftemperaturen spielend schafft.

Wirklich erlaubt sind als reine Verbrenner nur noch Biomasse-Heizungen, sie verbrennen also üblicherweise Holz in Form von Pellets. Ebenfalls erlaubt sind Wärmepumpen-Hybrid-Heizungen mit Gas- oder Ölbrennern, die allerdings auch nicht billiger sind und viel Planungsarbeit erfordern, damit die geforderten 65 Prozent Abdeckung per Wärmepumpe passen. Günstige Mieten und hohe Heizkosten sind manchen Mieter lieber, weil die Miete fix ist und die Heizkosten zumindest teilweise steuerbar.

Idealerweise ist die Gebäudehülle wirklich dämig, lässt also wie ein Nudelsieb die Luft durch, denn (nur) das bewahrte damals vor Schimmelproblemen. Ideal sind raumluftabhängige Feuerungen, denn die saugen kalte Luft an, die Raumfeuchte aufnimmt, und jagen sie zum Schornstein hinaus. Bedenken Sie bei allem, dass Mieter aus schmerzhafter Erfahrung sensibel geworden sind, was potenzielle Heizkosten angeht. Vielleicht ist die Sanierung doch sinnvoller?

Kein Must-Have: Photovoltaik

Mittlerweile sinkt die Anzahl der Behauptungen „man muss vorher grundsätzlich dämmen“. Es steigt

dafür die Anzahl der Behauptungen, man bräuchte zum sinnvollen Betrieb einer Wärmepumpe eigentlich Photovoltaik. Meistens geht es bei solchen Behauptungen eher darum, das Argument „die Voraussetzungen für eine Wärmepumpe sind zu teuer“ zu führen. Es gibt aber auch viele Betriebe, die grundsätzlich die Kombination PV-WP empfehlen und verkaufen. Mein Heizungsbauer gibt eine Rate von weit über 90 Prozent an; ich war die Ausnahme, habe die Photovoltaik erst später gebaut (siehe ct.de/wau9).

Also: Sie brauchen keine Photovoltaik, damit Ihre Wärmepumpe wirtschaftlich wird. Im Gegenteil sind die meisten mir bekannten Photovoltaikanlagen unwirtschaftlich oder arbeiten mit minimalen Kapitalrenditen unter aktuellem Sparbuch-Niveau - oft trotz Wärmepumpe. Das liegt hauptsächlich daran, dass Wirtschaftlichkeit bei privaten PV-Kunden letztlich nur eine nachrangige Rolle spielt. Welchen Beitrag leistet da eine Wärmepumpe? Die Gruppe Bosch Home Comfort mit den Heizungsmarken Bosch und Buderus hat ermittelt, dass eine PV-Anlage mit Akku je nach Leistung und Speichergröße „bis zu“ 10 Prozent des Heizungsstroms beitragen kann.

Nehmen wir einmal meinen Heizstrom von rund 4000 kWh an und eine Solaranlage, die 10.000 Euro kostet und Boschs Maximum von 10 Prozent schafft (für Laien: eine unrealistisch optimistische Annahme zu rhetorischen Zwecken). Dann müsste sie 60 bis 70 Jahre laufen, um ihre Kosten einzuspielen, je nach Annahmen über den Strompreis. Panels halten 30 Jahre, Wechselrichter normalerweise 15, und eine PV-Anlage, die in die Nähe der 10 Prozent kommen

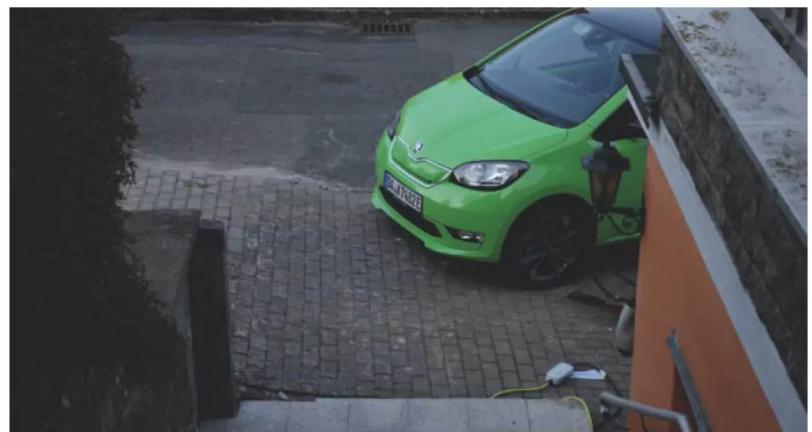


Bild: Clemens Gleich

Ein E-Auto ist der beste Freund des PV-Eigenverbrauchs. Die Wärmepumpe trägt aufgrund ihres Jahreslastprofils meistens weniger zum Eigenverbrauch bei.

Brauchwasser-Wärmepumpen mit „Hygiene-speicher“, hier von Buderus, erwärmen das Frischwasser über eine Schlaufe durchs aufgewärmte Wasser. Für Wärmepumpen ist diese Bauform die eindeutig beste Brauchwasser-Wärmespeicherlösung.



soll, kostet eher 20.000 Euro als 10.000 Euro. Die Wärmepumpe ist also kein Grund, Photovoltaik zu kaufen, sondern nur ein zusätzlicher Verbraucher mit einem eher ungünstigen Profil, weil sie im Winter den meisten Strom braucht.

Wenn Sie wirtschaftliche Haustechnik anstreben, muss die PV-Anlage anhand des gesamten Lastprofils passen, und dazu leistet die Wärmepumpe einen kleineren Beitrag als ihr immer nachgesagt wird. Der beste PV-Verbraucher ist ein gut ausgelastetes und mittags an der Wallbox geparktes E-Auto, weil es die höchste Bedarfsflexibilität mit der höchsten Bezugleistung und Leistungsregelbarkeit kombiniert. Für viele kleine Haushalte ist ein Balkonkraftwerk letztlich schlauer als die große PV-Anlage. Wenn Sie eine PV-Anlage mit Wärmepumpe betreiben, finden Sie im Artikel „PV-Anlage ohne Akku mit Wärmepumpe nutzen“ auf Seite 140 Tipps.

Welche Wärmepumpe und Warmwasserbereitung

Die kosteneffizienteste Wärmepumpenart arbeitet mit der Wärmequelle Außenluft, also eine Luft-Wasser-Wärmepumpe (LWWP), die häufigste Art, oder (seltener) mehrere Luft-Luft-Wärmepumpen (LLWP), also Split-Klimaanlagen, die in unserer Klimazone zu 98 Prozent mit dem Kompressor heizen können (siehe ct.de/wau9). Es gibt zwar viele Wärmequellen außer der Luft, aber ihnen allen ist gemein, dass sie

viel mehr kosten und diese Kosten über ihre Laufzeit nicht durch die höhere Effizienz wieder hereinspielen. Die technische beste Lösung ist die Erd-Wärmepumpe mit Tiefenbohrung. Die wirtschaftlichste Lösung ist die Luft-Wärmepumpe. Sie ist daher die beliebteste Lösung und synonym zum Oberbegriff „Wärmepumpe“ geworden. Die Wärmequelle Luft hat den enormen Vorteil, dass sie von den stetig mildernden Wintern überproportional profitiert.

Da Warmwasser über die meiste Zeit höhere Temperaturen braucht als das Heizungswasser, trägt es in hohem Maße zum Stromverbrauch bei. Typische Brauchwasserwärmepumpen-Arbeitszahlen liegen im Bereich 3, während eine gute Heizung bei wärmerem Wetter über 5 erreicht (siehe ct.de/wau9). Dazu kommen Hygienemaßnahmen: Ein einfacher Behälter voll Warmwasser birgt eine erhebliche Legionellengefahr. Er wird daher normalerweise periodisch auf 70°C durchgeheizt, was viel Strom kostet.

Besser ist es bei Brauchwasser, gleich einen so genannten „Hygienspeicher“ zu kaufen. Bei dieser Bauform speichert das Wasser nur die Wärme. Eine Rohrschlaufe leitet Frischwasser durch, das dabei erhitzt wird. Da das Wasser in der Schlaufe nur wie in jeder Leitung steht, besteht nur das Legionellenrisiko einer Leitung. Mit einem Hygienspeicher können Sie dann das Brauchwasser nur so hoch wie nötig setzen. Er passt also besser zur Wärmepumpe als ein einfacher Behälter.

Achtung: In der Vermietung gelten gesetzliche Mindesttemperaturen zum Seuchenschutz, die Mieter einfordern dürfen. Hier hilft zu erklären und - wichtiger - zu prüfen, ob das geplante Konzept tatsächlich hygienisch funktioniert oder ob im Zweifelsfall die höheren, sichereren Temperaturen zu wählen sind.

Einstellungen und weitere Komponenten

Die Einstellungen werden zur Installation vorgenommen und in der Einlaufzeit nachgeschärft. Alles danach bringt in meiner Erfahrung kaum noch etwas, wenn nicht wirklich grobe Einstellfehler in diesen Phasen gemacht wurden. Oft führt im Gegenteil das Herumgefummel in die Irre.

Auf Youtube gab's viele Videos zum Thema „welche Einstellungen ich für Februar 2024 an meiner WP machte, um den halben Verbrauch zum Vorjahr zu erreichen“. Ich selbst habe allerdings gar keine anderen Einstellungen als im Vorjahr gemacht und trotzdem den Verbrauch im Vergleich zum Vorjahresfebruar halbiert. Die Antwort zu den bemerkens-

werten Verbräuchen liefert die Temperaturaufzeichnung: Dieser Februar war viel wärmer als der ein Jahr zuvor. Der Rest war im Vergleich egal.

Es ist in den meisten Fällen gut, den Ingenieuren der Heizungshersteller deren Steuerungseinstellungen weitgehend so zu erlauben, wie sie das für am besten halten, weil Betreiber nicht wissen, aus welchen Gründen diese oder jene Steuerlogik entstand. Das hilft auch enorm, wenn Garantiefälle auftreten. Oft führt ein „ich weiß das besser“ in guten Szenarien zu einem „Aha! Ich weiß es doch nicht besser.“ und in schlechten zu versteckten Fehlkonfigurationen, die heimlich mehr kosten statt weniger.

Ich zwang einmal meine Wärmepumpe, das Brauchwasser ausschließlich tagsüber zu bereiten. Das sorgte trotz der tagsüber günstigeren Temperaturen für Mehr- statt Minderverbrauch, weil die WP-Steuerung dann den Brauchwasserlauf nicht mehr an einen Heizungslauf anhängen konnte. Das Anlaufen großer Kompressoren kostet erheblich Strom und Verschleiß – so viel, dass manche Geräte eine Schmierölvorwärmung enthalten. Das Zusammenlegen ist also wichtiger, als man zunächst sieht.

Energiemanager und Zusammenfassung

Hersteller von Energiemanagern sprechen oft von Stromkosten-Ersparnissen im Bereich von 30 Prozent oder mehr. Beachten Sie dort wieder die kleine Wortkombination „bis zu“. Ein Energiemanager kann im Sommer problemlos sogar mehr sparen, wenn er beispielsweise Wasch- und Spülmaschine zu PV-Überschüssen schaltet und vorher alles mit Netzzstrom gemacht wurde. Doch wenn bereits vorher tagsüber gewaschen wurde, stimmt das schon nicht mehr. Mehr zu Energiemanagern im Artikel „Stromverbrauch smart managen“.

Für die Heizung gibt es typischerweise ab Februar wieder überschüssige Mengen Solarstrom. Die müssen zur Nutzung gespeichert werden. Wie flexibel die Heizung gesteuert werden kann, hängt daher an der Speicherkapazität und den Wärmeverlusten des Hauses. Ohne Fußbodenheizung gibt es da recht wenig zu holen, und mit Fußbodenheizung sind die Steuerungen so komplex, dass selbst unsere ja technisch interessierten Leser sich beschweren.

Die Marken Bosch/Buderus und Loxone bieten Steuerungen an, die Solarstrom als Wärme im Estrich speichern können, sogar raumweise über die Thermostate. Viele Hersteller arbeiten jedoch mit wesentlich einfacheren Systemen, die einfach die Raum-



Bild: Loxone

Loxones CTO Andreas Hetzendorfer zeigt den Miniserver, der einen umfangreichen Energiemanager enthält. Er ist sich sicher: „Unser Energiemanager lohnt sich immer.“

temperaturen bei Solarleistung erhöhen, und die Sie mit einem Knopfdruck schalten können. Das kann besser sein als ohne Steuerung, muss es aber aufgrund vielfältiger Nebeneffekte nicht. Gedanke: Wenn Sie eine Fußbodenheizung haben, leistet die den Löwenanteil der Effizienz. Sie müssen also den letzten Prozenten nicht über ihre Relevanz hinaus hinterherlaufen. Mehr zur Kombination von PV und Wärmepumpe im Artikel „PV-Anlage ohne Akku mit Wärmepumpe nutzen“.

- Zum Ende entlasse ich Sie mit einer nach Priorität sortierten **Checkliste für eine einfache, aber effiziente Installation:** Gebäude auf Eignung prüfen (rund 70 Prozent des Bestandes sind geeignet)
- Optional: Ohnehin fällige Sanierungen vorziehen, um niedrigere Heizlast zu erreichen
- Luft-Wärmepumpe passend zur aktuellen Heizlast aussuchen
- Hohe Arbeitszahl durch niedrige Vorläufe erreichen (der wichtigste Punkt)
- Im Einlaufbetrieb die Heizkurve einstellen, von unten nach oben
- Arbeitszahl überprüfen, Einstellungen ggf. nachschärfen
- Optional: nach Strompreis steuern lassen (wenn nur ein Knopfdruck nötig)
- Optional: PV-Anlage wirtschaftlich planen, inklusive Wärmepumpe
- Optional: WP nach Wechselrichterdaten steuern (wenn nur ein Knopfdruck nötig) (jow) ct

Weitere Infos und erwähnte Artikel unter
ct.de/wau9

Vorschau: c't Desinfec't 2024/25

Ab dem 27. September im Handel und auf ct.de

Das Sicherheitstool der c't-Redaktion ist seit über 15 Jahren im Einsatz und hilft Windows-Nutzern bei einem Schädlingsbefall aus der Patsche. Damit Windows nicht noch mehr Schaden nimmt, startet Desinfec't als eigenständiges Betriebssystem von einer DVD oder einem USB-Stick und prüft aus sicherer

Entfernung potenziell verseuchte Systeme. Festplatten untersucht es mit Antiviren-Scannern. Mit Profitools kann man unter bestimmten Voraussetzungen sogar verloren geglaubte Daten wie Abschlussarbeiten retten oder ganze Festplatten klonen.

Weitere Infos: ct.de/wwzk

Themenschwerpunkte

- Desinfec't installieren und starten
- Desinfec't anpassen und vielseitig nutzen
- Neue Tools zur Malware-Jagd für Profis
- Aktuelle Malware-Trends und was man dagegen tun kann
- Tipps & Tricks für Desinfec't
- Desinfec't via Btrfs erweitern
- Windows-PCs untersuchen und reinigen
- Hardware-Diagnose mit Desinfec't
- Daten auf Festplatten, SSDs und USB-Sticks retten
- Netzwerk-Forensik mit Desinfec't
- Desinfec't im Netzwerk via PXE booten

Ihr Partner für IT-Weiterbildung

Videokurse für IT-Professionals

 heise academy



Red Hat Enterprise Linux: Containerverwaltung

Lernen Sie mit IT-Profi Tom Wechsler in diesem Videokurs, wie Sie Container mit Podman ohne Root-Rechte bereitstellen und verwalten.



Synchronisation von Identitäten: Entra Connect Sync

Machen Sie sich mit einer der meistgenutzten Synchronisationstechnologien von Microsoft für den Aufbau einer hybriden Infrastruktur vertraut.



Entra ID – Neuerungen in Q2/2024

Entdecken Sie die neuesten Änderungen im Identitäts- und Zugriffsverwaltungsdienst von Microsoft, um Ihren Tenant noch sicherer zu machen.

Jetzt alle Videokurse 7 Tage kostenlos testen: heise-academy.de

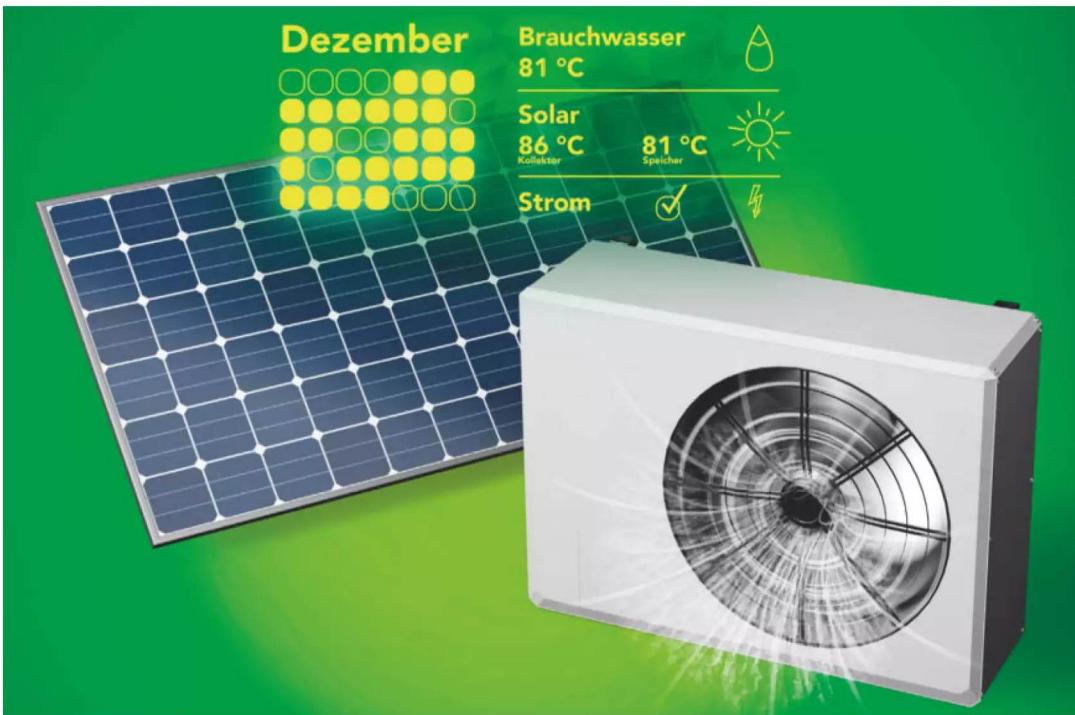


Bild: Moritz Reichartz

Wärmepumpen optimal betreiben

Die Wärmepumpe hat sich als häufigste Neubau-Heiztechnik etabliert und findet auch im Bestand immer mehr Freunde. Mit PV-Strom, variablem Stromtarif oder optimierten Parametern lässt sie sich noch effizienter betreiben, sollte man meinen. Aber dabei gibt es viel zu beachten, manche scheinbare Optimierung erzeugt sogar Zusatzkosten.

Von Clemens Gleich

Es gibt keine Gadgets oder versteckten Einstellungsmenüs, die eine ineffizient laufende Wärmepumpe plötzlich effizient machen. Haustechnik besteht hauptsächlich aus Planung, und je besser die klappt, umso weniger muss hinterher an

Geräten herumgefummelt und im Haus einstellend herumgerannt werden – mehr dazu im Artikel „Wärmepumpen: Was PV, Dämmung & Co. bringen“. Sie können jedoch einige Best Practices automatisieren, um die letzten zehn Prozent zu holen.

Weil die deutschen Winter milder werden, steigt tendenziell der Wirkungsgrad von Luft-Wasser-Wärmepumpen (LWWP), deren Wärmequelle die Außenluft ist. Sie werden daher als Heiztechnik immer attraktiver. Wenn Wirtschaftlichkeit keine Rolle spielt: Die Erdwärmepumpe mit Tiefenbohrung ist das funktional beste System. Für schrittweises Umrüsten im Hybridbetrieb mit der bestehenden Heizung eignet sich die Luft-Luft-Wärmepumpe (LLWP), also eine Klimaanlage mit Heizungsfunktion. Wenn die Verbrennerheizung ganz abgelöst werden soll, muss eine Brauchwasser-Wärmepumpe (BWWP) zur Warmwasserbereitung her. Die meisten Wärmepumpen lassen sich fernsteuern, für eine Förderung ist das eine Voraussetzung. In der Fernsteuerbarkeit liegt Optimierungspotenzial für Energie.

Wärmespeicherkapazität

Eine Wärmepumpe arbeitet dann am effizientesten, wenn sie mit niedriger Leistung lange läuft und das Wärmeniveau wenig heben muss. Das bedeutet für den wassergeführten Heizungsbetrieb (LWWP): mög-

lichst niedrige Vorlauftemperaturen. Im weitaus meisten Neubau und in manchen Bestandsbauten gibt es Fußbodenheizungen, die sowieso mit niedrigen Vorläufen arbeiten und im Betonestrich große Mengen an Wärmeenergie speichern. Wärmespeicher sind zudem viel billiger als elektrische Batterien können anders als sie Energie ohne Degeneration praktisch beliebig oft speichern und abgeben. Deshalb lohnt es sich, hier Kapazität vorzusehen.

Darüber hinaus kann die Wärmepumpe natürlich auch Strom aus dem Hausakku verarbeiten, wenn, ja wenn die Leistung dieses Akkus nebst seines Wechselrichters zur Leistungsaufnahme der Wärmepumpe passt. Sonst muss sie trotz vorhandener Energie zusätzlich Strom aus dem Netz beziehen, weil der Akku ihn nicht in ausreichender Menge bereitstellt.

Egal ob Akku oder Wasser: Diese Speicherkapazität macht die Betriebsflexibilität von Wärmepumpen erst möglich. Alle aktuellen Heizungs-Wärmepumpen sind leistungsregelbar, ganz ähnlich wie die Modulation bei Verbrenner-Heizungen. Es gibt jedoch durch Baugröße, Ökonomie und Physik bedingte Mindestleistungen, mit denen eine Heizung jeweils anläuft. Das gilt auch für die Wärmepumpe. Sie sollten ihre Nennleistung nicht zu groß wählen, weil dadurch die Mindestleistung steigt. Sie sollten die Nennleistung aber auch nicht zu klein wählen, denn sonst kann die Wärmepumpe das Gebäude an den kältesten Tagen nicht mehr warm halten oder der rein elektrische Zuheizer läuft so oft, dass die Effizienz sinkt. Die Bestimmung der richtigen „Heizlast“ eines Gebäudes gehört daher zu den wichtigsten Arbeiten des Heizungsbauers und hat viel mit Erfahrung und Bewohnerverhalten zu tun, weil die genormten Berechnungen praktisch nie stimmen.

Für die Regelbarkeit über Strompreisanreize oder Photovoltaik (PV) braucht die Wärmepumpe ausreichend Mehrleistung, um bei günstiger Energie (PV-Überschuss oder aktuell billiger Strom aus einem dynamischen Tarif) so viel Wärmeüberschuss in die Puffer zu schaffen, dass sich das lohnt. Das ist fast immer so: Eine Wärmepumpe, die zur Gebäudeheizlast passt, hat bei PV-Überschuss, der ja erst ab den wärmeren Übergangszeiten vorkommt, praktisch immer genug Leistungsreserven, um die Puffer zu bestücken, dass sie teurere Stromzeiten brücken kann. Anders kann es bei sehr klein dimensionierten Wärmepumpen etwa im Hybrid-Betrieb mit Gas/Öl/Holz aussehen. Luft-Luft-Wärmepumpen haben praktisch keine Speicherkapazität, können also kaum über die Räume Energie speichern.



Damit die Wärmepumpe das Haus im Winter warm kriegt, muss sie ausreichend dimensioniert sein – und hat eine entsprechende Mindestleistung, die eine PV erst einmal liefern muss, damit der vermeintliche Überschuss-Anlauf nicht in Wirklichkeit Netzstrom zieht.



Der Energiemanager für den PV-Strom kann vom PV-Hersteller stammen oder ein separates System (hier von Bosch) sein. Wichtig ist, dass es mit der Wallbox spricht und möglichst die Wärmepumpe intelligenter unterrichtet als nur per „SG Ready“-Klopfzeichen.

Bild: Bosch

Verlust vs. Speicher

Leistung ist also selten ein Problem, Pufferkapazität schon. Beispielsweise speichert ein Haus mit Heizkörpern statt Fußbodenheizung weniger Wärme im Estrich, sodass ein zusätzlicher Heizwasserpuffer wichtiger wird. Für die kostenoptimierte Nutzung volatiler Energien (PV- und Windstrom) brauchen Sie schlicht und ergreifend Wärmespeicher, weil Stromspeicher noch viel teurer sind.

Deren optimale Größe hängt von den Wärmeverlusten des Gebäudes ab – aber für die Pufferung von Sonnenenergie eignen sich auch die meisten suboptimalen Konfigurationen, solange in den Übergangszeiten signifikant PV-Strom als Wärme gebunkert werden kann. Die grobe Empfehlung lautet auf 50 bis 100 Liter Pufferwasser pro Kilowatt installierter Heizleistung je nach den restlichen Parametern des Hauses. In dieser großen Spange lässt sich die Pufferkapazität meistens selbst mit Heizkörpern für einen kleinen Kostenvorteil nutzen.

Wenn die Wärmepumpe gut geplant und eingestellt ist, gibt es wie eingangs skizziert nicht mehr besonders viel zu holen. Die richtige Projektierung ist der größere Teil der Lebenszeit-Betriebskosten. Mit einigen einfachen Einstellungen holen Sie einen weiteren Batzen heraus; nach Untersuchungen unter anderem von Huawei Deutschland bringt das schon etwa 70 Prozent der Effekte aufwendiger Steuerungen. Überprüfen Sie aber alle Maßnahmen: Bei uns führte das scheinbar banale Erzeugen des Brauchwassers nur tagsüber zu einer ineffizienten Brauchwasserbereitung und erhöhtem Verschleiß, Details dazu im Artikel „PV ohne Akku mit Wärmepumpe nutzen“.

Mit schlauerer Steuerung können Sie zwar nur relativ geringe Vorteile – üblicherweise im Bereich 10 Prozent – holen, die können jedoch aufgrund der absolut hohen Stromverbräuche trotzdem über die Langstrecke lukrativ werden. Aber Achtung, auch die vermeintlich schlauen Maßnahmen können durchaus mehr statt weniger Energie verbrauchen. Das

gilt vor allem in Häusern mit geringen Speicherkapazitäten bei gleichzeitig hohen Wärmeverlusten, wie sie im Bestand üblich sind. Ein Beispiel sind schlechte Einstellungen für „SG Ready“.

Klopzeichen per SG Ready

Fast alle Wärmepumpen tragen ein Label namens „SG Ready“, weil das eine Förderbedingung ist. SG Ready ist ein simples binäres Zweidraht-Zustandsystem, das vier Betriebszustände abdeckt:

1. Nicht heizen; Sperrung, wie sie beispielsweise für die Sperrzeiten in Heiztarifen gebraucht wird.
2. Normalbetrieb mit einer Leistung, die Wärme auch für die Sperrzeiten produziert.
3. Erhöhter Normalbetrieb als „Einschaltempfehlung“. Die WP-Steuerung kann dennoch entscheiden, dass jetzt nicht eingeschaltet wird.
4. Anlaufbefehl mit vorher hinterlegten Parametern für beispielsweise höhere Vorlauftemperaturen.

Vier Zustände sind ein grobes Raster, in dem eine wichtige Kenngröße fehlt, nämlich die aktuell optimale Leistung. Für die Steuerung über SG Ready wird eine Anlaufleistung als fester Wert hinterlegt. Wenn die PV-Anlage nun einen Anlaufbefehl sendet, läuft die Wärmepumpe mit dieser voreingestellten Leistung an – aber diese liegt häufig höher als die aktuelle PV-Überschussleistung. Die Differenz zieht sich die Wärmepumpe zwangsläufig aus dem Netz. Da die hinterlegten Parameter des Anlaufbefehls aber im Allgemeinen eine Temperaturerhöhung für die Wärmespeicherung bewirken sollen, kann die Wärmepumpe am Ende sogar mehr Netzstrom verbrauchen als ohne diesen ganzen Aufriß.

Oder das Wetter wechselt. Schwankt der solare Ertrag, müsste die Steuerung die Wärmepumpe beim unteren Einstellpunkt wieder abschalten, dann nach Vorüberzug der Wolke wieder einschalten, was in extremo zu Taktungen im Raster der SG-Ready-Latenz von 10 Minuten führt. Feine Steuerungen müssen daher den Wetterbericht verarbeiten. Vor allem aber brauchen sie mehr als die Klopzeichen von SG Ready, so gut das System gemeint war.

Besser mit Bus

Eine bessere Regelung erfordert also eine klassische Datenübertragung. Sie läuft über eine Vielzahl von Protokollen und Übertragungsmedien: Es gibt im Heizungsbau öfter RS-485 (EIA-485) und darauf aufbau-

end Modbus RTU, was zusätzliche Kabel benötigt. Es gibt aber auch Modbus TCP über TCP/IP, als Esperanto-Versuch in Europa EEBus und weitere proprietäre Protokolle. Viele nutzen wie meist heute in Wohnhäusern WLAN und auf TCP/IP aufbauende Haustechnik-/Energieprotokolle. Das hat den Vorteil, dass es alle Komponenten fertig aus dem Regal gibt – inklusive Verschlüsselung, arbeitet doch die EU bereits an Vorgaben für verschlüsselte Haustechnik-Kommunikation.

Die Firmengruppe Bosch Home Comfort mit den Wärmepumpen-Heizungsmarken Bosch und Buderus nutzt proprietäre Protokolle aufgesetzt auf Internetstandards; eine offenere Lösung hält der Konzern schlüssig für unwirtschaftlich. Diese Ansicht teilen einige Anbieter, sodass Sie öfter vor der Entscheidung stehen werden: Kauf bei uns alles oder nichts! Nachteil: unflexibel für heterogene Herstellerstrukturen. Vorteil: gutes Zusammenspiel. Wärmepumpen von Bosch oder Buderus gehören zu den wenigen Geräten, die sich vom Energie-Management fein gestuft direkt in der elektrischen Leistung regeln lassen statt indirekt über Temperaturvorgaben – leider nur mit dem hauseigenen Bosch Smart Home Manager.

Doch auch die verbreiteten, unverschlüsselten, offenen Protokolle sind kein Garant für gute Zusammenarbeit. Um die babylonische Vielfalt unter einen Hut zu bekommen, sind Gateways möglich, die ein Protokoll auf ein anderes mappen. Um den proprietären schwedischen Dialekt etwa einer Wärmepumpe von Nibe auf Modbus zu übersetzen, muss man im dortigen Werkzeugzubehör einen Kasten dazukaufen, der auf Modbus RTU übersetzt. Soll die Nibe in einen KNX-Haushalt integriert werden, müsste ein weiterer Simultanübersetzer ran. Aufgrund der gnadenlosen Zwänge der Kombinatorik kann Ihnen dieser Text nicht sagen, wie es bei Ihnen konkret sein muss, sondern Sie müssen schauen, auf welchem aufwandsärmsten Weg die Heizung mit der Stromerzeugung sprechen kann. Das ausformulierte Beispiel finden Sie im Artikel „PV ohne Akku mit Wärmepumpe nutzen“. Leider sind Heizungsbauer mit guten Vernetzungskenntnissen noch wesentlich rarer als Heizungsbauer ohnehin schon, rechnen Sie also nicht mit schneller Verfügbarkeit professioneller Hilfe bei solchen Projekten. Am ehesten können Ihnen Gebäudeautomatisierungsfirmen helfen, also Personal von zum Beispiel Loxone-Fachbetrieben.

Energiemanager

Die Zuteilung von Strom im Haushalt erledigt ein Energiemanager in Form einer Software im PV-

Wechselrichter, als eigener Rechner auf einer Hutschiene montiert oder als zusätzliches Modul im Hausverwaltungssystem installiert – Details dazu im Artikel „Stromverbrauch smart managen“. Wichtig ist immer: Der Energiemanager braucht die Live-Stromverbrauchsdaten des Hauses. Am liebsten verkaufen Haustechnikfirmen natürlich ihre eigene Strommessung. Mit dieser Strommessung, den Erzeugungsdaten vom Wechselrichter, eventuell den Strommarktpreisen und den Verbrauchsdaten von Wärmepumpe und Wallbox optimiert der Energiemanager algorithmisch die Stromzuteilung. Das passiert, indem er der Wärmepumpe idealerweise sagt, wie viel PV-Leistung gerade überschüssig vorhanden ist, damit sie auf diese Leistung einregelt, wenn das in Sachen Sicherheit, Komfort und Verbrauch sinnvoll ist. Es gibt auch hier wieder sehr einfache Steuerungen, die nur implizit über das Verschieben der Heizkurve die Leistung regeln, es gibt aber auch leider seltener konkrete elektrische Leistungsregelung anhand des verfügbaren Überschusses.

PV-Überschuss lohnt sich oft, im Haus als Wärme zu bunkern, weil der deutsche Strom so teuer ist. Bei Fußbodenheizungen bedeutet das idealerweise: Die Temperatur bestimmter Räume wird über die steuerbaren Einzelraumthermostate erhöht. So etwas gibt es zum Beispiel beim Bosch Smart Home Manager in der dazugehörigen Energiemanager-App oder bei Loxone. Das Bad bietet sich bei ausreichender Bodenfläche an, weil dort ein, zwei Kelvin mehr am Boden als eher angenehm empfunden werden. Bei vielen Anbietern gibt es gröbere Regelungen, die einfach die gesamte Haustemperatur anheben – mit dem Nachteil, dass die sonnenbeschienenen Räume dann zu warm werden können und die Fensersonnenwärme schlecht nutzen. Einen Teil der im Boden gespeicherten Wärme verlieren Sie einfach wieder über die Gebäudehülle, einen Teil behalten Sie aber bis über den Zeitpunkt hinaus, an dem ohne PV-Überschuss die Wärmepumpe angelaufen wäre. Dieser zweite Teil muss mehr sparen, als die Aktion mit Mehrleistung kostet – was schwer im Alltag prüfbar ist.

Man kann auch per Heizkörper oder Luft-Luft-Wärmepumpe die Temperatur erhöhen, trifft dann aber auf das Problem, dass Luft pro Volumeneinheit nur rund ein 2000stel der Wärme von Beton trägt. Das bedeutet, dass diese Temperaturerhöhung nur zu einem geringen Teil in Wänden und Böden landet, aber in der kurzen Zeit der Energieüberschüsse zum größten Teil vor allem in Bestandsbauten nach drau-

ßen geht. Auch hierzu gibt es kaum Daten zur Frage „Lohnt sich das?“, die Antwort dürfte jedoch sein: „Eher selten“.

Dynamische Strompreise

Manche Steuerungen für Heizungen direkt im Gerät oder im Energiemanager bieten Optionen für dynamische Strompreise, die sich nach Day-Ahead-Börsenpreisen stündlich ändern. Diese Tarife gibt es seit Längerem von Pionieren wie Awattar oder Tibber, ihre Zahl wächst jedoch gerade schnell, weil ab 2025 jeder Stromanbieter so etwas anbieten muss. Siehe dazu auch die Praxiserfahrungen im Artikel „Tibber: Dynamische Strompreise im Test“. Da die Wärmepumpe hierbei keine Leistungsbegrenzung für das Preisfenster hat, muss sie auch mit niemandem verhandeln, wie viel Strom sie am besten zieht. Das vereinfacht die Sache ungemein.

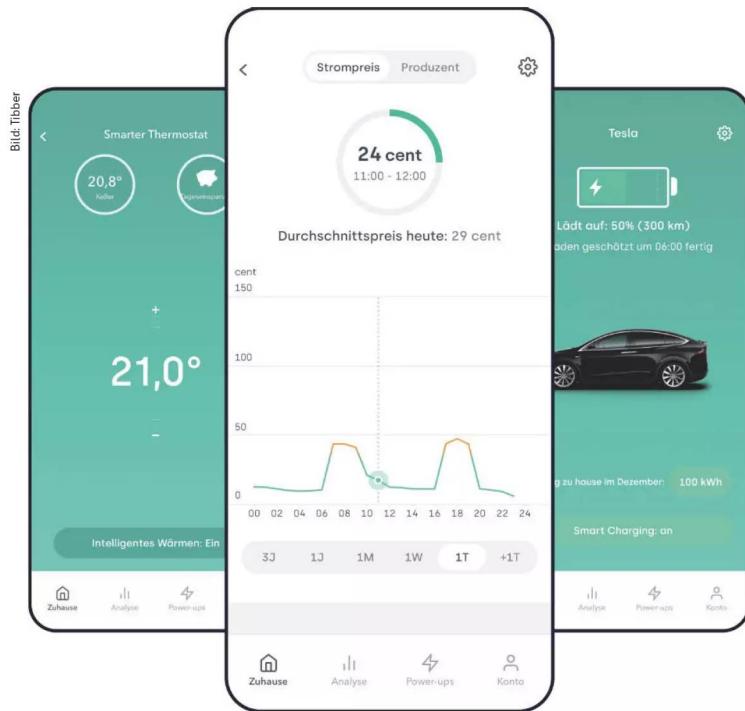
Die Steuerungen, die nach Strompreis heizen, ziehen meistens einfach die Heizkurve analog zu den Preisen rau auf und runter. Bedeutet: Die Raumtemperatur schwankt je nach Stärke der (meist einstellbaren) Regelung im Rahmen dessen, was Einzelraumthermostate nicht ausregeln können und bei komplett heizungsgeführter Temperatur schwankt eben alles komplett mit. Es ist nur die Frage, ob das jemand merkt. Da allerdings der deutsche Strompreis hauptsächlich aus Nebenkosten besteht und die Wärmepumpe nicht beliebig flexibel heizen kann, ohne dass jemand friert, liegt das Sparpotenzial hier entsprechend niedrig: Nibe etwa spricht von 10 Prozent. Gehen Sie also in der Praxis von weniger aus.



Bild: Loxone

Damit Photovoltaik, Heizungen und das übrige Smart Home sinnvoll miteinander kommunizieren, kommt schnell deutlich mehr Technik zusammen, als man bei der ursprünglichen Planung dachte. Deren Anschaffungs- und Betriebskosten wollen erst einmal eingespart werden.

Stromtarife mit flexiblem Preis lohnen sich eher fürs E-Auto, das erst irgendwann morgen geladen sein muss, aber weniger für Wärmepumpen, weil sie Wohnungen nur begrenzt mit billigem Strom vorheizen oder bei teurem Strom auskühlen lassen sollten.



Fazit: Kaufmann oder Hobbyist?

Wie schon eingangs erwähnt sind die maximalen Effekte des nicht unerheblichen technischen Aufwandes, die Wärmepumpe vermeintlich smart zu steuern, in Häusern mit geringer Speicherkapazität gering, während es durchaus Risiken gibt. Das kleinere Risiko sind höhere oder identische statt niedrigere Stromverbräuche, die Sie aufgrund fehlender oder falscher Vergleichsdaten für Ersparnisse halten. Das größere Risiko sind kaputtgespielte Wärmepumpen. Wenn also Haustechnik nicht Ihr Hobby ist, sollten Sie überlegen, ob sich das bei Ihrem konkreten Haus lohnt – vor allem in Zeiten schlecht verfügbarer Handwerker.

Speicherkapazitäten sind der beste Anhaltspunkt. Eine Brauchwasserbereitung tagsüber – wenn das bei Ihnen konfliktfrei funktioniert – und ein tagtäglicher Heizbetrieb erzielt übers Jahr etwa 70 Prozent des Spareffekts einer automatisierten Lösung selbst mit PV, hat aber keine deren Risiken. Darüber hinaus die letzten zehn Prozent zu holen lohnt sich, wenn die absoluten Energiewerte des Heizens einen großen Anteil der Nebenkosten ausmachen. Sie benötigen aber eine solide Automatisierungslösung –

hierbei geht es vor allem um Kompetenz, die Sie selbst haben oder einkaufen müssen.

Wenn es nicht (nur) um wirtschaftliche Kenndaten geht, sondern Haustechnik Ihr Hobby ist oder werden soll, haben Sie einen gigantischen Spielplatz entdeckt. Bei Neuanlagen ist es sinnvoll, weitgehend in einer Firmenwelt zu bleiben, inklusive Kooperationen. Ihr Wärmepumpen-Hersteller verrät Ihnen, was Sie am besten kaufen, hängeln Sie sich von dort bei anstehendem Geräteaus tausch die Anschaffungskostenpyramide hinunter. Loxone platziert sich als Generalist, der alles mit allem sprechen lässt. Bosch kombiniert sicheres Energiemanagement mit anderen Smart-Home-Funktionen.

Energie-Management lässt sich parallel zum restlichen Smart Home betreiben. Sie können also die Produkte verwenden, die Ihre Solarfirma kennt. Kostal, SMA, E3/DC, Smartfox, Solar-Log, Solarwatt, um nur einige zu nennen, haben alle Energiemanager im Angebot, die auch die Heizung steuern können – zumindest über SG Ready. Es gibt bis auf die getrennten Interfaces keine Nachteile, das mit HomeMatic, OpenHAB oder anderen Smart-Home-Systemen zu kombinieren.



Bild: Moritz Reichartz

Smarte Heizungs-thermostate im Test

Smarte Thermostate sorgen für die richtige Temperatur zur richtigen Zeit und schaffen so den Spagat zwischen Komfort und Energiesparen. Sie lassen sich ohne Fachkenntnisse in wenigen Minuten montieren. Einfache Modelle bekommt man schon für wenige Euro im Baumarkt, doch die getesteten mit Smart-Home-Optionen bieten mehr Komfort und raffiniertere Sparmöglichkeiten.

Von Stefan Porteck

Wenn morgens der Wecker klingelt, ist das Bad schon auf kuschelige 22 Grad temperiert. Öffnet man nach dem Duschen das Fenster, stellt sich die Heizung für eine Viertelstunde komplett aus. Sobald sich die Familie auf den Weg zur Arbeit und zur Schule gemacht hat, werden alle Räume auf 19 Grad geregelt und erst zum Feierabend gehts wieder hoch auf 21 Grad: Smarte Heizungsregler versprechen Komfort und Heizkostenersparnis, weil nur dann und nur so viel geheizt wird, wie gerade Wärme gefordert wird.

Wir haben sechs solcher Geräte zur Montage an Heizkörpern für einen Test in die Redaktion geholt. Mit von der Partie sind das Fritz DECT 302 von AVM, an Smart-Home-Ökosysteme gekoppelte Modelle von Aqara, eQ-3 und Shelly sowie Geräte der Heizungsspezialisten Netatmo und Tado.

Kleiner Eingriff

Alle smarten Heizkörperthermostate funktionieren mechanisch identisch: Ein batteriebetriebener Mo-

tor drückt den Ventilstift am Heizkörper hinein und regelt so die Durchflussmenge des Heizwassers.

Der Tausch der herkömmlichen Thermostate gegen die Heizungsregler aus unserem Test gelingt auch handwerklich Unbegabten in wenigen Sekunden. Fast alle Geräte haben ein metrisches Feingewinde ($M30 \times 1,5$ mm), das dank Normung auf die meisten Heizkörperventile passt. Bei allen liegen darüber hinaus Adapter für die ebenfalls weitverbreiteten Ventile von Danfoss mit in der Verpackung. Damit sollten die Heizungsregler auf nahezu jeden gängigen Heizkörper passen.

Für die Montage braucht es keinen Heizungsinstallateur, und auch das Wasser kann im System bleiben: Man muss lediglich die Überwurfmutter des bisherigen Thermostats losdrehen und es abziehen. Oft klappt das ohne Werkzeug mit den Fingern. Sitzt die Mutter zu fest, löst man sie leicht mit einer Rohrzange. Da das eigentliche Ventil im Heizkörper verbleibt, tritt beim Wechsel kein Wasser aus. Anschließend wird der smarte Thermostat aufs Ventil gesetzt und die Mutter wieder angezogen. Sofern einer der mitgelieferten Kunststoffadapter aufs Ventil geschraubt wurde, sollte man beim Anziehen der Mutter auf die Rohrzange verzichten. Die alte Handwerker-Weisheit „nach fest kommt ab“ gilt für weiches Plastik noch mehr als für Gewinde aus Metall.

Da die smarten Thermostate die Heizung genauso auf- und zudrehen wie analoge Modelle, braucht man nicht zu befürchten, dass der Einbau der Heizungsanlage, der Therme oder der Wärmepumpe schadet. Auch eine Erlaubnis des Vermieters ist nicht nötig, da kein Eingriff in die Heizungsanlage erfolgt und sich der Urzustand wiederherstellen lässt. Bevor man aber die Zange aus dem Keller holt, sollte man zunächst zum Zollstock greifen: Aufgrund der Motoren und der Batterien haben die smarten Thermostate einen größeren Durchmesser und sind auch etwas länger als ihre klassischen Geschwister. In verwinkelten Ecken oder unter Fensterbänken passt nicht jedes Modell.

Variable Wirkung

Die meisten Hersteller smarter Thermostate werben mit deutlichen Einsparungen bei den Heizkosten. Oft werden Werte von mehr als 25 Prozent angegeben. Experten sind sich zwar einig, dass smarte Heizungsregler nennenswert Energie sparen können, doch so hohe Werte erreicht man nur unter bestimmten Bedingungen – und derer gibt es einige. Wer beispielsweise an seiner Therme oder dem Kessel

eine Nachtabsenkung der Vorlauftemperatur programmiert hat, wird kaum etwas dadurch sparen, dass die Thermostate die ohnehin kühlen Heizkörper zudrehen. Ähnliches gilt, falls man stets gewissenhaft alle Heizungen runterdreht, bevor man das Haus verlässt. Die automatische Absenkung bei Abwesenheit spart dann auch nur marginal. Bei den Geräten mit Bridge muss man zudem deren Stromkosten gegenrechnen.

Auch die Heizung und das Haus selbst spielen eine große Rolle. Hat man hohe Energiekosten, zum Beispiel wegen eines teuren Gasvertrags oder einer alten Therme mit schlechtem Wirkungsgrad, lassen sich deutlich mehr Euros einsparen als bei grundsätzlich geringen Heizkosten. Ähnlichen Einfluss hat die Dämmung: Je besser das Haus die Wärme halten kann, desto weniger Energie muss über die Heizung aufgebracht werden und entsprechend geringer fällt das Sparpotenzial aus.

Das geht so weit, dass wir in Niedrigenergie- und Passivhäusern sogar die Erfahrung gemacht haben, dass smarte Thermostate eine kontraproduktive Wirkung zeigen: Das Energiekonzept solcher Häuser ist darauf ausgelegt, die Temperatur konstant zu halten, damit Wände, Decken und den Fußboden nicht auskühlen. Dank der guten Dämmung arbeiten die Heizungsanlagen mit deutlich geringerer Vorlauftemperatur, denn sie müssen nur einen geringen Wärmeverlust ausgleichen. Ständiges, automatisiertes Abdrehen der Heizkörper führt dazu, dass das Gebäude langsam ausköhlt und es dann mitunter mehrere Tage dauert, bis die Heizung wieder die Wohlfühltemperatur ermöglicht.

Vernetzt macht smart

Unabhängig davon punkten smarte Heizungsthermostate stets mit einem Plus an Komfort. So lassen sich bei allen Testkandidaten neben der obligatorischen Nachtabsenkung auch individuelle Heizpläne anlegen, beispielsweise ein längeres Halten der Komforttemperatur an den Abenden des Wochenendes.

Stoisch eine Programmierung zu durchlaufen macht die Thermostate aber nicht smart – das können schließlich auch billige Modelle aus dem Baumarkt. Die Geräte dieses Tests entfalten ihren vollen Funktionsumfang erst aus dem Zusammenspiel mit dem Smartphone. Dafür müssen sie über eine Funkstrecke mit dem heimischen Netzwerk verbunden sein.

Der AVM-Thermostat nutzt mit DECT einen Funkstandard, der seinerzeit für tragbare Telefone entwickelt wurde und sich mittlerweile auch auf strom-

sparende Kommunikation zwischen Smart-Home-Geräten versteht (Ultra Low Energy). Der Vorteil von DECT-ULE: Die meisten Fritzboxen von AVM unterstützen das Protokoll, sodass sich die Thermostate direkt an einer bereits vorhandenen Fritzbox anmelden lassen.

Besonders einfach macht es sich das Shelly TRV, denn es kommuniziert via WLAN – doch WLAN zählt nicht gerade zu den stromsparenden Lösungen. Damit dem TRV nicht bereits während der Heizsaison der Saft ausgeht, integriert Shelly einen Akku mit einer Kapazität von 6500 mAh. Mit einer Ladung soll er rund zwei Jahre durchhalten. Aufgeladen wird über eine USB-C-Buchse. Wer keine Steckdose in der Nähe des Heizkörpers hat, muss den Thermostat also entweder abschrauben oder eine Powerbank anstöpseln.

Die vier anderen Thermostate benötigen eine Basisstation oder Bridge. Die Thermostate von Netatmo und eQ-3 kommunizieren proprietär über 868-MHz-Funk mit ihren Basisstationen. Aqara wiederum nutzt mit Zigbee einen Standard, der schon länger bei Smart-Home-Geräten etabliert ist. Das neue X-System fungt mit dem Funkstandard Thread. Die Verbindung zum WLAN-Router erfordert eine Bridge, den sogenannten Thread Border Router. Ihn hat Tado im Starterkit mit einem Thermostat im Angebot.

Da das X-System auch den Smart-Home-Standard Matter beherrscht, kann man auf die Tado-Bridge verzichten und stattdessen einen Thread-fähigen Matter-Controller als Vermittlungsstelle nutzen. Im Test machte es keinen Unterschied, ob ein Apple-Gerät oder die X-Bridge von Tado als Thread Border Router diente. Bei der Software-Einrichtung klinkten sich die Tado-Thermostate nahtlos in ein vorhandenes Thread-Netzwerk ein, ohne eine Rückmeldung zu geben, mit welcher Hardware sie dabei Kontakt aufnahmen. Eine bereits installierte X-Bridge nachträglich aus dem Netzwerk zu entfernen, indem man sie aus der Steckdose zieht, blieb folgenlos. Die Tado-Thermostate funkteten nahtlos weiter, offenbar suchten sie sich andere Knotenpunkte in unserem Thread-Netzwerk. Die Mesh-Funktion dieses Funkprotokolls erwies sich in dieser Hinsicht als Vorteil.

Smart mit Zubehör

So unterschiedlich die Funkverbindungen, so unterschiedlich sind auch die Ökosysteme der Hersteller: Tado beschränkt sich auf Heizungs- und Klimasysteme. Zubehör wie Tür- und Fensterkontakte bietet das deutsche Unternehmen nicht an. Wer solche



Schick, ausgereift, aber mit monatlichen Abokosten: Das System von Tado beschränkt sich aufs Thema Heizen, bietet aber viele praktische Funktionen.

externen Sensoren von Drittanbietern einbinden möchte, muss das über eine Smart-Home-Software wie OpenHAB tun. Auf der Habenseite steht, dass das Tado-System einfach und aus einem Guss ist. Ähnlich verhält es sich bei Netatmo. Zwar verkauft der französische Hersteller mittlerweile Fenstersensoren, doch die sind nur für seine Alarmanlage gedacht und spielen nicht mit den Heizungsreglern zusammen.

Anders bei Aqara, AVM, eQ-3 und Shelly. Dort sind die Heizungsregler Teil eines umfangreichen Smart-Home-Ökosystems und lassen sich mit anderen Produkten der Hersteller sinnvoll kombinieren. Ein naheliegender Fall ist der Einsatz von Fensterkontakten: Zwar haben alle Geräte interne Temperaturfühler für die Heizungsregelung; sobald diese ein abruptes Abfallen der Temperatur bemerkten, gehen sie davon aus, dass ein Fenster geöffnet wurde, und drehen die Heizung kurzzeitig zu, damit beim Lüften nicht weiterhin geheizt wird. Aber das klappt nur in wenigen Fällen zuverlässig, entweder weil die Heizkörper gar nicht in der Nähe der Fenster angebracht



Aqara Radiator E1

Der Thermostat Radiator E1 von Aqara gehört zu den schickeren Testkandidaten. Das Segment-LCD mit schwarzem Hintergrund an der Stirnseite sieht zwar hübsch aus, aber je nach Standort des Heizkörpers und der Möblierung kann man es möglicherweise schlecht oder gar nicht ablesen. Der Bedienung am Gerät tut das kaum einen Abbruch: Der Drehring am Thermostat klickt dezent bei jedem Schritt von 0,5 Grad Celsius.

Gefunkt wird über Zigbee 3.0, weshalb man zusätzlich einen Hub benötigt. Für unseren Test haben wir auf Aqaras aktuelle Smart-Home-Zentrale M2 zurückgegriffen. Sie integriert auch alle anderen Geräte aus dem Smart-Home-Universum des chinesischen Herstellers. Wer seine Heizung pimpfen möchte, findet von Aqara auch Tür- und Fensterkontakte sowie externe Temperaturfühler.

Die Aqara-App hat ein schickes Design und bedient sich intuitiv. Sämtliche Thermostate und andere Smart-Home-Geräte lassen sich in Gruppen und Räume ordnen. Der Clou ist die Automatisierung mittels Szenen oder Regeln. Letztere erstellt man nach dem Wenn-Dann-Prinzip in wenigen Sekunden am Smartphone. So schaltet man beispielsweise über ein Geofencing die Heizung automatisch ab, wenn man samt Smartphone die Wohnung verlässt. Ähnlich fix klicken Besitzer von Fensterkontakten eine Absenkung beim Lüften zusammen.

⬆️ schöne, umfangreiche App

⬆️ viel Zubehör

⬇️ Account-Zwang

Preis: 45 Euro



AVM Fritz! DECT 302

Der Heizungsregler von AVM arbeitet direkt mit DECT-fähigen Fritzboxen zusammen. Das Modell DECT 302 ist bereits die zweite Generation und im Vergleich zum Vorgänger hat AVM sich einiger Kritikpunkte angenommen: Der Motor läuft deutlich leiser, wenn auch nicht ganz so flüsterleise wie bei etwa bei eQ-3 oder Aqara. Als störend empfanden wir den Geräuschpegel des DECT 302 nicht.

Um die Batterien zu schonen, funktioniert der Thermostat nicht permanent, sondern wacht nur alle fünf Minuten auf. Sofern man in der App die Temperatur verstellt, dauert es durchschnittlich zweieinhalb Minuten, bis die Änderung auf dem Gerät ankommt – je nachdem, wie lange der letzte Kontakt zwischen Thermostat und Fritzbox zurückliegt. Beim Vorgänger waren es noch zehn Minuten. Soll es schneller gehen, klappt die Bedienung am Gerät sehr gut: Das E-Paper-Display zeigt die Temperatur und den Betriebsmodus. Für eine gute Ablesbarkeit in jeder Position lässt sich die Anzeige in 45°-Schritten rotieren. Es fehlt aber eine Beleuchtung. Die Modi für Aufheizen und Lüften sind wie die Soll-Temperatur auf Knopfdruck erreichbar. Zeitpläne lassen sich sehr leicht mit der Maus im Browser auf der Oberfläche der Fritzbox anlegen. Sie erlauben für jeden Tag bis zu 96 Wechsel. Es werden allerdings nur zwei Soll-Temperaturen unterstützt: die Komforttemperatur und die Absenktemperatur. Wer feinere Abstufungen wünscht, muss den Heizungsregler in eine Smart-Home-Zentrale einbinden.

⬆️ datensparsam, ohne Cloud-Zwang

⬆️ braucht keine gesonderte Bridge

⬇️ keine Displaybeleuchtung

Preis: 50 Euro



eQ-3 Homematic IP Evo

Das Homematic IP Evo hat der deutsche Hersteller eQ-3 im Vergleich zum Vorgänger optisch aufpoliert. Während das weiterhin angebotene Standardmodell ein LCD nutzt, wird beim IP Evo der weiß glänzende Kunststoff auf der Oberseite von Segment-Ziffern durchleuchtet. Das sieht schick aus und lässt sich gut ablesen. Je nach Montage kann man die Anzeige um 180 Grad drehen. Die Temperatur lässt sich manuell am Thermostat verstellen, indem man das gesamte Gerät einige Millimeter nach rechts oder links dreht. Über den Knopf erreicht man die Boost-Funktion für schnelles Aufheizen.

Gefunkt wird proprietär auf 868 MHz. Entsprechend wird der Homematic-Access-Point benötigt und muss per Ethernet-Kabel an den Router angeschlossen werden. Die Einrichtung des IP Evo klappt wie bei anderen Smart-Home-Komponenten von eQ-3 in wenigen Sekunden durch Scannen eines QR-Codes.

Sofern man Temperatursensoren oder Fensterkontakte von eQ-3 dazu kauft, lässt sich der Heizungsregler mit Automatisierungen weiter versmarten. In der übersichtlichen App legt man mit wenig Aufwand einfache Wenn-Dann-Regeln an. Alternativ hievt man die Thermostate ins Ökosystem von Amazon oder Google. Beides hat eQ-3 über Token datenschutzfreundlich gestaltet. Gleiches gilt für die App und die Smart-Home-Zentrale, die angemeldete Geräte anhand ihrer Seriennummern identifiziert, sodass kein Benutzer-Account und keine Angabe persönlicher Daten erforderlich sind.

-
- ⬆️ **datensparsam**
 - ⬆️ **Smart-Home-Ökosystem**
 - ⬇️ **teuer**
- Preis:** 80 Euro
-



Netatmo Thermostat

Die Heizungsregler von Netatmo fallen durch ihr schlankes und schickes Äußeres ins Auge: Das Gehäuse wird von milchigem Plexiglas eingefasst. Auf der Oberseite steckt ein E-Paper-Display, das die Soll- und die Ist-Temperatur anzeigt. Wie bei AVM fehlt auch bei Netatmo eine Displaybeleuchtung. Auf Knöpfe am Gerät muss der Nutzer ebenfalls verzichten. Zu manuellen Verstellen der Temperatur lässt sich der Regler einige Millimeter nach links und rechts drehen. Die Bridge kommt ebenfalls im Milchglasdesign daher und steckt ohne Kabel als flaches Kästchen direkt in der Steckdose – also in den meisten Fällen im Sichtbereich. Die Verbindung zum heimischen Router baut sie über WLAN (2,4 GHz) auf und kommuniziert auf 868 MHz mit den Heizungsreglern.

An smarten Funktionen bringen die Heizungsregler eine Fenster-offen-Erkennung mithilfe der internen Temperaturfühler mit. Externe Sensoren oder Fensterkontakte lassen sich nicht verknüpfen, weshalb die Erkennung ähnlich ungenau ist wie bei den anderen Testkandidaten. Als Zubehör gibt es schicke Raumthermostate mit E-Paper-Display, die die Wunschtemperatur für einzelne Räume oder das ganze Haus vorgeben.

In der übersichtlichen App lassen sich mehrere Tages- und Wochenpläne mit individuellen Temperaturen anlegen. Auf Wunsch passen die Thermostate den Aufwärmzeitpunkt an die Raumgröße und die Außentemperatur an, so dass die Heizung schon vor dem programmierten Zeitpunkt aufgedreht wird.

-
- ⬆️ **schönes Design**
 - ⬆️ **externe Thermostate**
 - ⬇️ **keine Fenstersensoren**
- Preis:** 90 Euro
-



Tado Heizkörper-Thermostat (X-System)

Tado hat sich gänzlich dem Thema Heizen verschrieben. Neben Heizkörperreglern bietet das Unternehmen auch externe Thermostate und Zentralthermostate und für das ältere V3-System auch solche mit Thermen- oder Klimaanlagensteuerung; es fehlen aber weitere Smart-Home-Komponenten wie Fenstersensoren. Das mattweiße Finish wird auf der Stirnseite von einem Touchscreen-Display unterbrochen. Dank des integrierten Akkus entfallen zwar die üblichen Batteriewechsel. Unkomfortabel gelöst ist jedoch, dass man den Akku für die laut Tado zweistündige Ladepause herausschrauben muss. Nur dann ist seine USB-C-Buchse zugänglich.

Die App ist übersichtlich gestaltet. Auf der Startseite geben große Kacheln Aufschluss über die Temperaturen und die Luftqualität. Zeitpläne lassen sich in der App mit wenig Aufwand anlegen. Alle Werkstage oder das Wochenende gebündelt zu programmieren, geht anders als bei den Vorgängern nicht. Dafür speichern die neuen Thermostate die Heizpläne lokal und nicht mehr nur in der Cloud, auch wenn der generelle Cloud-Zwang bestehen bleibt. Bei einem Internetausfall arbeitet das System zumindest offline weiter.

Im Alltag wartet das Tado-System mit smarten Funktionen auf. So bezieht es Wetterdaten vom Wohnort automatisch in die Heizpläne mit. Mittels Geofencing am Smartphone erkennt Tado, wenn niemand daheim ist und regelt die Heizungen herunter. Diese Funktion ist für Neukunden jedoch nur in einem kostenpflichtigen Abonnement erhältlich. Das Auto-Assist genannte Paket enthält zusätzlich die Fenster-Offen-Erkennung und einen Energiemonitor und kostet 4 Euro pro Monat oder bei jährlicher Zahlung 30 Euro.

⬆️ schönes Design

⬆️ externe Thermostate

⬇️ einige Funktionen kostenpflichtig

Preis: 90 Euro



Shelly TVR

Der Heizungsregler ist nur eine der vielen Shelly-Komponenten, das Unternehmen bietet diverse weitere Geräte an und betreibt mit der Shelly-Cloud ein Smart-Home-Ökosystem. Wer keinen Fernzugriff benötigt, kann den Cloud-Zugang abschalten. Anders als die anderen Testkandidaten funktioniert der TVR im 2,4-GHz-WLAN und benötigt keine Bridge. Er wird bei der Einrichtung über die App mit dem Cloud-Account des Nutzers gekoppelt. Das klappte bei uns etwas holprig, denn bevor man das erste Gerät in Betrieb nimmt, muss man in der App einen Raum anlegen.

Die App stellt die wichtigsten Basisfunktionen bereit und erlaubt über Szenen weitere Automatisierungen mittels Wenn-Dann-Regeln. Darüber hinaus wartet sie mit flexiblen Zeitplänen und Diagrammen zum Temperaturverlauf auf. Auf dem sogenannten Dashboard lassen sich Widgets für präferierte Räume, Geräte und Szenen ablegen. Im Home-Bereich listet die App alle Räume, Gruppen, Szenen und Geräte. Will man Szenen oder Dashboards voll ausreizen, muss man die Pro-Version für entweder 4 Euro im Monat oder 36 Euro im Jahr abonnieren.

Sollen mit der App lediglich einige Thermostate gesteuert werden, kommt man üblicherweise ohne das Pro-Abo aus. Zudem kann man viele Automatisierungen auch mit alternativen Smart-Home-Software-Zentralen umsetzen. Dabei zeigt sich das TVR sehr vielseitig, da es das MQTT-Protokoll unterstützt.

⬆️ Smart-Home-Ökosystem

⬆️ keine Bridge nötig

⬇️ unübersichtliche App

Preis: 70 Euro

Smarte Thermostate						
Modell	Radiator E1	Fritz! DECT 302	Homematic IP Evo	Netatmo Thermostat	TRV	Smartes Heizkörper-Thermostat X
Hersteller	Aqara	AVM	eQ-3	Netatmo	Shelly	Tado
Technische Daten						
Maße (B × H × T)	57 mm × 57 mm × 89 mm	53 mm × 52 mm × 87 mm	53 mm × 55 mm × 94 mm	58 mm × 58 mm × 80 mm	62 mm × 53 mm × 94 mm	67 mm × 49 mm × 67 mm
Ventil-Standard / Adapter mitgeliefert / weitere Adapter erhältlich	M30 × 1,5 mm / ✓ (Danfoss RA/RAV/RAVL) / –	M30 × 1,5 mm / (Danfoss RA/RAV/RAVL) / ✓ (diverse)	M30 × 1,5 mm / (Danfoss RA/RAV/RAVL) / –	Proprietär / M30 × 1,5 mm, M30 × 1,0 mm, M28 × 1,5 mm, Danfoss RA, RAVL, Giacomini / ✓ (diverse)	M30 × 1,5 mm / (Danfoss RA/RAV/RAVL, Caleffi, Giacomini, M28 × 1,5 mm) / –	M30 × 1,5 mm / ✓ (diverse) / ✓
Bedienelement am Gerät (Art)	✓ (Drehregler, Knopf)	✓ (Knöpfe)	✓ (Drehregler, Knopf)	✓ (Drehregler)	✓ (Drehregler)	✓ (Drehregler, Touchscreen)
Regelbereich	5 °C ... 30 °C	5 °C ... 30 °C	5 °C ... 30 °C	7 °C ... 30 °C	5 °C ... 30 °C	5 °C ... 30 °C
Display / Position	✓ (LCD) / Front	✓ (E-Ink) / Oberseite	✓ (LED-Matrix) / Oberseite	✓ (E-Ink) / Oberseite	✓ (LED-Matrix) / Oberseite	✓ (LCD) / Front
Funkstandard	Zigbee 3.0	DECT ULE	proprieter 868-MHz-Funk	proprieter 868-MHz-Funk	Wi-Fi (2,4 GHz)	Thread
Stromversorgung	2 × AA	3 × AA	2 × AA	2 × AA	Akku (6500 mAh)	Akku (1000 mAh)
Laufzeit (Herstellerangabe)	1 Jahr	mehr als ein Jahr	2 Jahre	rund 2 Jahre	rund 2 Jahre	k. A.
Funktionen						
mehrere Soll-Temperaturen	✓	✓	✓	✓	✓	✓
mehrere Programmierungen im Zeitplan	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Temperaturanzeige Soll / Ist	✓ / –	✓ / –	✓ / –	✓ / ✓	✓ / –	✓ / ✓
Anwesenheitserkennung	✓ (über Smartphone-App)	–	✓ ¹	✓ (über Smartphone-App)	✓ ¹	✓ (über Smartphone-App) ²
selbstlernende Programmierungen	–	–	✓ (Vorlaufanpassung)	✓ (Vorlaufanpassung, Wetterbedingungen)	–	✓ (Wetterbedingungen)
Frostschutz / Kalkschutz / Urlaubsmodus	✓ / – / –	✓ / ✓ / ✓	✓ / – / ✓	✓ / ✓ / ✓	✓ / – / ✓	✓ / – / –
Fenster-offen-Erkennung intern / über Fensterkontakt	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / –	✓ / ✓	✓ ² / –
Boost-Modus	–	✓	✓	✓	✓	✓
Bediensperre	✓	✓	✓	–	✓	✓
Unterstützung externer Temperaturfühler	✓	✓	✓	–	✓	✓
Unterstützung externer Thermostate	–	✓	✓	✓	✓	✓
Zusammenfassen in Gruppen/Räumen	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Konnektivität						
Bridge benötigt / Leistungsaufnahme	✓ / 1,5 W (Hub M2)	– (Fritzbox) / –	✓ / 0,5 W	✓ / 0,5 W	– / –	✓ / 0,35 W
Cloud / ohne Account nutzbar	✓ / –	– / ✓	✓ / ✓	✓ / –	✓ / ✓	✓ / –
Amazon Alexa / Google Assistant / IFTTT / Apple HomeKit	✓ / ✓ / ✓ / ✓	– / – / – / –	✓ / ✓ / – / ✓	✓ / ✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓ ³ / ✓
Smartphone-App	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Fernzugriff	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Bewertung						
Inbetriebnahme	⊕	⊕	⊕	○	○	⊕
Funktionsumfang	⊕⊕	○	⊕⊕	⊕	⊕	⊕⊕
App	⊕	○	⊕	⊕	⊖	⊕⊕
Programmierung	⊕⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕
Bedienung am Gerät	⊕⊕	⊕	⊕⊕	⊕	⊕⊕	⊕⊕
Preis (Basisstation)	55 €	entfällt	50 €	190 € (Starterkit mit Basis und 2 Thermostaten)	entfällt	160 € (Starterkit mit Basis und einem Thermostat)
Preis (Einzelthermostat)	45 €	50 €	80 €	90 €	70 €	90 €
✓ vorhanden – nicht vorhanden k.A. keine Angabe	⊕⊕ sehr gut	⊕ gut	○ zufriedenstellend	⊖ schlecht	⊖⊖ sehr schlecht	¹ nur mit optionalem Zubehör
– nur mit optionalem Abo	– läuft 9/24 aus					

sind oder weil Möbel, Sofas oder Vorhänge die Thermostate verdecken und sie deshalb den Temperatursturz gar nicht mitbekommen. Koppelt man die Thermostate hingegen mit Fenstersensoren, wird die Heizung beim Öffnen und Schließen von Fenstern unmittelbar reguliert.

In vielen Situationen profitiert man von Raumthermostaten – etwa, falls mehrere Heizkörper im Raum sind, sie hinter Vorhängen oder in besonders warmen oder besonders kalten Ecken hängen. Man lässt dann den Raumthermostat die Temperatur messen und die einzelnen Heizkörperthermostate danach regeln. AVM, eQ-3, Netatmo, Shelly und Tado bieten auch Raumthermostate an. Die anderen Kandidaten müsste man komplizierter in Smart-Home-Systeme wie OpenHAB oder Home Assistant einbinden.

Unterwegs einheizen

Das Gros der Thermostate wird über die Cloud der Hersteller mit dem Internet verbunden. Das erlaubt es, sie via Fernzugriff von unterwegs zu steuern oder mit den Sprachassistenten von Amazon, Google oder Apple zu verbinden. Bei den meisten Herstellern muss man dazu einen Benutzer-Account anlegen. Wer Wert auf Datenschutz legt, macht das idealerweise mit einer E-Mail-Adresse eines Free-Mailers, die den eigenen Namen nicht preisgibt.

Rühmliche Ausnahmen davon: Die Fritz-Thermostate lassen sich über die MyFritz-App erreichen, wofür man keinen Account benötigt, sondern die Nutzerdaten der eigenen Fritzbox. Über ein VPN oder den MyFritz-Service klappt auch der Zugriff von unterwegs. Sprachassistenten unterstützt AVM von sich aus nicht, die Funktion lässt sich aber über Software von Dritt-

anbietern nachrüsten. Dafür muss man diesen den Zugriff auf die eigene Fritzbox gewähren. Die Smart-Home-Zentrale von eQ-3 kommt ebenfalls ohne eine Registrierung aus. Sie erkennt verknüpfte Geräte und das Smartphone des Nutzers anhand von Token.

Fazit

Alle getesteten Heizungsregler erfüllen ihre Grundaufgabe einfach und zuverlässig: Sie stellen die Heizung anhand der angelegten Zeitpläne auf die gewünschte Soll-Temperatur. Darüber hinaus warten sie mit weiteren smarten Funktionen auf, etwa der Erkennung offener Fenster oder ob jemand daheim ist. Richtig gut klappt das nur mit zusätzlicher Sensorik. Solche findet man eher bei den Modellen von AVM, Aqara, eQ-3 und Shelly; dort sind die Thermostate nur eine von vielen Smart-Home-Komponenten. Wer mit dem Aufbau eines Smart Homes liebäugelt, ist mit diesen Thermostaten gut beraten, weil sie komplexe Szenen und Programmierungen erlauben, die andere smarte Heimgeräte mit einbeziehen.

Eine Sonderrolle nimmt das Fritz DECT 302 von AVM ein: Die für den Betrieb notwendige Fritzbox steht bereits in sehr vielen Haushalten. Geht es nur ums Heizen, erlaubt der AVM-Thermostat einen günstigen und einfachen Einstieg.

Netatmo und Tado stechen ebenfalls hervor: Beide Systeme sind schon lange am Markt und die Erfahrung der Hersteller bemerkt man beim Funktionsumfang, bei der App und nicht zuletzt auch beim Design. Beide Systeme stellen aber nicht den günstigsten Einstieg ins smarte Heizen dar und bei Tado kommen noch Abgebühren obendrauf, wenn man alle Funktionen nutzen will.

(spo) ct

ct ChatGPT & Co.
Mit KI-Tools effektiv arbeiten

Besser und schneller texten
Hacken mit ChatGPT
KI-Bilder auf dem eigenen PC

Heft + PDF mit 26 % Rabatt

Know-How statt Hype

Heft für 14,90 € • PDF für 12,99 €
• Bundle Heft + PDF 19,90 €



shop.heise.de/ct-chatgpt



AC ELWA: Wärme aus PV-Überschuss

Der österreichische Hersteller my-PV hat sich auf Wärmeerzeugung aus Photovoltaikstrom und die passende Steuerung spezialisiert. Der Heizstab AC ELWA 2 erwärmt Wasser mit bis zu 3,5 Kilowatt und regelt stufenlos, sodass er PV-Überschuss verbrauchen kann. Wie er sich im Zusammenspiel mit einer PV-Anlage und Solarthermie schlägt, haben wir in Herbst, Winter und Frühjahr getestet.

Von Jamil Sabih, Jan Mahn

Elektrischer Strom ist nicht nur im Haushalt die wertvollste Energieform, weil sehr flexibel. Er treibt Motoren an, spendet Licht und Wärme und versorgt Computer. Beim Energieversorger kostet eine Kilowattstunde mit allen Abgaben dieser Tage meist 35 Cent. Wärme dagegen ist vergleichsweise günstige Energie: Erdgas zum Beispiel kostet pro Kilowattstunde nur rund 10 Cent (durch die Erhöhung des CO₂-Preises steigen die Preise um etwa 0,4 Cent), bei Öl können es auch mal 12 oder 13 Cent sein. Bei diesen Zahlen wirkt ein elektrischer Heizstab wie eine unwirtschaftliche Erfindung: Einen solchen steckt man in einen vorhandenen Wasser-

speicher der Heizungsanlage und lässt ihn elektrischen Strom in Wärme umwandeln; ein fest installierter Tauchsieder also mit einem Wirkungsgrad von ziemlich genau 1. Mit teurem Strom aus dem öffentlichen Netz ist das definitiv eine dumme Idee.

Wirtschaftlich ist das nur, wenn der Strom von einer Photovoltaikanlage vom eigenen Dach kommt und eine Regelungselektronik sicherstellt, dass nur der Strom in Wärme umgewandelt wird, der im Haus nicht anderweitig gebraucht wird und als Überschuss verkauft würde. Denn dann sieht die Rechnung plötzlich anders aus: Wer 2023 in Deutschland eine Photovoltaikanlage zwischen 10 und 40 Kilo-

watt Spitzenleistung gebaut hat, bekommt für die verkaufte Kilowattstunde nur 7,1 Cent. Würde man Wasser für rund 10 Cent pro Kilowattstunde per Gas erwärmen, wäre das teurer. Rund 3 Cent Kostenvorteil generiert ein Heizstab pro umgesetzter Kilowattstunde bei aktuellen Gaspreisen, in den nächsten Jahren könnten die deutlich steigen.

Testanlage

Ein solcher Heizstab, der gezielt Überschuss verbraucht, ist der AC ELWA 2 von my-PV. Ob sich das Konzept und der Stab wirklich lohnen, haben wir während der Herbst-, Winter- und Frühlingszeit in einer Testinstallation ausprobiert und das Gerät Anfang Oktober vor Beginn der Heizsaison verbaut. Zusammen mit dem Testgerät leben im Haushalt zwei Erwachsene und zwei Kinder, die Photovoltaikanlage mit Süd-, Ost- und Westausrichtung erreicht zusammen 15,5 Kilowatt Spitzenleistung. Seit Mitte November gesellt sich ein Batteriespeicher mit 16,5 kWh dazu. Zwei Wechselrichter vom Typ Kostal Plenticore Plus 8.5 arbeiten zusammen mit einem vernetzten Zwischenzähler von Kostal namens KSEM, der für das Energiemanagement zuständig ist und jederzeit weiß, wie viel Überschuss bereitsteht. Über das Protokoll Modbus TCP, also über ein LAN-Kabel und das Heimnetz, soll der Heizstab stets erfahren, wie viel Energie er gerade verheizen darf. Kostal ist aber längst nicht der einzige unterstützte Hersteller, my-PV führt eine lange Liste an Geräten, die ebenfalls getestet und geeignet sind. Einen vernetzten Zwischenzähler hat jeder PV-Anlagenbetreiber installiert, der auch einen Batteriespeicher betreibt, alternativ gibt es auch das „WiFi Power Meter“ von my-PV für 280 Euro.

Der einschließlich Gewinde 46 Zentimeter lange Heizstab von my-PV steckt für unseren Test in einem

multivalenten Hezwasser-Pufferspeicher vom Typ Viessmann Vitocell 340-M SVKC, durch den 708 Liter Hezwasser fließen. Durch den unteren Bereich schlängelt sich eine mit Sole gefüllte Spirale, die mit der Solarthermieanlage (vier Flachkollektoren vom Typ Vitosol 200-FM) auf dem Dach verbunden ist. In der Mitte des Speichers hat Viessmann Platz für einen Heizstab vorgesehen. Darüber verläuft eine weitere Spirale mit Platz für 30 Liter, durch die Trinkwasser fließt und dabei Wärmeenergie mitnimmt. Solarthermie und Heizstab unterstützen durch diesen Aufbau gemeinsam sowohl die Warmwasserbereitung als auch die Raumheizung.

Voraussetzung für den Betrieb des AC ELWA 2 sind aber weder Solarthermie noch ein solcher kombinierter Kessel. Der Stab funktioniert zum Beispiel auch in einem reinen Warmwasserspeicher. Hersteller my-PV führt keine Liste an Speichern, die kompatibel sind und hat stattdessen nur eine kurze Aufzählung mit Forderungen veröffentlicht: Der Tank braucht eine Muffe mit einem 1,5-Zoll-Gewinde. Die Muffe darf nicht länger als 130 Millimeter sein, weil der Stab nur in diesem Bereich nicht heizt – sonst gäbe es einen Wärmestau. 46 Zentimeter Platz braucht man im Kessel insgesamt für den Stab.

Für den Einbau hat my-PV den Heizstab in zwei Teile zerlegt und dabei auf Feedback zum Vorgängermodell AC ELWA gehört: Das Heizelement kann der Heizungsbauer in den Tank einbauen und muss dafür so viel Wasser ablassen, dass sich der Wassersstand unterhalb der Muffe befindet. Weil das Gewinde aus Kunststoff besteht, ist beim Einbau Vorsicht geboten – schräg eingesetzt kann das Gewinde schnell Schaden nehmen. Erst wenn der Stab eingebaut und der Kessel wieder dicht ist, muss der Elektriker anrücken, um die Steuerung daran zu installieren und mit Strom zu versorgen.

Entscheidet man sich für die optionale Cloud-anbindung, erfährt man auch unterwegs im Browser, was im Wassertank gerade passiert.



Die bebilderte Anleitung erklärt die wenigen Schritte anschaulich und die elektrische und netzwerkseitige Inbetriebnahme im Test lief reibungslos. Am Wasserspeicher installierten wir noch einen Kabelkanal für Strom und Netzwerkkabel und schlossen die Steuereinheit des Stabs per Patchkabel ans Heimnetz an. Gibt es keine LAN-Buchse in der Nähe, geht das auch per WLAN (2,4 GHz). Die Einrichtung im Browser verlief ebenfalls wie geplant. Sobald man dem AC ELWA 2 die IP-Adresse des vernetzten Zwischenzählers verraten hat, kontaktiert er diesen und startet sofort mit dem Überschussheizen; 60 °C ist die Standardeinstellung für die Höchsttemperatur, die man schnell anpassen kann. Das klappt sowohl über eine lokale Weboberfläche, über die Cloud des Herstellers, mit der man den Stab optional verbinden kann, oder über das eingebaute 2,8-Zoll-Touchdisplay. Letzteres funktioniert tadellos, ist aber verzichtbar, wenn man den Stab mit Netzwerkanbindung betreibt – so häufig kommt man schließlich nicht im Heizungskeller vorbei, um sich am Display zu erfreuen.

Die Cloudanbindung leistet, was man von einer Fernüberwachung im Jahr 2024 erwartet und was wir bei der Cloudanbindung der Viessmann-Heizung schmerzlich vermissen: Bei my-PV ist es auch möglich, anderen Nutzern mit einem my-PV-Account lesenden oder schreibenden Zugriff auf den Stab zu geben. Praktisch zum Beispiel für Immobilienverwalter. Auf dem Dashboard im Browser sieht man fast in Echtzeit, wie viel Leistung gerade verheizt wird, wie viel ins Netz geht und wie warm das Wasser wird. Weil warmes Wasser nun mal nach oben steigt, kann man im oberen Bereich auch einen zusätzlichen Temperatursensor installieren, der im

Lieferumfang enthalten ist. Neben der Echtzeitauswertung zeigt die Website Diagramme und rechnet die umgesetzte Energie für Tage, Monate und Jahre zusammen. Eine App gibt es nicht, die Seite funktioniert aber auch auf Mobilgeräten sehr gut.

Regelung

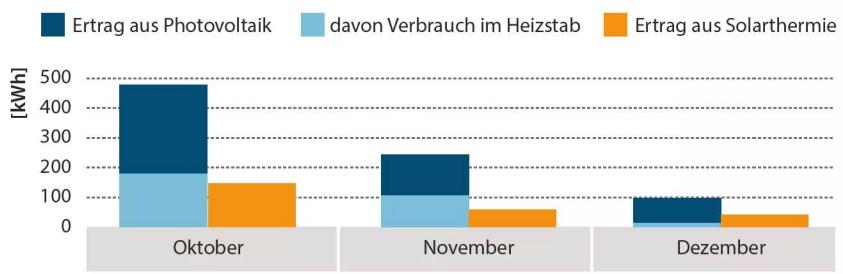
Weder Heizelement noch Cloudanbindung allein würden den Anschaffungspreis von 750 Euro rechtfertigen. Die Magie steckt in der Steuerung, die abhängig von einer externen Quelle wie Modbus TCP möglichst genau die zur Verfügung stehende Leistung verheizen soll.

Eine solche Steuerung kann man auf verschiedenen Wegen erreichen, my-PV hat die aufwendigste eingebaut. Die schmutzigste Herangehensweise wäre eine sogenannte Phasenanschnittsteuerung mit Thyristoren, wie sie bei Beleuchtungsdimmern teilweise eingesetzt wird. Dabei schaltet die Steuerung jede Sinuswelle etwas zeitverzögert ein. Die Schaltflanken führen zu unsauberer Sinuswellen im Netz, weshalb die Netzbetreiber sie bei großen Heizgeräten wie einem 3500-Watt-Heizstab nicht tolerieren.

In Foren, die sich mit Eigenbau-Überschusssteuerungen beschäftigen, wird als Alternative gern Puls-paketsteuerung diskutiert. Das ist eine Sonderform der Pulsweitenmodulation, die jeweils Ganz- oder Halbwellen ausknipst, aber immer im Nulldurchgang der Sinuswelle schaltet. Solche Regelungen haben weniger Auswirkungen auf das Netz, aber andere Tücken: Einerseits darf man hohe Lasten gemäß der Anschlussbedingungen der Netzbetreiber nicht allzu häufig schalten, zu lange Zeitab-

Überschussheizen mit Heizstab

Der AC ELWA 2 lief ab Oktober 2023 in einem Haushalt zusammen mit einer Solarthermieanlage und verheizte Überschüsse der Photovoltaikanlage.



schnitte führen aber dazu, dass der Stromzähler den Verbrauch nicht mehr mittelt und man unbemerkt Strom teuer zukauf, obwohl der Stab eigentlich Überschuss verheizen soll.

my-PV arbeitet mit hochfrequenter Pulsweitenmodulation in Kombination mit Eingangs- und Ausgangsfiltern. Das ist ein in der Entwicklung teureres Verfahren, das die Sinuswellen erhält, dadurch die Rückwirkungen auf das Netz klein hält und nach Herstellerangaben mit deutschen und österreichischen Netzanschlussbedingungen und Normen für elektromagnetische Verträglichkeit kompatibel ist. Nach demselben Prinzip arbeiten auch andere höherpreisige PV-Heizstäbe wie zum Beispiel der ATON+ des Herstellers TA, der rund 800 Euro kostet.

Was bringt das

Von der Theorie zurück zum Praxistest: Die Inbetriebnahme war vor Beginn der Heizperiode erledigt, in den ersten Wochen war der Warmwasserkreis der einzige Abnehmer für die Wärme. Der Oktober war erfreulich sonnig und es offenbarte sich ein typisches Muster: In den Stunden nach Sonnenaufgang machte die verbaute Solarthermieanlage keinerlei Anstalten, den Kessel mit warmem Wasser zu versorgen - hier hätte die Gasheizung anspringen müssen. Zur gleichen Zeit lieferte die PV-Anlage aber bereits Strom und auch mehr, als im Haus abgerufen wurde. Schon kurz nach 8 Uhr begann der Heizstab mit seiner Arbeit und regelte sauber weg, was sonst ins Netz abgegeben worden wäre. Morgens und abends sowie in bewölkten Stunden macht sich der wesentliche Unterschied zwischen Solarthermie und Photovoltaik bemerkbar: Eine Thermie braucht direktes Sonnenlicht, während eine PV-Anlage auch bei Diffuslicht arbeitet. Für den Oktober stehen 147 kWh aus der Thermie zu Buche, die PV hat 478 kWh erzeugt, der Heizstab davon 178 kWh in Wärme umgesetzt.

November und Dezember waren dann erwartungsgemäß mager: 244 kWh kamen im November aus der Photovoltaik, von denen der Stab 105 verheizte. Die Thermie schaffte unter diesen Bedingungen lediglich 58 kWh. Im grauen und historisch verregneten Dezember fiel die PV-Erzeugung auf 97 kWh, von denen nur noch 13 in Wärme gewandelt wurden, 20 kWh hatte sich der Batteriespeicher einverlebt. Die Solarthermie erreichte immerhin 41 kWh. Auf diesem niedrigen Niveau macht sich bemerkbar, dass der Heizstab am Ende der Nahrungsquelle steht und erst dann heizen darf, wenn der elektrische Hausverbrauch gedeckt ist. Im Ja-

my-PV AC ELWA 2

Regelbarer Heizstab

Hersteller, URL	my-PV, my-pv.com
Einbaumaße	Gewinde 1,5 Zoll, 46 cm Länge
Leistung	max. 3500 Watt, stufenlos regelbar
Schnittstellen	LAN, WLAN (2,4 GHz), RS485, PWM
Preis	750 €

nuar 2024 waren 18 kWh zum Heizen übrig, im Februar 14. Ab März ging es dann rasant bergauf: 180 kWh Wärme machte der Heizstab.

Das Fazit nach sechs Monaten: 508 kWh hat der Heizstab umgesetzt. Bei einer Differenz von 3 Cent zwischen Einspeisevergütung und Gaspreis entspricht das einer Einsparung von rund 15 Euro. Damit sich die Investition von 750 Euro für den AC ELWA 2 innerhalb von zehn Jahren rechnet, müsste der Stab rund 2500 Kilowattstunden im Jahr umsetzen. Das dürfte in unserem Szenario mit dem vergleichsweise großen Batteriespeicher nicht aufgehen: Die sonnigen Tage im Oktober zeigten, dass sich Heizstab und Solarthermie durchaus ergänzen, weil sie unterschiedlich und damit zu verschiedenen Zeiten arbeiteten. Das größte Einsparpotenzial ist im Frühjahr und Spätsommer zu erwarten, in den Sommermonaten wird der Heizstab wochenlang nichts zu tun haben, weil die Thermie allein den Speicher zum Kochen bringt und dann abschaltet. Der Warmwasserbedarf ist in diesen Zeiten außerdem geringer und der Heizkreis in der Regel aus.

Fazit

Der AC ELWA 2 von my-PV ersetzt weder Gasheizung noch Solarthermie oder Batteriespeicher, sondern ist ein weiterer Baustein, um selbst erzeugte Energie im eigenen Haus zu verbrauchen. Er lohnt sich vor allem dann, wenn die PV-Anlage großzügig dimensioniert ist - Photovoltaik ist nur durch mehr Photovoltaik zu ersetzen. Wer noch keinen Batteriespeicher und nicht das nötige Kapital dafür hat, erhöht mit einem Heizstab deutlich günstiger den Eigenverbrauch. In unserem Testszenario erreichten wir von Oktober bis Dezember einen Eigenverbrauch von fast 95 Prozent, im November und Dezember landeten weniger als 6 Kilowattstunden im Netz. Inbetriebnahme und Auswertung über die Website verliefen reibungslos, für den Einbau in den Kessel und die elektrischen Arbeiten sollte man jeweils Fachleute beauftragen. (jam) 



Bild: Clemens Gleich

PV ohne Akku mit Wärmepumpe nutzen

Die billigste Methode, sich der wetterabhängigen Stromerzeugung anzupassen, ist die Bedarfssteuerung. Wie viel bringt das? Und wann lohnt sich ein Akku für die PV-Anlage?

Von **Clemens Gleich**

Wer die großen Probleme der Energiewende verstehen möchte, kann wenig Besseres tun, als selbst im Kleinen eine Photovoltaik-Anlage (PV) zu betreiben. Im Winter kommt allerdings fast kein Strom von den Platten. Da muss ich aber heizen, vor allem in den kalten Nächten, in denen natürlich gar nichts kommt. Im Sommer produziert die Anlage bergeweise Strom, ich brauche aber fast keinen.

Die mentale Lösung ist das Verständnis der PV-Anlage als rein statistisch wirksames Mittel zur Energie-

kostensenkung: Sie sollte über ihre Betriebszeit deutlich mehr Geld sparen als kosten. Ob ein Akku dabei hilft, hängt an seinen Kosten und den zu erwartenden Zyklen. Die günstigste Methode ist der Direktverbrauch des eigenen Stroms. Wenn Sie allerdings nicht wettergetrieben im Haus herumrinnen und Dinge an- und ausschalten wollen, ist etwas Automatisierung unerlässlich. Dieser Artikel behandelt Steuerungen der Wärmepumpe, damit sie mehr Solar-Überschussstrom verheizt und weniger vom Netz bezieht. Allgemeines zum Energiemanagement

erfahren Sie im Artikel „Stromverbrauch smart managen“, mehr zum Wärmepumpenbetrieb im Artikel „Wärmepumpen optimal betreiben“.

Wir beginnen zunächst mit einer (kurzen) Betrachtung von Akkurentabilität für das konkrete Szenario „Daheimarbeiter“. Es gibt viele Berechnungs-Tools zur Akkurentabilität, die detailliertesten wie so oft im Photovoltaikforum. Alle hängen stark von Annahmen über die Zyklenzahl ab, dem zentralen Kriterium. Wie oft wird der Akku geladen und entladen werden? Solarteure führen daher

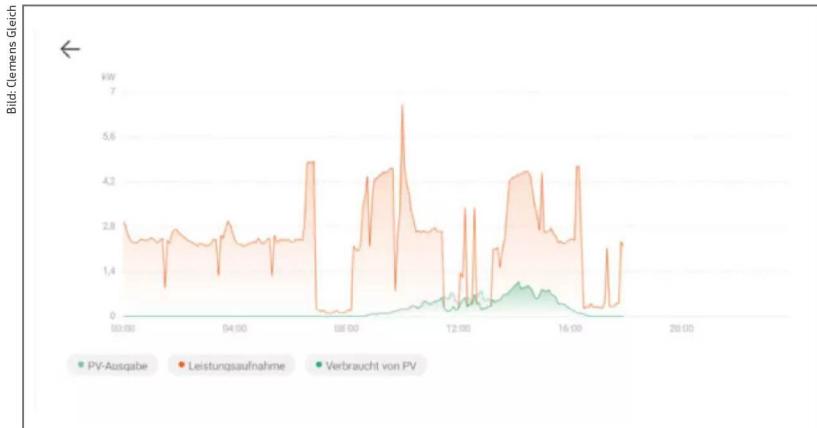
hohe Zyklenzahlen an, die ihre Rechnungen gut aussehen lassen.

Hohe Prognosen von manchmal über 600 Zyklen/Jahr sind jedoch bei üblichen Verhältnissen von PV-Leistung zu Akkugröße und Verbrauch absurd. Im Verhältnis zur PV-Nennleistung kleinere Speicher können rund 300 Zyklen/Jahr schaffen. Üblich sind um die 200 Zyklen. Wichtig: Je größer der Speicher in Relation zu PV-Leistung und Verbrauch, desto kleiner wird die Zyklenzahl und umgekehrt. Ein Speicher hier im Ort läuft protokolliert mit durchschnittlich 48 Zyklen/Jahr, weil seine Kapazität so hoch liegt in Relation zu PV-Erzeugung und Verbrauch.

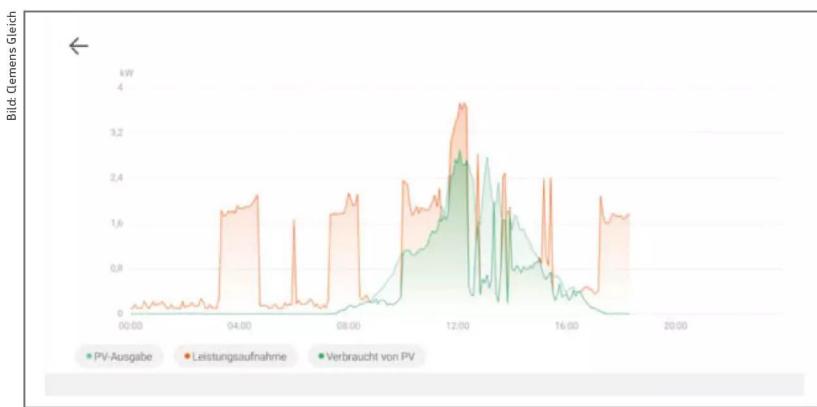
Es gibt eigentlich nur einen Weg, die Akkurentabilität sinnvoll zu bewerten, und der führt übers konkrete Lastprofil. Wenn Sie (etwa über einen neueren Stromzähler) Stromverbrauchsdaten mit Zeitstempeln über mindestens ein Jahr haben, können Sie die in Andreas Schmitz' PVTool unter „Erweiterte Einstellungen“ als CSV-Datei hochladen (siehe ct.de/wj8b). Ich messe mein Lastprofil gerade, nützlicherweise gleich inklusive PV. Vorteil: Das reale Anlagenverhalten weicht schon jetzt erheblich von den PVGIS-basierten Prognosen ab, in denen Topographie (Verschattung) und Verschmutzung (etwa Pollen) fehlen (siehe ct.de/wj8b). Den kaum ganz vermeidbaren Solar Rebound messe ich nun gleich mit. Bisher sieht es mau aus mit der Zyklenextrapolation.

Beispieldfall Daheimarbeiter

Meine persönliche Zyklenabschätzung lag vor dem Bau bei um die 100 pro Jahr, ausgehend vom bei meinem Hersteller Huawei kleinstmöglichen Akku von 5 kWh Kapazität. Die PV hat 7 kW Nennleistung: Das Dach der Doppelgarage voll gemacht, das man einfach begehen und daher günstig belegen konnte. Das galt selbst mit der morgendlichen Verschattung vom Haus her. Einspeisevergütung: 8,3 ct. Die geringe Zyklenprognose resultiert aus dem Lastprofil: Ich arbeite zu Hause. Wir kochen mittags zu Hause mit drei Personen. Abends nur kleine Mahlzeit, etwa Mittagessen aufwärmen. Waschmaschine, Trockner, Spülmaschine laufen tagsüber - schon, damit sie abends nicht nerven. Beleuchtung: LED. Bettchenzeiten ländlich: früh hinein, früh hinaus. Das sind alles Dinge, die wir unabhängig von PV schon vorher taten. Der Großteil möglicher Zyklen käme über die Wärmepumpe (WP), in den Zeiten ab Februar, wenn die Sonne schon relevant mithilft. So einfach war es jedoch nicht.



Im kalten Januar brummte die Wärmepumpe und es gab kaum Sonnenstrom. Da ist die Regelung recht egal.



Ab Februar wurden Steuereingriffe wichtig, weil der Sonnenschein sonst dafür gesorgt hätte, dass die WP tagsüber gar nicht läuft.

Die Wärmepumpe zeigte ohne weitere Regelung ein vorher unerwartetes Verhalten: Sie blieb ab Februar fast immer aus, wenn die Sonne Leistung lieferte. Das liegt am warmen Februar, aber auch daran, dass das Haus große Fenster in Richtung Süden hat, die direkt die winterliche Sonnenwärme aufnehmen (siehe ct.de/wj8b). Dazu kommt die von der Ölheizung verbliebene Solarthermie (ST), die Wärme ins Heizsystem schaufelt. Resultat: An Sonnentagen im Februar, mit denen ich als Solarstromverbraucher gerechnet hatte, hatte das Haus keinen Heizwärmebedarf. Deshalb war die Maschine ausgerechnet dann immer aus, wenn sie am günstigsten hätte laufen können. Ein Akku könnte ausgleichen, wäre aber nach Prognose nie lohnend (die Messung wird es zeigen). Aufgrund der geringen Zyklenzahlerwartungen baute ich die PV ohne.

Die billigste Anpassung an wetterbedingte Erzeugung ist eine entsprechende Bedarfssteuerung: Die Wärmepumpe sollte etwas über Gebühr Wärme erzeugen, wenn tagsüber billiger Sonnenstrom vorhanden ist, damit der länger in die Nacht reicht. Dazu müssen Wärmepumpe und Wechselrichter (WR) kommunizieren.

Übliche Konfigurationen

Eine übliche Wechselrichter-Installation sieht so aus: Der Wechselrichter spricht per RS-485-Kabel über Modbus mit einem Stromzähler oben am Hausverteiler. Aus der Differenz von eigener Erzeugung und der bidirektionalen Messung am Netzübergang weiß er damit Hausverbrauch, Netzeistung (+/-) und Überschussleistung. Auf diesem Bus-Kabel könnte die Wärmepumpe auch mithören, um Informationen über den PV-Überschuss zu erfahren. Je nach Hersteller gibt es direkt Eingänge für Modbus oder wie bei meinem Hersteller Nibe Zusatzmodule dafür.

Viele Wechselrichter sprechen zusätzlich drahtlos Modbus TCP, geben also die Modbus-Daten über TCP/IP ins WLAN aus, was die Sache in modernen Haushalten wesentlich vereinfacht. Bei Huawei macht das ein „Dongle“ genannter Kleinrechner mit Kommunikationsmodul, der unten an den Wechselrichter geschraubt wird. Ob Geräte wirklich über Modbus TCP erreichbar sind, können Sie mit einem der vielen kostenlosen Modbus-Tools für Windows, macOS, Linux, iOS oder Android überprüfen. Eine (gröbere) Alternative ist die Schaltung über SG Ready (siehe Artikel „Wärmepumpen optimal betreiben“). Empfehlung: Geben Sie nicht das Zwangsstartsignal „1:1“ an die Wärmepumpe, sondern lieber die Anlauf-

empfehlung für Temperaturerhöhten Betrieb „1:0“. Dann kann die Wärmepumpensteuerung ihre anderen Parameter berücksichtigen.

Huawei halt

Wie derzeit viele Deutsche habe ich einen Wechselrichter von Huawei, konkret einen SUN2000-8KTL-M1. Das ist ein gutes Gerät, aber für Heimtüftler manchmal etwas frustrierend. Nach Tipps meines Installateurs trug ich die richtigen Daten in die Felder des Nibe-Heizungs-Interface ein und machte die gleiche Erfahrung wie andere, die die Kombination Huawei-Nibe versuchten: keine Verbindung. Hm. Weitere Recherchen nötig. Da ich ab April zu einem dynamischen Stromtarif wechsle (siehe Artikel „Tibber: Dynamische Strompreise im Test“), dachte ich mir: Aktiviere doch einfach schon einmal die Nibe-Steuerung nach Strompreisen. Dabei setzt das Steuergerät die Heizkurve bei niedrigen Strompreisen höher und bei höheren Strompreisen tiefer. Das sorgt dafür, dass die Wärmepumpe mit jeweils höheren/niedrigeren Leistungen läuft und bei niedrigem Wärmebedarf zu Preishochzeiten abschaltet, wenn genug Wärme im Puffer vorhanden ist.

Diese Funktion führte schon zu einer Verbesserung, weil Sonnenschein sich aufgrund des PV-Ausbaus stets auch in den Preiskurven wiederfindet. Die Wärmepumpe lief nun regelmäßig tagsüber, wenn die bundesweite Sonne auf die Strompreise drückte. Als Workaround taugt das aber nur für Leute

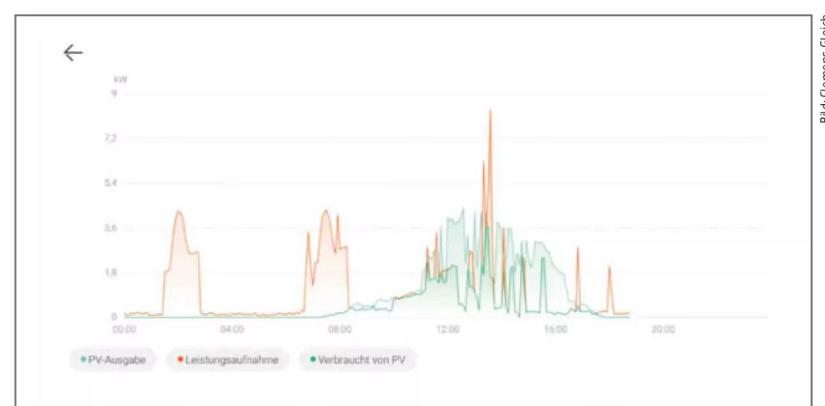


Bild Clemens Giech

Mitte Februar produziert die Anlage bei Sonnenschein schon doppelt so viel, wie wir verbrauchen. Das wären die Tage, an denen ein Akku für die Nacht bunkern könnte. Es sind allerdings nicht so viele solche Tage.

Ein zusätzlicher Zähler oben spricht logisch über Modbus RTU und zwei Adern eines CAT-7-Kabels physikalisch über RS-485 mit dem Wechselrichter. Man könnte also hier am Schaltkasten auch per Kabel und Modbus zur Wärmepumpe gehen.

Das Kabel ist nach Huaweis Montageanleitung/Empfehlung ohne Abschlusswiderstände angeschlossen. Experten schließen ihre Anlagen oft trotzdem mit Abschlusswiderständen zwischen 120 und 300 Ohm an. Modbus gilt als robust, meistens funktioniert alles Mögliche. Betonung auf „meistens“.

Bild: elemens Gleich



mit dynamischem Stromtarif. Wer mit Fixtarif heizt, kann damit leicht mehr bezahlen, weil die niedrigsten Preise meist nachts anliegen - und in der Kälte die Heizkurve hochziehen kostet Arbeitszahl (AZ) und damit Zusatzstrom.

Sonderfälle bei Huawei

Weiteres Nachlesen: Bei Huawei muss man in den Dongle-Einstellungen ModbusTCP aktivieren und auf „Freigabe (uneingeschränkt)“ stellen. Es gibt alternativ die Möglichkeit, den Zugriff auf bestimmte IPv4-Adressen des Heimnetzes zu beschränken. Nun ist es bei Huawei so, dass Sie diese Einstellungen nicht selber machen sollen, sondern Sie müssen Ihren Elektriker anrufen, der das im Portal erledigt. Er muss vorher dafür sorgen, dass die Firmware-Versionen aktuell sind, denn bei Firmware-Versionen vor V100R001C00SPC124 gibt es die Modbus-Freigabe für den Dongle noch nicht. Die Firmware-Versionen können Sie über die App oder das Web-Portal unter „Geräte“ herausfinden. Nach der Modbus-Aktivierung gibt der Dongle im Heimnetz über Modbus TCP seine Daten heraus, was dazu führt, dass ich kein RS-485-Kabel für Modbus zur Wärmepumpe brauche und kein Nibe-Modbus-Modul für 529 Euro dazu.

Alternativ könnte man auch ein Gateway von Kabel-Modbus auf WLAN verwenden, kostet ab 70 Euro. Gateways von RS-485 auf Kabel-Ethernet gibt es ab 40 Euro. Wenn am Standort des Wechselrichters Ethernet-Patchkabel Richtung Router möglich sind, sollten Sie die in den Huawei-Dongle stecken, er hat dafür unten eine Schraubdichtung. Die Verbindung über WLAN ist berüchtigt problematisch, übers Kabel funktioniert sie besser. Bei mir läuft es übers WLAN, nur nachts herrscht Funkstille, wenn der Wechselrichter zum Stromsparen schläft. Der Dongle spricht erst wieder mit der Wärmepumpe, wenn der Wechselrichter morgens anläuft. Verschmerzbar.

Die Falle des Optimierers

Von der Nibe-Homepage wusste ich, dass die Schwestern Huaweis Modbus-Belegung verstehen. Ich aktivierte im Wärmepumpensteuergerät ebenfalls Modbus TCP und fügte den Dongle als Wechselrichter hinzu. Dazu muss man ins Formularfeld die IP-Adresse des Modbus-TCP-Geräts (also Dongle oder gleich Wechselrichter) eingeben, und ähnlich lösen es andere Hersteller. Der Router sollte daher diesem Gerät immer dieselbe IPv4-Adresse zuweisen. Damit hatte ich meine Verbindung. Die Kommunikation

über Modbus TCP erfolgt im Klartext. Bosch/Buderus verwenden dagegen ein proprietäres Protokoll, bei dem Wärmepumpe und Energiemanager verschlüsselt kommunizieren. Deren Geräte können obendrein recht genau nach elektrischer Leistung geregelt werden. Bei den meisten Wärmepumpen verschieben die Steuerungen die Heizkurve, sodass die elektrische Leistung nur indirekt geregelt wird. So ist es auch bei Nibe. Das kann zu teuren Artefakten ähnlich SG Ready führen.

Mit den Einstellmöglichkeiten in der Nibe-App kann man Heizung und Brauchwasser mit PV-Überschuss nur grob beeinflussen, jeweils nur an/aus. Nibes Steuerlogik bezieht dann die Solarleistung zusammen mit allen anderen Parametern in die Berechnung zum idealen Anlaufen ein. Ich schaltete beide Optionen ein.

Die Nibe startete kurz darauf nach den Erzeugungsdaten einen Lauf für nur Brauchwasser. Die Brauchwassertemperatur lag schon hoch genug, deshalb erhöhte die Steuerung die Temperatur. Leider erhöhte sich dadurch der Stromverbrauch auch stark überproportional. Da mit steigenden Temperaturen die Arbeitszahl (AZ) sinkt, verhält sich der Wärmeertrag zum Leistungsbedarf nonlinear. Die Strommessung zeigte: Die zusätzlich generierten Kilowattstunden Wärme kosteten inklusive Solarbeitrag mehr als die übliche Brauchwasserbereitung im reinen Netzbezug. Da die deutschen Strompreise hauptsächlich aus Nebenkosten bestehen, galt das selbst inklusive der mittags niedrigeren Strompreise. Leider ist nur schwer herauszufinden, wie Nibe konkret steuert. Dazu kommen mehr Starts für diese Brauchwasserläufe, die Nibe ansonsten geräteschonend einfach an einen Heizungslauf anhängt. Das war ein anderes Ergebnis als noch im Artikel „Wärmepumpen optimal betreiben“ erwartet.

Ich schaltete die Brauchwassertemperaturerhöhung daher ab (es gibt keine weiteren Optionen). Danach kam bei Sonnenschein im Februar zuverlässig ein Lauf mit erhöhter Temperatur mittags, der mich bis weit in den Abend brachte. Die Nibe hängte meistens ihren Brauchwasserlauf während der PV-Laufzeit an. Eine zusätzliche Stromaufnahme für die erhöhte Heizkurve war nicht feststellbar, weil die Februar-Temperaturen so hoch waren und die dazugehörigen hinterlegten Vorlauftemperaturen trotz Heizkurvenanhebung dementsprechend niedrig. Der Ertrag dieser Methode hielt sich generell in Grenzen, weil die Wärmepumpe bei Sonnenschein nur im Puffer im Keller Wärme speichern kann, aber das Haus kaum oder gar keine Wärme

abnimmt. Das muss noch einmal in einem kälteren Februar neu erfasst werden.

Im März der Solarbauer ...

Im März hatte die Sonne oft schon so viel Kraft, dass die Wärmepumpe trotz Erhöhung nicht mehr anlief, sondern die Solarthermie gleich ab vormittags allein vorheizte. Das soll so sein, denn die Solarthermie schlägt mit Arbeitszahlen über 300 alles, was von PV/WP kommen kann. Eigene Blödheit: die Daten der Solarthermie hatte ich vorliegen, nur eben nicht bedacht. Die Wärmepumpe übernimmt also einen kleineren Teil des Eigenverbrauchs als vorher gedacht. Im Februar erreichte ich durch die Regelung eine Erhöhung des PV-Eigenverbrauchs um im Schnitt 3 kWh an einem Sonntag. Ging mehr? Auf jeden Fall könnte die Wärmepumpe mehr Wärme erzeugen. Dazu müsste man sie allerdings von außen zwangsschalten, alle anderen Parameter der Heizung vernachlässigen. Da kommen selten gute Ergebnisse heraus.

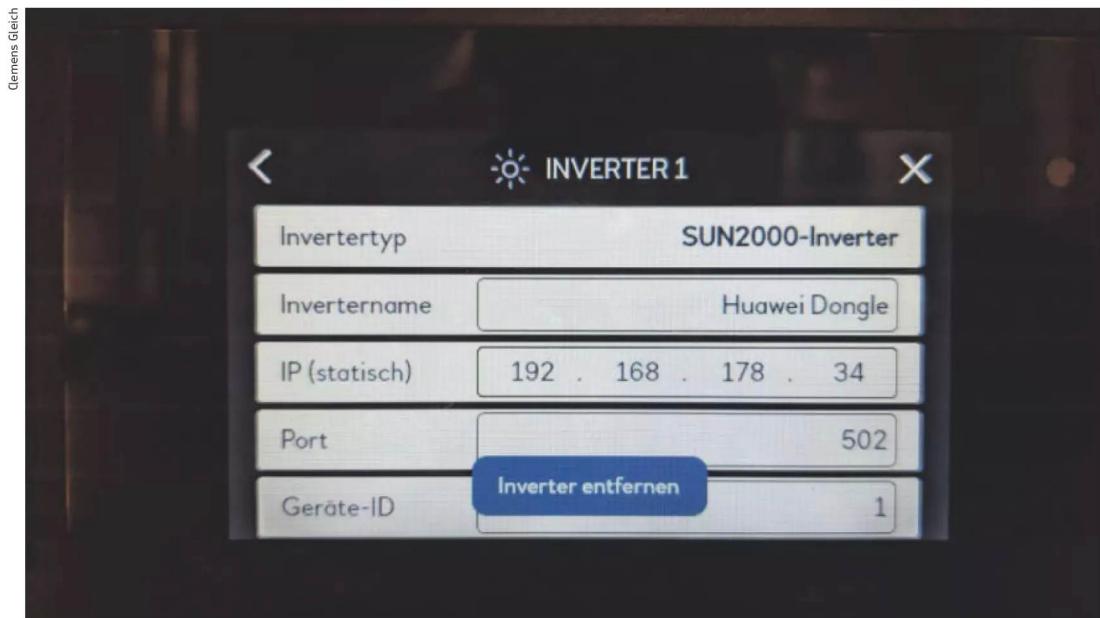
Die Bedarfsflexibilität meines Hauses hält sich zudem in Grenzen. Die Wärmeverluste liegen Bestands-typisch, der Puffer enthält 750 l Wasser, er bedient Heizkörper. Wenn ich den Puffer um 10 K erwärme, braucht das in den milden Übergangszeiten (je nach Endtemperatur) unter 2 kWh Strom und speichert nur etwa 7,5 kWh Wärme. Deutlich



Bild: Clemens Gleich

Nibe schraubt ein Kommunikationsmodul an den Wechselrichter, das es mit verschiedenen Netzwerkmodulen gibt. Im Bild das typische Modul mit WLAN und hinter der unteren Schraubverbindung Ethernet über RJ45-Stecker.

Im Interface des Nibe-Steuergeräts SMO S40 trägt man die IPv4-Adresse des Wechselrichters (oder hier: Dongles) ein, der über Modbus TCP kommuniziert.



mehr Wärme bunkern Fußbodenheizungen im Estrich, allerdings nur dann, wenn die Thermostate mitgehen, also am besten per Energiemanager gesteuert werden. Beispielszenario: ein Haushalt mit Fußbodenheizung, dessen Bewohner tagsüber abwesend sind. Die Wärmepumpe könnte tagsüber mit PV-Überschuss die Wohnräume überwärmen, damit abends weniger mit Netzbezug geheizt werden muss. Mit Heizkörpern funktioniert das deutlich schlechter, weil sie die massiven Bauteile nur über die Luft erwärmen, von der im Bestand ein großer Teil unkontrolliert nach draußen Energie abgibt. Hier sinnvoll Energie zu speichern, sodass ein Plus herauskommt, ist deutlich schwieriger. Strom direkt in den Puffer zu verheizen (Heizstab/Heizkassette, siehe Artikel „AC ELWA: Wärme aus PV-Überschuss“) kostet bei mir mehr als die Einspeisung bringt, könnte man aber bei den geringen Differenzen ohne finanzielle Gefahr probieren. Meine Heizkassette kann man allerdings nur in sehr groben Schritten von 1 kW in der Leistung regulieren.

Autos und Stromtarife

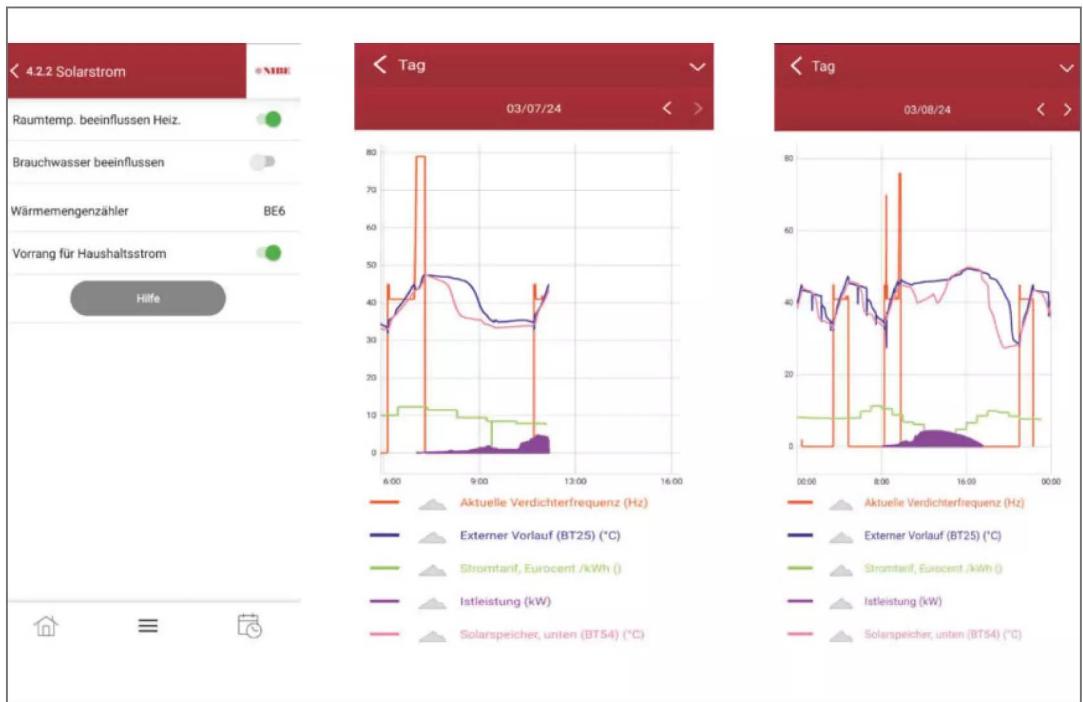
Es bleibt also das E-Auto als flexibelster Verbraucher, der vor allem auch im Sommer Strom abnimmt. Bei unserem Fahrprofil würde ein alter Nissan Leaf

inklusive Verluste am Tag durchschnittlich 7 kWh abnehmen. Da er mittags schon wieder am Haus steht, kann er direkt von PV beziehen. Erzeugen wird die Anlage an Sommersonnentagen aber über 30 kWh. Brauchwasser macht ab April die Solarthermie alleine.

Aufgrund unseres Verbrauchsprofils habe ich die Solaranlage vor dem Bau mit 40 Prozent Eigenverbrauchsrate geschätzt, wenn wir nicht Opfer eines fetten Solar-Rebound-Effektes werden wollen. Das müsste klappen, aber wohl nur mit E-Auto. Selbst wenn die Messdaten passen sollten, eignet sich die Garage schlecht als Akku-Standort, weil es dort im Winter Frost hat, was unter Last zu erheblich beschleunigter Akkualterung und bei Huawei auch zum Derating führt, also zu einer Abregelung der Akkuleistung (alles unter 5° C). Dort hängt aber der Hybridwechselrichter. Bliebe ein AC-gekoppelter Akku im Haus, er leidet aber unter Zusatzkosten und -verlusten. Ich zweifle und sammle ohne Eile Daten. Schreiben Sie mir hierzu gern Ihre Gedanken an cgl@heise.de.

Schlüsse

- Ganz ohne zusätzliche Regelung läuft das Gesamtsystem aus Photovoltaik und Wärmepumpe nicht optimal.



Zur Überschusssteuerung bietet Nibe nur wenige Optionen an. In der Mitte läuft das Gerät an und verwendet PV-Strom. Rechts wenig später, wenn die Sonne so viel Kraft hat, dass Fenster und Solarthermie die Wärmeerzeugung überholen. Der Knick in der unteren Temperaturkurve sind zwei kalte Räume, die ich für abends vorheize. Die hohen Heizkörperverluste sind bei der Arbeitszahl der Solarthermie praktisch egal.

- Eine Steuerung nach Strompreisen bringt Sparpotenzial in der Gegend von 10 Prozent der Heizkosten – dynamischer Stromtarif vorausgesetzt. Sonst eher mehr Verbrauch.
- Eine Steuerung nach Solarüberschuss erhöht den Eigenverbrauch, allerdings liegt das Potenzial niedriger, als man zunächst denkt, weil Sonne den Heizwärmebedarf reduziert.
- Solarthermie ersetzt Wärmepumpenlaufzeit und reduziert daher den Heizstromverbrauch von PV.
- Für eine Steuerung nach Solarüberschuss muss die Wärmepumpe diese Information vom Wechselrichter erhalten, am verbreitetsten über Modbus (TCP).
- Die erhöhte Wärme muss gespeichert werden, bei Fußbodenheizungen im Estrich, bei Heizkörpern im Puffer, der schnell seine wirtschaftlich optimale Wärme erreicht.
- Die meisten Wärmepumpen verschieben die Heizkurve anhand des PV-Überschusses, wenn sie ihn messen. Das kann (vor allem beim Brauchwasser) teurer werden als ohne Regelung. Passiert auch gerne bei nassforschen Zwangsstarts über SG Ready.
- Das Netz ist voll von Einstellungstipps, „wie ich meine Heizkosten halbierte im Vorjahresvergleich“, doch das liegt oft nicht an den vermeintlich genialen Herumspielereien, sondern am wärmeren Wetter.
- Ein E-Auto mit relevanten Fahrleistungen ist aufgrund größerer Flexibilität und Bedarf im Sommer ein besserer Abnehmer als die Wärmepumpe, die im Winter Strom will, wenn es kaum welchen von PV gibt.

Laut Daten von Bosch Home Comfort kann eine PV-Anlage (je nach Verhältnis WP-PV-Akku) im Bestand 25 Prozent des Heizstroms übers Jahr produzieren, inklusive Brauchwasser im Sommer. Ein Gedanke dazu: Maßnahmen beim Heizungsbau, die Ihre Arbeitszahl von 3 auf 4 erhöhen (effizientere Wärmepumpe, größere Heizflächen), bringen den gleichen Kostenvorteil zu einem Bruchteil der Anschaffungskosten. Es hat keine Nachteile, PV später zu bauen. Eine ranzige AZ dagegen kriegen Sie später schwer oder gar nicht wirtschaftlich hingedengelt. (jow) ct

Weitere Infos

ct.de/wj8b



DIE IT-JOBMESSE IN KALSRUHE **18.09.2024**

Das erwartet dich:

- Bewerbungsfotos**
- Lebenslaufcheck**
- Vorträge**
- Catering**

Die Veranstaltung ist kostenlos.



powered by



GRATIS:
Signatur-Updates
bis Juni 2025

Ihr Erste-Hilfe-Set: Das Notfall-System für den Ernstfall

NEUE
VERSION
2024



c't Desinfec't 2024 komplett digital auf einem 32 GByte USB-Stick! Alle Anleitungen und Artikel zur Einrichtung des Rettungssystems finden Sie auf dem USB-Stick. **Das ist neu an c't Desinfec't 2024:**

- ▶ Gratis Signatur-Updates bis Juni 2025
- ▶ Detailverbesserungen beim Einbinden von Laufwerken
- ▶ Neue Expertentools zu Malwarejagd wie Capa und FLOSS
- ▶ Bei Update-Problemen: Signaturen von Scanern zurücksetzen
- ▶ Kernel 6.5 (optional 6.8 für neue Hardware)

Desinfec't-Stick 19,90 €



shop.heise.de/desinfect24