



# SOLARSTROM-GUIDE

Kleine Photovoltaik-Anlagen planen und aufbauen

## Das eigene Balkonkraftwerk

Wechselrichter, Module und Befestigungen organisieren  
Technik, Anmeldungen und Regularien durchschauen

## Ertrag und Verbrauch im Blick

Mit und ohne Smart Meter: Leistung beobachten,  
erfassen und auswerten

## Photovoltaik für alle

Was brauche ich, wer baut es, welche Produkte?  
Reportage: 4,5-Kilowatt-Anlage im Eigenbau

## So kann jeder Stromkosten senken

Balkon, Fassade, Dach und Gartenhaus: Kosten sparen  
mit Sonnenenergie · Schritt für Schritt zur Mini-PV

€ 19,90  
CH CHF 33.50  
AT € 20,90  
LUX € 22,90





**WIR MACHEN  
KEINE WERBUNG.  
WIR MACHEN EUCH  
EIN ANGEBOT.**



[ct.de/angebot](http://ct.de/angebot)

Jetzt gleich bestellen:

🌐 [ct.de/angebot](http://ct.de/angebot)

📞 +49 541/80 009 120

✉️ [leserservice@heise.de](mailto:leserservice@heise.de)

**ICH KAUF MIR DIE c't NICHT. ICH ABBONNIER SIE.**

Ich möchte c't 3 Monate lang mit über 30 % Neukunden-Rabatt testen.  
Ich lese 6 Ausgaben als Heft oder digital in der App, als PDF oder direkt im Browser.

**Als Willkommensgeschenk erhalte ich eine Prämie nach Wahl,  
z. B. einen RC-Quadrocopter.**



# Editorial

---

## **Liebe Photovoltaik-Interessierte,**

---

im Jahr 2022 wachte eine ganze Branche aus einem fast zehnjährigen Schlaf auf: Photovoltaikanlagen jeder Größe kamen schlagartig in der breiten Masse an. Nachdem Anfang der 2010er Jahre die Einspeisevergütung drastisch gesenkt worden war, entschieden sich nur noch wenige Unternehmen und private Hausbesitzer dafür. Aufgrund der hohen Preise in der Anfangsphase, während der 2000er- und frühen 2010er-Jahre, hatten sich Solaranlagen als teure Investition mit langer Amortisationszeit in den Köpfen eingebrannt. Kleine Anlagen ohne Abnahme durch Elektriker selbst anzuschließen, war bis 2019 auch nicht erlaubt. Bevor sich der Begriff „Balkonkraftwerk“ durchsetzte, nannte man solche Anlagen deshalb auch „Guerilla-PV“.

Ich muss gestehen, dass ich bis 2022 Hemmungen hatte, über das Thema Balkonkraftwerke zu schreiben. 2013 hatte mein Kollege Christof Windeck das erste Mal ein Balkonkraftwerk getestet – und mir von wütenden Lesermails berichtet. Wie könnte man eine Erzeugungsanlage nur an der Steckdose anschließen? Das hat mich abgeschreckt.

Aber es waren auch die erschlagende Masse an Regularien und weitere Steine, die einem bei diesem Thema in den Weg gelegt wurden. Muss der Zählerschrank wirklich getauscht werden? Droht mir die Versorgungsabschaltung, wenn ich das Balkonkraftwerk nicht anmelden oder einen Schutzkontaktstecker verwende? Fragen, auf die ich keine sichere Antwort hatte, weshalb ich auch keinem unserer Leser aktiv zur Installation raten wollte. Kleinere und größere Balkonkraftwerke habe ich natürlich trotzdem gebaut – ohne es an die große Glocke zu hängen.

2022 änderte sich alles: Europa wurde gewaltsam aus dem Traum von günstiger Energie gerissen und musste lernen, dass es keine gute Idee ist, sich von einem Diktator und seinen Rohstoffen abhängig zu machen. Der darauffolgende Sturm auf Photovoltaikanlagen war beispiellos: Die Deutschen rissen sich nicht nur um Termine bei Solarinstallateuren, sondern räumten auch bei den Shops für Balkonkraftwerke die Lager leer. Regularien kümmern seitdem nur noch wenig.

Auch wir sind voll eingestiegen: Insbesondere mein Kollege Jan (jam) und ich haben 2022 so viele Anlagen gebaut wie nie zuvor. Vielen Verwandten, Freunden und Kollegen haben wir zu eigenen Balkonkraftwerken verholfen. Deshalb ist dieses Heft trotz aller Sachlichkeit auch ein sehr persönliches, denn das Thema ist für uns nicht nur irgendeines, das gerade Mode ist, sondern auch ein Hobby,

das viel Spaß macht, anderen eine Freude bereitet und etwas für die Energiewende tut. Wir haben 2022 viel gelernt und unsere Erfahrungen hier aufgeschrieben.

Wenn Sie dieses Heft in Händen halten, denken Sie vermutlich gerade selber über eine Photovoltaikinstallation nach. Gute Idee, denn ob auf dem Einfamilienhaus, am Balkon der Mietwohnung oder auf dem Geräteschuppen: Sonnenlicht gibt es genug, ungenutzte Flächen auch – und langsam entspannt sich auch der Markt für die Anlagen wieder. Insbesondere Balkonkraftwerke – sowohl Komponenten als auch Komplettsets – sind wieder günstiger geworden.

Natürlich liefern wir keine passgenaue Schritt-für-Schritt-Anleitung für Ihr Projekt; das geht, mangels Einheitsdach, Einheitsbalkon und so weiter, auch gar nicht. Die folgenden Seiten fassen mit Fokus auf kleine Anlagen vielmehr das zusammen, was Sie für den Einstieg und die Planung eines Projekts wissen wollen: Was es mit Modulen und Wechselrichtern auf sich hat. Wie einfach es wirklich ist, ein Balkonkraftwerk mit 600 Watt in Betrieb zu nehmen – und ob sich das lohnt. Ist Ihr Dach größer, hilft das Grundlagenwissen aus diesem Heft bei Gesprächen mit einem Fachbetrieb. Und haben Sie gewusst, dass man große Teile der Arbeit selbst erledigen kann? Zumindest wenn man keine Angst davor hat, auf Dächer zu steigen.



Andrijan Möcker



**Zusammen mit Jan und Pina habe ich im Oktober 2022 dieses Dach mit Solarmodulen eingedeckt. Das Ergebnis finden Sie auf Seite 16.**



**Die Heise-Konferenz  
zu Machine Learning und  
Künstlicher Intelligenz**

**9. – 11. Mai 2023  
in Karlsruhe**

## **Die Konferenz zu Machine Learning und KI**

Die Minds Mastering Machines ist die Konferenz für Fachleute, die Machine-Learning-Projekte in die technische Realität umsetzen.

**Das Programm bietet an zwei Tagen 36 Vorträge unter anderem  
zu folgenden Themen:**

- ✓ Resilientes Machine Learning
- ✓ Komplexität in ML-Projekten reduzieren
- ✓ Data-Science-Teams mit Kubeflow skalieren
- ✓ Föderiertes Lernen MLOps mit Argo und Kubernetes
- ✓ Erkennen von Bildmanipulationen

**Keynotes zu ChatGPT und Co:**

- ✓ Ein Sprachmodell für die Westentasche
- ✓ Ethische Fragestellung um Conversational AI

**Jetzt  
Tickets  
sichern!**

[www.m3-konferenz.de](http://www.m3-konferenz.de)

**Workshops am 9. Mai: »Schritt für Schritt zur Erklärbaren KI« und  
»MLOps – wie bringt man ein ML-Modell in Produktion und hält es dort?«**

Veranstalter



**heise Developer**

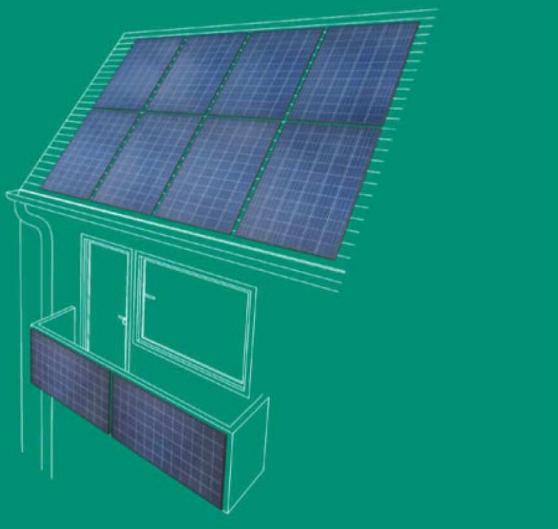
**dpunkt.verlag**

Goldspatoren

**Kern**

**T Systems**

# Inhalt



## PHOTOVOLTAIK FÜR ALLE

Etwas Grundwissen zu Solarkraftwerken hilft bei der Planung, auch wenn Ihre PV-Anlage ein Profi bauen soll. Je nach handwerklichem Geschick können Sie ihm dabei nicht nur auf die Finger schauen, sondern auch selbst mit anfassen. Hier fassen wir das Wichtigste zusammen.

- 8** Solarstrom für alle
- 16** PV auf dem Dach mit Eigenleistung
- 24** Solardachziegel: Kosten und Nutzen
- 32** Einfach erklärt: Solarwechselrichter



## DAS EIGENE BALKONKRAFTWERK

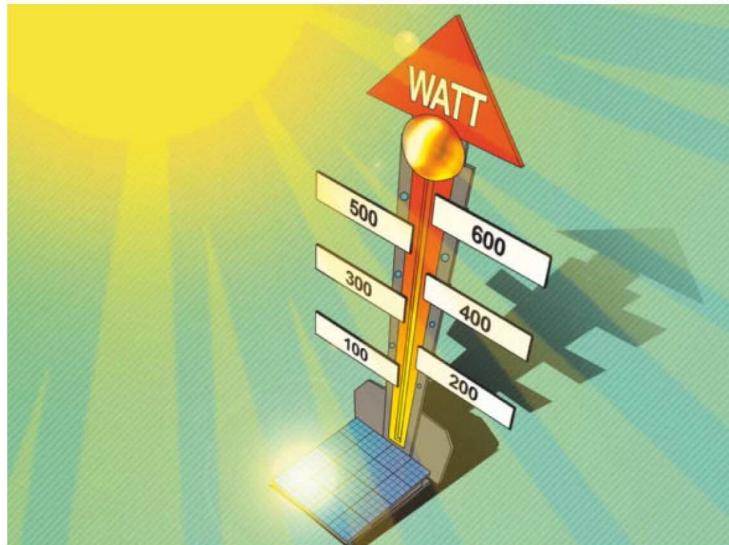
Kleine Photovoltaikanlagen selber zu bauen ist keine Magie. Unsere technischen Infos sind eine gute Basis, um sich selber ein Balkonkraftwerk zusammenzustellen.

- 38** Der Weg zum eigenen Balkonkraftwerk
- 48** Mikrowechselrichter kaufen und einsetzen
- 56** FAQ Balkonkraftwerke
- 62** Kommentar: Balkonkraftwerke bis 3 kWp – das fehlt der Energiewende

## VERBRAUCH UND ERZEUGUNG IM BLICK

Wer ein Balkonkraftwerk hat, möchte auch sehen, was es leistet. Wir haben Tipps und Ideen für Ihre einfache Auswertung. Außerdem zeigen wir, wie Sie Ihren Stromzähler auslesen oder Smart Meter nachrüsten können.

- 64 Ertrag und Verbrauch messen und auswerten
- 70 Wechselrichter per OpenDTU überwachen
- 76 PV-Dashboard für OpenDTU
- 80 Grundwissen: Elektrischer Strom
- 90 Batteriespeicher für stabile Netze
- 98 Für wen sich Smart Meter lohnen
- 104 Zwischenzähler zur Verbrauchsmessung
- 114 Strommesser im Vergleichstest



## ZUM HEFT

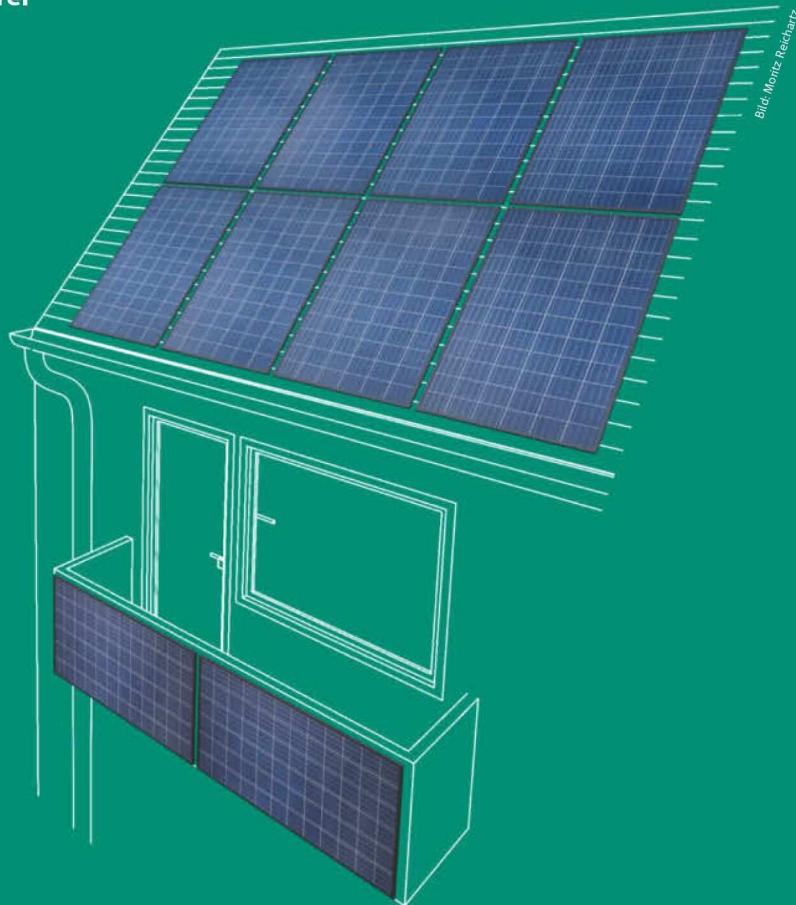
- 3 Editorial
- 103 Impressum
- 122 Vorschau: c't ChatGPT & Co.



# Solarstrom für alle

Die Anschaffung einer Photovoltaikanlage lohnt sich immer. Doch aktuell ist es schwer, jemanden zu finden, der sie aufbaut. Warum also nicht selbst zum Installateur werden? Selber bauen ist nicht Ihr Ding? Hier lernen Sie auch alles Wissenswerte, um dem Profi auf die Finger zu schauen oder ihm Arbeit abzunehmen.

Von **Georg Schnurer**



<b>Rahmenbedingungen für die eigene PV-Anlage</b>	<b>8</b>
<b>PV auf dem Dach mit Eigenleistung</b>	<b>16</b>
<b>Solardächziegel: Kosten und Nutzen</b>	<b>24</b>
<b>Einfach erklärt: Solarwechselrichter</b>	<b>32</b>

**J**etzt dürfte nahezu jeder Post vom Energieversorger bekommen haben: Der alte Tarif läuft aus und Strom wird teurer. Begründet wird das in der Regel mit gestiegenen Einkaufspreisen an den Strombörsen. Tatsächlich ist der mittlere Strompreis für Privathaushalte seit Oktober 2021 stark gestiegen. Zahlte man im Oktober 2021 noch durchschnittlich 32 Cent pro Kilowattstunde (ct/kWh), waren es im Mai 2022 bereits 39 ct/kWh und im Oktober 2022 folgte dann das Allzeithoch von 54 ct/kWh. Für Sparfüchse lautet das Gebot der Stunde: Preise vergleichen und Strom sparen. Ein Blick auf die Strompreisvergleichsportale gibt erste Orientierung, sollte aber nicht die einzige Basis für die Wahl des Stromlieferanten sein. Mitunter fehlen dort die Tarife der örtlichen Grundversorger, die inzwischen durchaus konkurrenzfähig sein können. Auch wichtig: Vertragslaufzeiten und Preisgarantien im Auge behalten und sich nicht von einmaligen Boni blenden lassen.

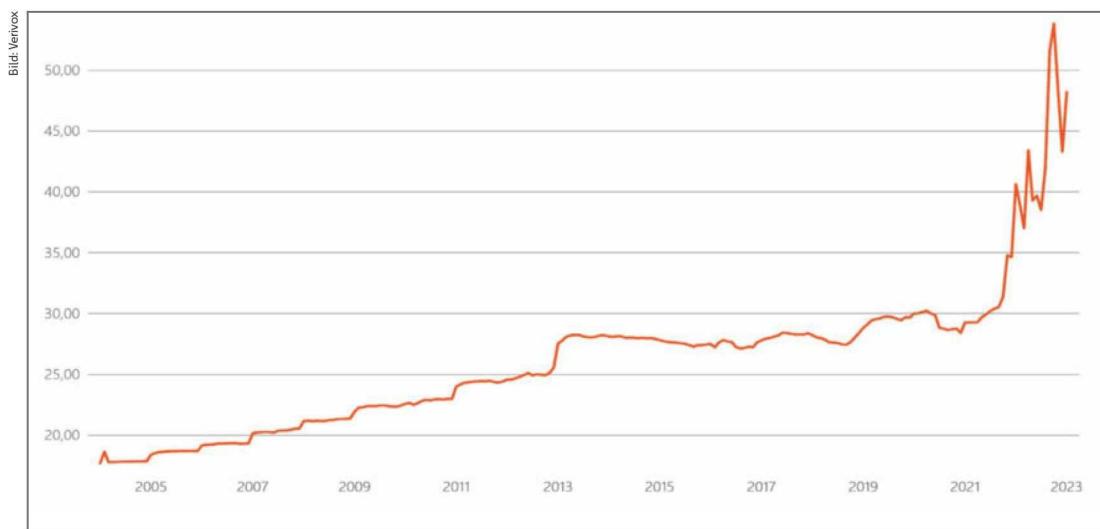
Meine Empfehlung für den Tarifwechsel in turbulenten Zeiten wäre ein Vertrag mit einer einjährigen Preisgarantie und idealerweise der gleichen Laufzeit. Kürzere Preisgarantien schützen nicht vor Kapriolen am Strommarkt. Längere Preisgarantien gibt es nur selten und man bezahlt dafür meist einen erheblichen Aufpreis. Tarife mit Vorkasse oder Kaution sollte man grundsätzlich meiden – die Vergangenheit hat gezeigt, dass das Geld weg ist, wenn der Anbieter plötzlich in die Pleite schlittert.

## Eigener Strom

Nach der Tarifoptimierung lohnt es sich, über die Anschaffung einer eigenen Photovoltaikanlage nachzudenken. Das kann ein kleines Balkonkraftwerk, aber natürlich auch eine größere Anlage sein. Überall, wo die Sonne weitgehend ungehindert scheinen kann, lässt sich meist auch ein Solarpanel unterbringen. Ideal sind Flächen mit Südausrichtung, aber auch Dächer und Balkone mit Ost- oder West-Ausrichtung eignen sich fürs eigene Solarkraftwerk.

Sind passende Flächen verfügbar, folgt die Kosten-Nutzen-Analyse. Eine moderne PV-Anlage in Deutschland erzeugt übers Jahr gerechnet zwischen 800 und 1000 kWh pro installierter Nennleistung. Diese wird in der Einheit „kW Peak“ gemessen und in der PV-Szene physikalisch nicht korrekt als kWp abgekürzt. Ein typisches Balkonkraftwerk mit einer Nennleistung von 600 Wp sammelt in einem Jahr zwischen 480 und 600 kWh elektrischer Energie ein. Wird der Strom komplett im Haushalt verbraucht, entspricht das einer Jahresersparnis von 192 bis 240 Euro (Strompreis 40 ct/kWh). Ein Balkonkraftwerk besteht in der Regel aus zwei PV-Modulen für etwa 400 Euro. Hinzu kommt noch ein 600-Watt-Wechselrichter (120 bis 180 Euro) sowie Kabel und Installationsmaterial für etwa 80 Euro. Komplettsysteme werden für knapp 700 Euro angeboten. Die Investition in Höhe von 600 bis 700 Euro hat sich in zweie-

**Nach dem Allzeithoch im Oktober 2022 pendelt sich der mittlere Strompreis für Privathaushalte mit einem jährlichen Verbrauch von 4000 kWh aktuell bei etwa 48 ct/kWh ein.**



einhalb bis dreieinhalb Jahren amortisiert. Wer die Möglichkeit hat, sollte sich deshalb so ein Mini-Kraftwerk zulegen.

Der Installationsaufwand ist überschaubar und auch die vorgeschriebene Anmeldung beim Markttstammdatenregister geht leicht von der Hand. Etwa mehr bürokratischen Aufwand verursacht die Anmeldung beim Netzbetreiber. Doch hier bröckelt die Front der Verhinderer so langsam – mehr zu Balkonkraftwerken, deren Installation und den sich anbahnenden Erleichterungen bei der Inbetriebnahme finden Sie im Artikel „Der Weg zum eigenen Balkonkraftwerk“ ab Seite 38.

## Groß denken

Wer Platz für eine größere PV-Anlage hat, muss seine Investition sorgfältiger planen. Auch bei einer typischen Dachanlage rechnet man mit einem jährlichen Ertrag von 800 bis 1000 kWh pro kWp. Der Installationsaufwand ist hier aber höher. Zudem muss bei der Inbetriebnahme ein Elektriker mithelfen. In der Regel beauftragt man deshalb eine spezialisierte Firma mit der Installation der Anlage. Blind auf die Empfehlungen des Solaranlagenbauers verlassen sollte man sich aber nicht. Deshalb lohnt es sich, selbst einige grundlegende Dinge über moderne PV-Anlagen zu wissen.

Das geht schon mit der Wirtschaftlichkeitsrechnung los: So erzeugt eine typische private PV-Anlage mit einer Leistung von knapp 10 kWp zwar im Jahr bis zu 10 MWh (10.000 kWh) Energie, doch diese selbst zu verbrauchen, klappt kaum. Gerade im Sommer, wo die Anlage etwa 80 Prozent ihrer Energie produziert, fließt ein großer Teil des über den Tag gewonnenen Stroms ins öffentliche Netz. Dieser wird aber für neue Anlagen nur mit 8,2 ct/kWh vergütet.

Es lohnt sich deshalb fast immer, der PV-Anlage auch noch einen Speicher zu spendieren. Dieser speichert die tagsüber produzierte überschüssige Energie und gibt sie nach Sonnenuntergang wieder ab. Solarspeicher sind aber ein teurer Spaß – pro kWh Kapazität muss man mit Kosten zwischen 700 und 1200 Euro rechnen. Zu groß heißt deshalb meist auch zu teuer. Über den Daumen gepeilt, sollte ein PV-Speicher knapp die halbe Nennkapazität der PV-Anlage haben. Wer seinen Bedarf genauer berechnen will, ermittelt zunächst den Grundverbrauch von Haus oder Wohnung und wählt den Akku so groß, dass dieser 12 Stunden lang Strom liefern kann.

Zu theoretisch? Nun, in meinem Haushalt mit sieben Personen haben wir uns für eine PV-Anlage

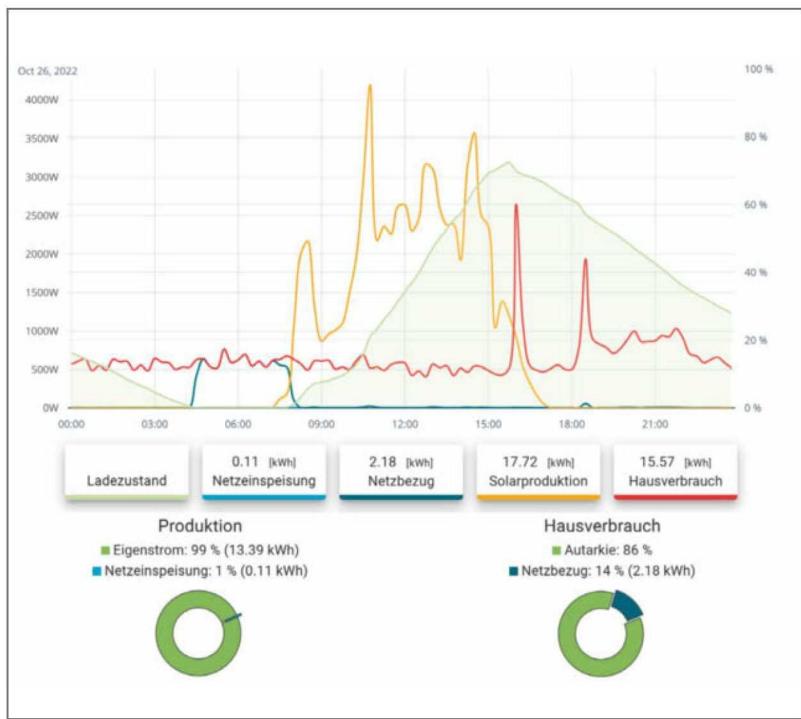
(Ost-West-Dach) mit einer Maximalleistung von knapp 16 kWp entschieden. Dieser steht ein Akku mit 10 kWh zur Seite. Unser nächtlicher Grundverbrauch liegt bei gut 600 Watt. Rechnerisch würde also ein Akku mit 7,2 kWh ausreichen, um die sonnenlose Zeit zu überbrücken. Trotzdem schaffen wir es auch im Sommer immer mal wieder, den 10-kWh-Akku leer zu saugen – da wird abends ausgiebig gekocht, der Server läuft und wenn dann auch noch alle Mitbewohner ihre PCs einschalten, sind die 10 kWh schon vor Sonnenaufgang verbraucht. Trotzdem lohnt sich kein größerer Akku, denn für den zusätzlichen Puffer entstünden uns, verglichen mit dem eingesparten Strom vom Energieversorger, unverhältnismäßig hohe Kosten.

PV-Akkus gibt es in zwei grundverschiedenen Ausführungen: AC- oder DC-gekoppelt. DC-gekoppelte Speichersysteme hängen in der Regel direkt am Wechselrichter und werden von der Gleichspannung der PV-Anlage versorgt. Oft sind sie schon in den Wechselrichter integriert – der heißt dann „Hybrid-Wechselrichter“, weil er auch noch den Akku verwaltet. Die Integration des Akkus bringt den Vorteil, dass der Wechselrichter den Akku direkt und ohne große Verluste be- und entladen kann. Dafür sind DC-gekoppelte Akkus nur erweiterbar, wenn der Wechselrichterhersteller entsprechende Vorkehrungen getroffen hat.

AC-gekoppelte Speicher hängen hingegen im Wechselspannungskreis des Hauses. Deshalb eignen sie sich sehr gut, um PV-Anlagen nachträglich mit einem Speicher auszustatten. Sie enthalten einen eigenen Wechselrichter, der sowohl Energie aus dem Akku ins Hausnetz speist als auch bei Energieüberschuss im Hausnetz die Wechselspannung gleichrichtet und den Akku lädt. Damit beides stets zur rechten Zeit passiert, muss der AC-gekoppelte Wechselrichter mit dem Wechselrichter der PV-Anlage kommunizieren. Durch die mehrfach entstehenden Wandlungsverluste haben PV-Anlagen mit AC-gekoppeltem Akku meist einen etwas schlechteren Wirkungsgrad als Anlagen mit Hybridwechselrichter.

## Viel hilft viel

Wie viele PV-Module man installiert, hängt von Platzangebot und Geldbeutel ab. Generell gilt hier: Viel hilft viel. Das liegt vor allem daran, dass Solarmodule in der trüben Jahreszeit gerade mal 20 Prozent ihrer Jahresleistung produzieren. Je mehr PV-Module vorhanden sind, desto höher ist die Autarkie auch im Winter.



**Ein typischer Tag im Oktober: Die Sonne wurde teilweise von Wolken verdeckt, deshalb füllte sich der Speicher über den Tag nur zu gut 70 Prozent.**

Auch hier einige Zahlen aus meiner Praxis: Der Oktober 2022 war „golden“ und die PV-Anlage verhalf uns zu einem Autarkiegrad von 93 Prozent. Wir mussten also lediglich sieben Prozent Energie (42 kWh) zukaufen. Im Dezember sank der Autarkiegrad auf 17 Prozent, was uns zum Zukauf von 543 kWh zwang. Für den Januar sieht es mit einer Autarkie von 20 Prozent schon besser aus.

### String oder nicht?

Dach-PV-Anlagen arbeiten meist mit großen Wechselrichtern, die Anschluss für ein oder zwei sogenannte Strings bieten. Ein String besteht aus mehreren in Reihe geschalteten PV-Modulen. Dadurch addieren sich die Ausgangsspannungen der angeschlossenen Module und es entstehen schnell gefährlich hohe Gleichspannungen. Für jeden String bringt der Wechselrichter einen sogenannten MPP-

Tracker (Maximum Power Point) mit. Dieser sucht kontinuierlich den optimalen Arbeitspunkt der angeschlossenen PV-Module, um den Ertrag zu maximieren. Alle an einem String angeschlossenen PV-Module sollten die gleiche Ausrichtung zur Sonne haben.

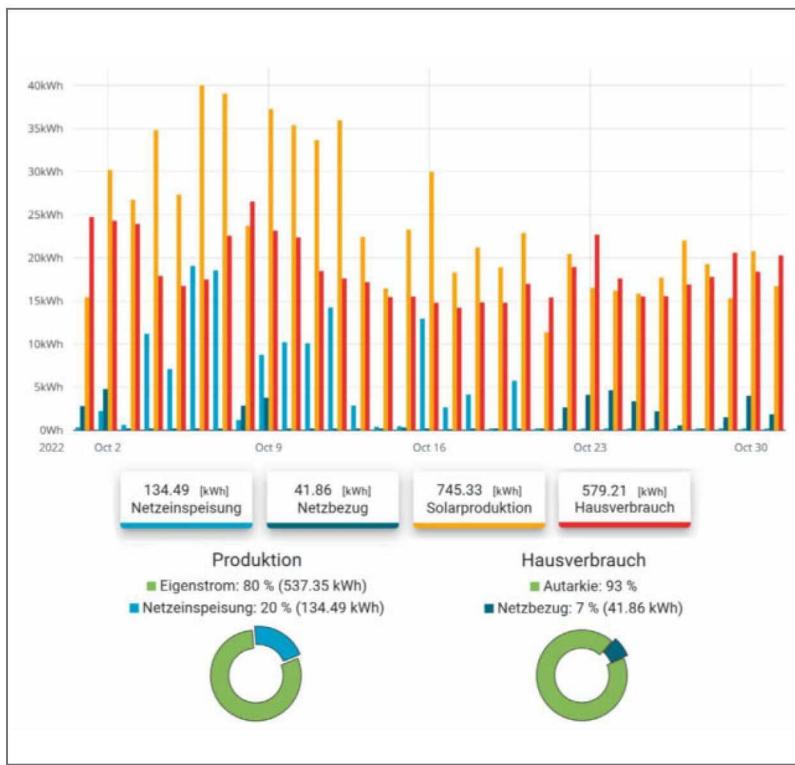
Die maximale Eingangsspannung eines Wechselrichters bestimmt, wie viele Module an einem String hängen dürfen. Um dennoch auch Anlagen mit vielen PV-Modulen zu bauen, bieten einige Wechselrichter die Möglichkeit, zwei Strings parallel auf einen MPP-Tracker zu schalten. Damit das funktioniert, müssen die parallel geschalteten Strings aber aus gleich vielen PV-Modulen bestehen – also die gleiche Maximalspannung aufweisen – und zusätzlich die gleiche Ausrichtung haben. Wer tiefer in die Arbeitsweise von Wechselrichtern und MPP-Trackern einsteigen will, kann das mit dem Beitrag „Einfach erklärt: Solarwechselrichter“ ab Seite 32.

### Mikrowechselrichter

Der Gegenentwurf sind sogenannte Mikrowechselrichter, die bis zu sechs PV-Module ansteuern und im Idealfall für jedes Modul einen eigenen MPP-Tracker mitbringen. Mikrowechselrichter gibt es mit Wechsel- und Drehstromausgang (einphasig und dreiphasig). Sie lassen sich auf der AC-Seite einfach parallel schalten, was auch den Aufbau größerer PV-Anlagen erlaubt. Das ist freilich nur sinnvoll, wenn die Anlage sehr inhomogen ist. Je mehr PV-Module es mit gleicher Ausrichtung und Beschattung gibt, desto eher rentiert sich der Griff zum String-Wechselrichter. Zudem kosten viele Mikrowechselrichter in Summe mehr als ein großer String-Wechselrichter und haben einen schlechteren Wirkungsgrad. Bei kleineren Anlagen bieten die kleinen Geräte aber den Vorteil, dass man es beim Installieren nie mit hohen Gleichspannungen zu tun hat. Wie man so eine PV-Anlage mit zwei Mikrowechselrichtern selbst aufs Dach bringt und welche Tücken dabei lauern, beschreibt der Artikel „PV auf dem Dach mit Eigenleistung“ ab Seite 16 ganz praktisch.

### Modultypen

PV-Module gibt es in sehr unterschiedlicher Ausprägung. Am günstigsten sind polykristalline Module. Ihr Wirkungsgrad liegt aber bei lediglich 15 bis 20 Prozent. Teurer, aber auch ertragreicher sind monokristalline Module mit einem Wirkungsgrad von bis zu 22 Prozent. Noch höhere Wirkungsgrade errei-



**Der goldene Oktober 2022: Die PV-Anlage auf dem Dach sammelte 745 kWh Energie ein, trotzdem mussten noch 42 kWh Energie zugekauft werden.**

chen teure Tandem-Solarzellen. Sie bestehen aus mehreren Schichten, die jeweils andere Wellenlängen des Lichts in Energie umwandeln können. In der Summe sind mit dieser Technik Wirkungsgrade von bis zu 41 Prozent erreichbar, serienreife Tandem-Solarzellen liegen aktuell bei etwas über 30 Prozent Wirkungsgrad.

Neben starren PV-Modulen gibt es auch flexible und semiflexible Varianten. Sie eignen sich gut, um etwa Fahrzeuge zu bekleben, bieten aber einen Wirkungsgrad von nur 10 bis 13 Prozent. Ihre Lebensdauer ist mit 10 Jahren auch gering.

Im Massenmarkt dominieren derzeit PV-Module mit monokristallinen Solarzellen. Sie sind nur noch wenig teurer als polykristalline Modelle, bieten aber bei beschränktem Platzangebot eine höhere Energieausbeute. Die Lebensdauer eines aktuellen monokristallinen PV-Moduls wird auf bis zu 30 Jahre geschätzt.

Unterschiedliche Bauformen ermöglichen den flexiblen Einsatz von PV-Modulen. Auf dem Dach und am Balkon kommen typischerweise Module mit

Aluminiumrahmen zum Einsatz. Sie sind robust, preiswert und leicht zu handhaben. Geht es um die Bedachung etwa von Carports, bieten sich Glas-Glas-PV-Module an. Hier befinden sich die PV-Zellen zwischen zwei gehärteten Glasscheiben. Die Stärke der beiden Glasscheiben variiert je nach Einsatzszenario zwischen 4 und 10 Millimeter. Glas-Glas-PV-Module sind deutlich schwerer und auch kostspieliger als Module mit Rahmen. Neben nahezu undurchsichtigen Modulen gibt es auch solche, die zwischen 30 und 40 Prozent Licht durchlassen. Sie eignen sich etwa als Terrassenüberdachung und werden von verschiedenen Herstellern angeboten. Für Wintergärten gibt es auch Glas-Glas-PV-Module als Isolierglas.

## Zweigesichtig

Eine weitere Variante monokristalliner PV-Module sind sogenannte bifaziale Module. Die arbeiten beidseitig und nutzen auch das Licht, das auf die Modulrückseite fällt. Dadurch erhöht sich der Wirkungs-

grad um 5 bis 30 Prozent. Die Herstellung bifazialer Module erfordert aber zusätzliche Arbeitsschritte. So muss die Zellenrückseite poliert und passiviert werden. Dazu kommt ein Metallisierungsgitter mit ähnlicher Struktur wie auf der Vorderseite. Da immer mehr Hersteller ihre Anlagen auf bifaziale Zellen umstellen, verringert sich der Preisunterschied zwischen monofazialen und bifazialen PV-Modulen aber stetig.

Ideale Bedingungen für bifaziale Module bieten Solarzäune, aber auch Carport-Dächer profitieren von dieser Technik. Bei einer typischen Dach- oder Fassadeninstallation ist der Zugewinn durch den Einsatz bifazialer Module eher gering.

Eine weitere Entwicklung bei monokristallinen Solarzellen sind Halbzellen. Sie bestehen aus den gleichen Materialien wie normale Solarzellen, werden nach der Produktion aber in zwei Hälften geschnitten. Das Teilen der Zellen halbiert den durch die Zelle fließenden Strom. Dadurch verringern sich die Leistungsverluste in einer Halbzelle um den Faktor 4 ( $P = R \times I^2$ ). Die geringere Verlustleistung inner-

halb der Zellen verbessert den Temperaturkoeffizienten, sodass Halbzellenmodule bei hohen Temperaturen bessere Leistungen erbringen können. Ein Halbzellen-Solarmodul besteht dann aus 120 statt der sonst üblichen 60 Solarzellen. Der zusätzliche Raum zwischen den Zellen verstärkt Reflexionen innerhalb des Laminats und erhöht so die Lichtnutzung in der Zelle. Unterm Strich sind PV-Module mit Halbzellen bei gleicher Größe etwa 2 bis 3 Prozent leistungsfähiger als Module mit Vollzellen. Weil Halbzellenmodule inzwischen bereits günstiger sind als Vollzellenmodule werden diese langsam aus dem Markt gedrängt.

## Hürdenlauf

Auch wenn die Ampelkoalition inzwischen einiges getan hat, um den Bau privater PV-Anlagen zu unterstützen, gibt es nach wie vor einige Stolpersteine. So hat der Wegfall der Mehrwertsteuer für PV-Komponenten zum 1. Januar zwar die Preise gesenkt, doch nach wie vor gibt es lange Wartezeiten, bis die

**heise Academy**

**DATEN SCHÜTZEN**  
IT einfach sicher machen

**Der große Security-ONLINEKURS**

heise Academy

Corinna Göring

Informationssicherheit im Unternehmen

Der umfassende Kurs für Datensicherheit im Unternehmen

Der umfassende Kurs für Datensicherheit im Unternehmen, anschaulich erklärt in 80 Lektionen, Laufzeit: 5:33 Stunden

Wiederholungsklausur für die Universität

**PLUS**  
heise Academy Webinar im Wert von 99,- Euro

**E-Mail sicher nutzen**

Tipps für den Alltag, Phishing-Mails erkennen, Verdächtige Maillanhänge untersuchen und entschlüsseln

**Praktischer Datenschutz im Alltag**

Office-Dateien in der Cloud verstecken, Onlinedienste datenschutzkonform nutzen, Videobearbeitung legal einsetzen

**Sicher speichern und transportieren**

Verschlüsselung gegen Datenklau, USB-Sticks & Co.: Sichere Medien für unterwegs

**+ GRATIS Videokurs im Wert von 99,- €**

# Sind Ihre Daten sicher?

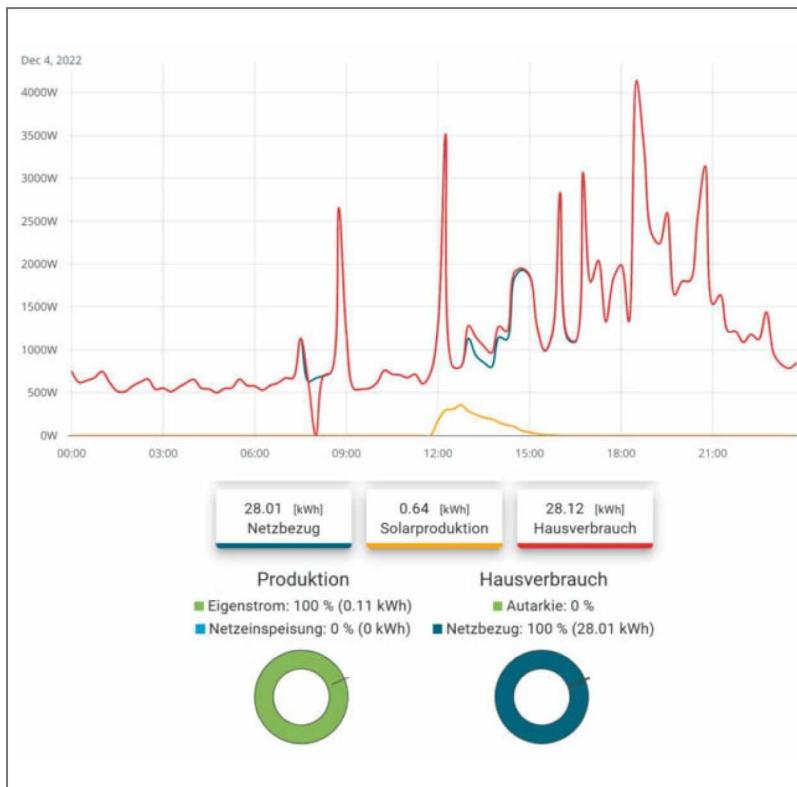


- Gefahrloser Umgang mit E-Mails
- Office-Dateien in der Cloud verstecken
- Sicher speichern und lagern
- Verschlüsselung gegen Datenklau
- Inkl. GRATIS heise-Academy-Kurs „Informationssicherheit im Unternehmen“
- Auch im Paket-Angebot mit Buch „Cloud Computing nach der Datenschutz-Grundverordnung“ zum Sonderpreis

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



[shop.heise.de/ct-datenschutz23](http://shop.heise.de/ct-datenschutz23)



**Trauriger Solar-Sonntag: Kaum Sonne am Himmel und die halbe WG ist am Kuchenbacken.**

Anlage auf dem Dach liegt und in Betrieb gehen kann. Wer heute ein Angebot einholt, sollte mit mehreren Monaten Wartezeit bis zum Baubeginn rechnen.

Steht die Anlage, muss man sie im Marktstammdatenregister der Bundesnetzagentur eintragen und beim örtlichen Netzbetreiber anmelden. Die Registrierung im Marktstammdatenregister ist mit etwas Schützenhilfe vom Errichter keine große Hürde. Die Registrierung beim Netzbetreiber kann aber ein echter Alptraum werden. Jeder Betreiber kocht da sein eigenes Süppchen.

Zu weiteren Verzögerungen führt oft der fällige Zählerwechsel: Alte Ferraris-Zähler - die schwarzen Kästchen mit mechanischem Zählwerk und Drehrad - würden beim Einspeisen ins Stromnetz rückwärts laufen. Das ist verboten, da man ja für die bezogene Energie viel mehr zahlt, als man für die Einspeisung bekommt. Dreht der Zähler rückwärts, betrügt man also den Energieversorger, und das ist böse ... Bei moderneren Digitalzählern mit Rücklauf sperre besteht diese Gefahr nicht, trotzdem beste-

hen die Energieversorger hier auf den Austausch gegen einen Zweirichtungszähler. Für den Wechsel wiederum braucht es Personal und mitunter sind auch die Zähler nicht sofort verfügbar. So kann es vorkommen, dass die betriebsbereite PV-Anlage monatlang im Dornröschenschlaf verbringt, weil der Netzbetreiber nicht in die Pütte kommt. Zwar gibt es auch hier Bestrebungen, das Verfahren zu vereinheitlichen, doch bis das in der Praxis zur schnelleren und einfacheren Inbetriebnahme von privaten PV-Anlagen führt, wird es noch eine Weile dauern.

Immerhin: Der bereits erwähnte Wegfall der Mehrwertsteuer beim Kauf der PV-Anlage und Änderungen im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) bringt eine weitere Erleichterung für 2023 neu errichtete PV-Anlagen mit sich. Speist man die nicht selbst verbrauchte Energie ins Netz ein, erhält man dafür ja eine Vergütung. Damit galt man nach alter Rechtsprechung als Unternehmen und musste die Einkünfte aus dem Stromverkauf beim Finanzamt melden und dafür Steuern entrichten. Auch für die selbst

verbrauchte Energie aus der PV-Anlage fielen Steuern an (Selbstentnahme). Im Gegenzug konnte man die Investition für die Solaranlage über mehrere Jahre abschreiben und sich im ersten Jahr die beim Kauf gezahlte Mehrwertsteuer erstatten lassen. Das ist zwar mit einem Aufwand verbunden, rentierte sich aber zumindest im Jahr der Anschaffung der PV-Anlage. Nach zwei Jahren konnte man dann versuchen, dem Finanzamt glaubhaft zu machen, dass mit der PV-Anlage keine langfristige Gewinnerzielungsabsicht einhergeht.

Seit Januar 2023 hat man nun bei privaten PV-Anlagen mit einer Nennleistung von weniger als 30 kWp die Möglichkeit, unkompliziert die Kleinunternehmerregelung in Anspruch zu nehmen. Das erspart einem die Notwendigkeit, eine Umsatzsteuervoranmeldung abzugeben. Zusätzlich stellt das EEG Einnahmen aus privaten PV-Anlagen mit weniger als 30 kWp ab dem Steuerjahr 2022 steuerfrei. Damit sind keine Einkommensteuern mehr auf die Einnahmen aus dem Energieverkauf an den Netzbetreiber zu entrichten und auch die Versteuerung der

Selbstentnahme entfällt. Beim Finanzamt anmelden muss man die PV-Anlage aber nach wie vor.

Für Selbstständige lauert hier aber eine Falle: Das Finanzamt betrachtet Sie als eine Steuerperson. Das bedeutet, die Umsätze aus einer selbstständigen Tätigkeit oder auch weiteren unternehmerischen Einnahmen werden zusammen betrachtet. Überschreitet die Summe den Freibetrag von 22.000 Euro, können Sie die Kleinunternehmerregelung nicht mehr in Anspruch nehmen. Das gilt auch nach der EEG-Neuregelung. Selbstständige sollten daher die PV-Anlage nicht selbst kaufen, sondern dies an den Partner oder die Partnerin delegieren.

### Ans Werk!

Doch nun genug der Theorie – in den nachfolgenden Artikeln finden Sie praktische Beispiele rund um den – zumindest teilweisen – Selbstbau einer Dach-PV-Anlage und die Installation eines eigenen Balkonkraftwerks. Vielleicht ermutigen Sie unsere Tipps ja zum Bau einer eigenen PV-Anlage. (gs) 

# Make:



## DAS KANNST DU AUCH!



# 2× Make testen und über 7 € sparen!

#### Ihre Vorteile:

- ✓ **GRATIS dazu:** Make: Tasse
- ✓ Zugriff auf Online-Artikel-Archiv\*

Für nur 19,40 € statt 27 €

- ✓ Jetzt auch im Browser lesen!
- ✓ Zusätzlich digital über iOS oder Android lesen

Jetzt bestellen:

**[make-magazin.de/minabo](http://make-magazin.de/minabo)**

\* Für die Laufzeit des Angebotes.

**GRATIS!**





Bild: Pina Merkert

# PV auf dem Dach mit Eigenleistung

**Balkonkraftwerke baut man selbst, Aufdachanlagen lässt man vom Fachbetrieb installieren. Aber was tun, wenn kein Installateur verfügbar ist? Wir haben ausprobiert, wie man die Solaranlage einfach selbst aufs Dach schrauben kann.**

Von **Jan Mahn, Pina Merkert und Andrijan Möcker**

**D**as hören viele seit Monaten: „Gerne bauen wir Ihnen eine Photovoltaikanlage. Aber nicht vor dem zweiten Quartal 2024.“ Mancherorts, so schilderten uns Leser, waren Fachbetriebe für die Montage nicht mal persönlich zu erreichen – wegen der riesigen Nachfrage hatten viele Betriebe nur noch einen Anrufbeantworter aktiviert, der Neukunden vertröstete.

Das Problem hatten wir selbst auch: Das Garagedach von Redakteurin Pina Merkert lockte mit 25 Qua-

dratmeter Ziegeldach in optimaler Südausrichtung, doch es fand sich niemand, der es mit Photovoltaik belegen wollte. Dabei könnte die Dachfläche die winterliche Solarstromknappheit im daneben stehenden Wohnhaus lindern. Letzteres besitzt bereits seit 2021 eine Ost-West-Photovoltaikanlage mit Stromspeicher. Da wir in der Redaktion inzwischen einige Erfahrungen mit Balkonkraftwerken gesammelt hatten (siehe Artikel „Der Weg zum eigenen Balkonkraftwerk“ auf S. 38), fragten wir uns, ob wir

die Garage nicht einfach selbst mit Solarmodulen bestücken könnten. Das Grundprinzip aus Modulen, Wechselrichter, DC- und AC-Verkabelung ist gleich; es ist nur alles etwas größer und statt des Balkons sind Dachziegel unter den Modulen.

Kaum saßen wir – die drei Autoren dieses Artikels – zusammen, wurde aus der fixen Idee ein konkretes Projekt. Das Garagendach eignet sich perfekt als Lehrstück für Einsteiger, denn es ist vergleichsweise klein (4 m × 6,2 m), nicht besonders hoch über dem Boden und es gibt keinen störenden Schornstein. Unter den um 40 Grad geneigten Ziegeln befindet sich zudem eine Unterkonstruktion, wie sie auch viele Hausdächer haben, sodass unsere Erfahrungen auf große Dächer übertragbar sind.

Im Keller des Haupthauses steht bereits ein Speichersystem mit einer Kapazität von 5,4 Kilowattstunden, das bislang von zwei AC-gekoppelten Wechselrichtern gespeist wurde. Diese Art der Kopplung macht es leicht, ein weiteres AC-gekoppeltes System zu ergänzen – oder anders formuliert: Die zusätzliche Anlage hängt einfach als negativer Verbraucher im Hausnetz. Die Aufgabe: das Dach so effizient wie möglich ausnutzen. Die Hoffnung: Zu Spitzenzeiten im Frühjahr und Sommer kann das Haus mehr Strom verkaufen und im Winter hilft die Anlage auf der Garage, den Akku vollzuladen und ohne Stromnachschub aus dem Versorgernetz über die Nacht zu kommen. Insgesamt sollen möglichst viele Tage im Jahr ganz ohne Netzbezug vergehen. Die Aussicht, durch Eigenleistung merklich geringere Baukosten für die Anlage zu haben, ließ die Wirtschaftlichkeitsabschätzung von „lohnt sich“ auf „lässt die Kasse klingeln“ springen.

## Quartettspiel Für die Planung

Los ging die Planung mit Recherche – eine machbare Aufgabe, wenn sich drei Technikjournalisten in einer Videokonferenz treffen. Zunächst klärten wir Grundlegendes: Dürfen wir das überhaupt? Wie sieht es bei Aufdachanlagen unter den Modulen genau aus? Welches Werkzeug benötigen wir und wie sichern wir uns auf dem Dach? Die Antworten: Vieles dürfen wir auf eigene Verantwortung selber erledigen und gemeinsam haben wir genug Werkzeug – Schlag- und Akkuschrauber, Trennschleifer, Seitenschneider, Crimpzangen für MC4-Stecker und Aderendhülsen – und Fallschutzgurte, um nicht vom Dach zu stürzen. Außerdem zeigte die Recherche einen praktischen Umstand auf: Die Anlage auf dem Hausdach war noch kein ganzes Jahr alt und des-

## Werkzeugempfehlung

- Winkelschleifer mit Diamantscheibe
- Edding für Markierungen auf den Ziegeln
- Schlagschrauber (Impact Driver) mit Torx T20-Bit
- Metallsäge zum Ablängen der Schienen
- Akkuschrauber mit 8-mm-Nuss für die Modulklemmen
- Ratsche und 19-mm-Nuss für die Verbindung zwischen Dachhaken und Schienen
- 19-mm-Gabelschlüssel für die Höheneinstellung der Dachhaken
- Crimpzange für MC4-Stecker
- Seitenschneider
- Cuttermesser
- Abisolierzange
- Crimpzange für Aderendhülsen
- Stufenbohrer für Kabeldurchführungen in die Verteilerdosen
- Bohrhammer für Dübellöcher

## Kosten

Posten	Preis
Wechselrichter: 2 × Hoymiles HMT2250 6T	973,90 €
Module: 12 × Trina Solar TSM-DE09.08	2.271,60 €
Dachhaken und Profile: Novotega Klemmsystem top-fix	686,40 €
100 Meter DC-Solarkabel 4mm <sup>2</sup>	125,44 €
100 MC4-Stecker	44,99 €
AC-Anschlusskabel: NYM 5 × 2,5mm <sup>2</sup> Mantelleitung	34,39 €
Sicherungsautomaten (3 × 16A B-Typ plus Automaten für Licht und Steckdosen)	91,92 €
Mini-Sicherungskasten 12 Elemente breit	24,99 €
10 Feuchtraum-Abzweigdosen	9,99 €
WAGO-Klemmen	13,95 €
Elektrische Prüfung	700,00 €
Summe	4977,57 €

wegen kann die Erweiterung auf dem Garagendach einfach mit der gleichen Einspeisevergütung abgerechnet werden.

Mit diesen guten Nachrichten starteten wir die Anlagenplanung. Wie bei einem Quartettspiel ging

es zu: Werte aus Datenblättern wurden in den Ring geworfen, Modulgrößen mit dem Platz auf dem Dach verrechnet. Gesucht wurde eine Kombination aus Modulen und Wechselrichtern, die aufs Dach passt und die größtmögliche Gesamtleistung bringt. Lieber wenige und dafür große 500-Watt-Module oder kleine 300-Watt-Panels, dafür eine zusätzliche Reihe quer? Lieber ein großer String-Wechselrichter oder mehrere Mikrowechselrichter? String-Wechselrichter arbeiten meist etwas effizienter, mit Mikrowechselrichtern bekommt man ohne Aufpreis mehr Leistungspunktsucher (MPPT), die bei Verschattung das Optimum herausholen. Klarer Sieger: Eine Kombination aus zwölf 400-Watt-Modulen und zwei Mikrowechselrichtern.

## Drei Phasen

Wer bei Mikrowechselrichtern nur an Balkonkraftwerke mit 600 Watt denkt, ist aber auf der falschen Spur: Die ausgewählten Geräte – zwei Hoymiles HMT-2250-6T – liefern jeweils 2250 Watt und haben sechs Eingänge mit Leistungspunktsuchern – ein

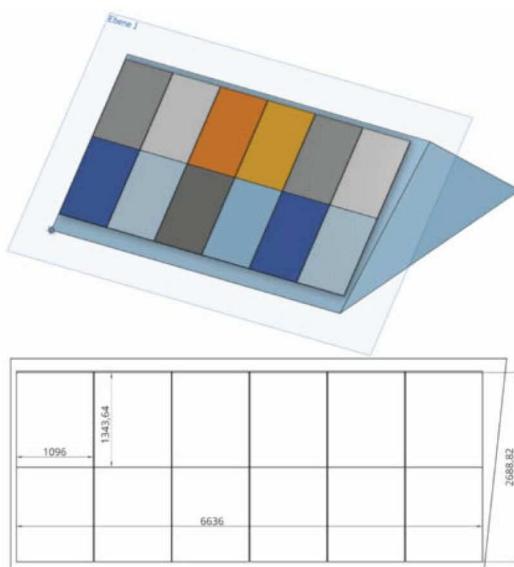
großer Vorteil, weil das Wohnhaus und die benachbarte Scheune die Fläche zumindest teilverschatten. Die HMT-2250-6T werden AC-seitig einfach parallel geschaltet mit den drei Phasen vom Hausanschluss verbunden. Maximal 4500 Watt kann die Anlage so leisten; die Module können in der Spitze kaum mehr erreichen und wir verschenken unter optimalen Bedingungen nur rund 300 Watt. Insgesamt ist das die optimale Kombination: Das Dach wird ganz voll und die Gesamtkosten dieser Zusammenstellung liegen mit 5000 Euro deutlich unter einer Variante mit großem Wechselrichter. Die Module (Trina Solar TSM-DE09.08) bot uns der lokale Solarteur an, sodass wir uns hohe Speditionsversandkosten gespart haben. Die gesamte Kalkulation für unser Projekt finden Sie in der Tabelle „Kosten“ auf Seite 9.

Von einem solchen Solarquartettspiel mit Datenblättern, die im Internet leicht zu finden sind, können auch Kunden profitieren, die nicht selbst aufs Dach möchten. Es lohnt sich durchaus, das Dach genau zu vermessen und verschiedene Kombinationen durchzurechnen, bevor man einen Fachbetrieb kontaktiert. Was möglich ist, muss am Ende der Installateur beurteilen, aber es kann nicht schaden, wenn man ein paar Vorschläge zum Diskutieren dabei hat – besonders bei teilverschatteten Dächern und Dachgauben können Ergänzungen mit Mikrowechselrichtern sinnvoll sein, damit am Ende möglichst wenig nutzbare Fläche brachliegt.

CAD-Programme erweisen sich dafür als nützliches Werkzeug. Hat man wie wir eine bemaßte Aufsicht auf den Sparrenplan (auf Papier aus dem Jahr 1982), sind die Maße schnell in ein CAD-Programm übertragen. Wir verwendeten dafür das browsergestützte Onshape [1], das kostenlos nutzbar ist, solange man die Planung öffentlich teilt. In Onshape konstruierten wir das Dach in 3D und erstellten eine Skizze in der Ebene der Dachfläche. In der kann man dann sehr schnell verschiedene Modulgrößen ausprobieren. Unser Design können Sie online nachschauen. Den Link finden Sie über [ct.de/wjae](http://ct.de/wjae).

## Nicht ganz ohne Fachbetrieb

Der famose Plan hatte allerdings ein entscheidendes Problem: Dreiphasige Wechselrichter mit 2,25 Kilowatt dürfen wir nicht selbst ans Stromnetz anschließen. Ganz ohne Fachbetrieb geht es also nicht. Genau wie alle Anlagen über 600 Watt muss jede Anlagenerweiterung beim Netzbetreiber angemeldet und von diesem abgenommen werden. Voraussetzung dafür ist, dass ein beim Netzbetreiber ein-



**Im CAD-Programm Onshape konnten wir leicht das Dach modellieren und die Module auf die verfügbare Fläche „puzzeln“. Die hintere Wand der Garage ist schräg, weil sie der Grundstücks-grenze folgt.**

**Die Dachhaken, Profile und Module lieferte uns der Solarteur, mit dem wir handels-einig wurden.**



getragener Elektrobetrieb als Errichter der Anlage auftritt und gegenüber dem Netzbetreiber bestätigt, dass die Anlage auf der Wechselspannungsseite nach dem Stand der Technik installiert ist und dass die Wechselrichter die VDE-Anschlussregel AR-N 4105 erfüllen - nachgewiesen mit Prüfzertifikaten des Herstellers.

Als handwerklich erfahrener Laie kann man selbst die Dachhaken anschrauben, die Ziegel ausklinken, Aluprofile als Unterkonstruktion anbringen, die Mo-

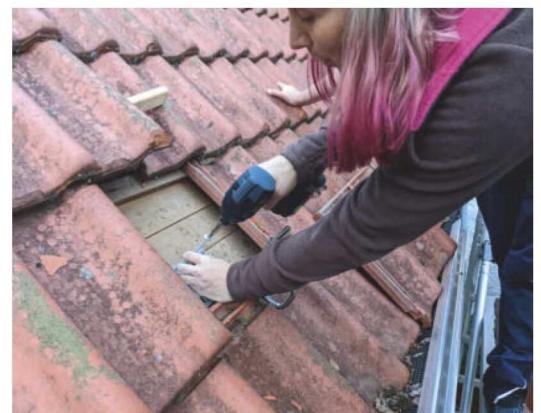
dule befestigen und die Verkabelung vorbereiten. Auch die Formulare für die Anmeldung kann man selbst ausfüllen. Nur die Verbindung zum Stromnetz stellt der Solarteurbetrieb her.

Für unser Projekt hatten wir mit dem Betrieb, der die Anlage auf dem Dach des Wohnhauses gebaut hat, einen Deal geschlossen: Er lieferte uns nicht nur die Solarmodule und das Montagematerial, sondern übernahm auch die Ab- und Inbetriebnahme sowie die Anmeldung beim Netzbetreiber. Wir leisteten die schwere Arbeit auf dem Dach und bereiteten alles vor, schalteten aber noch keine Verbindung zum Netz. Der Elektriker sollte unsere Arbeit prüfen und die Anlage in Betrieb nehmen. In den Formularen für die Anmeldung beim Netzbetreiber konnten wir so den Fachbetrieb als Errichter eintragen. Für diese Arbeiten veranschlagten die Profis 700 Euro. Der Erfolg dieses Deals hing aber natürlich davon ab, dass wir professionell genug arbeiten würden, damit der Fachbetrieb nicht nachbessern muss.

## Hakenarbeit

Im Nieselregen ging es damit los, ein geliehenes Gerüst aufzubauen. Ohne geht es nicht. Spätestens beim Hochwuchten der Solarmodule würde man

**Ein Gerüst ist für die Installation einer Aufdachanlage unverzichtbar. Ohne hätten wir die Module nicht auf die Profile wuchten können.**



**Mit einem Schlagschrauber kann man auch 10 Zentimeter lange Schrauben ohne starkes Gegendrücken im Sparren versenken. Mit einem normalen Akkuschrauber hätten wir die Haken nicht festschrauben wollen.**

auf einer Leiter verzweifeln. Der Himmel klarte glücklicherweise etwas auf, als wir von der Gerüstplattform aus die ersten Ziegel ausklinkten und die Sparten freilegten. Auf die schraubten wir mit langen Tellerkopfschrauben die erste Reihe Dachhaken. Der Akkuschlagschrauber prügelte die langen Schrauben, die der Hersteller des Befestigungsmaterials vorgesehen hat, handgelenkfreundlich ins Holz.

Es gibt zwar verschiedene Dachhaken, sie werden aber immer mit einer gelochten Platte angeschraubt. Die Hakenform ist nötig, weil sie zwischen der unteren Kante eines Ziegels und der oberen Kante des darunterliegenden Ziegels hindurchgeführt werden. Dahinter biegen sie nach oben ab, damit man ein Aluprofil fixieren kann. Unsere Dachhaken waren in Höhe und Position verstellbar. Das ist deswegen nützlich, weil die Haken nicht auf den unteren Ziegel drücken dürfen. Durch eine punktuelle Belastung könnte der Ziegel in späteren Jahren brechen.

## Nutfräserei

Damit die Ziegel trotz Haken korrekt aufliegen, muss eine Nut Platz schaffen. Routinierte Profis schlagen die Nut mit einem Zimmermannshammer. Weil die



**Am dritten Tag lag schon die Hälfte der Module auf dem Dach. Insgesamt arbeiteten wir zu dritt vier Tage lang an der Solaranlage.**

Ziegel dabei aber auch unsichtbare Schäden davontragen können, greift man als Laie besser zum Winkelschleifer: Wir frästen die Nuten mit einer Diamantscheibe in die Ziegeln. Das staubt gewaltig, aber das Tragen von Staubschutzmasken ist man ja nun gewohnt.



**Statt mit dem Zimmermannshammer Nuten zu schlagen, fräsen wir Schlitze mit einer Diamantscheibe. Zwei Ziegeln brachen trotzdem, aber erst beim Zurechtrücken.**



**Die kurzen Anschlusskabel der Mikro-  
wechselrichter konnten wir einfach unter  
dem Ziegel durchführen und innen die  
drei Phasen verkabeln.**

**Pina Merkert verbindet hier das  
kurze Verlängerungskabel für  
den Gleichstromanschluss,  
während Jan Mahn das letzte  
Modul bereithält.**



Mit dem ersten Profil auf dem Dach hatten wir uns einen Befestigungspunkt für einen Sicherungsgurt gebaut. Damit war der Weg aufs Dach frei: Stück für Stück setzten wir auf schrägen Ziegeln kniend Haken für Haken und Profil für Profil, bis wir den First erreicht hatten. Auf diese Konstruktion konnten wir das erste Modul hieven und mit End- und Mittelklemmen fixieren. Für Klemmen, Profile und Haken gibt es mehrere Systeme, die sich alle wie ein Baukasten zusammensetzen lassen. Am Ende des zweiten Tages hatten wir schon das erste Modul auf dem Dach.

## Wechselrichtertum

Mit dem Anschrauben des ersten Mikrowechselrichters auf dem mittleren Profil ging es am nächsten Tag flott weiter. Jedes Modul hatte bei unserer Installation zwei Stecker am Wechselrichter, die Distanz überbrückten selbstkonfektionierte Verlängerungskabel mit 4 Quadratmillimetern Querschnittsfläche. Auf deren Anschluss waren wir mit der richtigen Crimpzange gut vorbereitet, denn die MC4-Stecker muss man unbedingt crimpeln und darf sie nicht weichlöten. Drückt ein Stecker auf ein verzinktes

Kabel, weicht das Lötzinn über die Jahre aus und die Verbindung wird instabil oder kann sogar brandgefährlich heiß werden. Zudem liefern normale Löt Kolben ohnehin nicht genug Wärme, um so dicke Kabel sauber zu verlöten.

Beim dreiphasigen Wechselstromanschluss hatten wir dann aber ein Problem. Wir hatten ein waserdichtes T-Stück für die Außeninstallation besorgt, um beide Wechselrichter zusammenzuschließen sowie ein dickes Kabel, um es unter den Ziegeln nach innen zu führen. In dem bestellten T-Stück war aber nicht genug Platz, um die Kabel vertrauenswürdig zu verschrauben. Nach einer Stunde vergeblichen Fummelns gaben wir auf.

Die Idee zur Lösung kam uns, als wir ratsuchend auf unsere halb fertige Dachkonstruktion schauten: Anstatt die drei Phasen an einer Stelle nach außen zu führen, konnten wir auch die Anschlusskabel beider Wechselrichter direkt unter dem darunterliegenden Ziegel nach innen führen. Innen würden typische Feuchtraumdosen und Wago-Klemmen für solide und sichere Verbindungen sorgen. In unserem Fall war das die elektrisch solideste Lösung, die wir auch ohne Probleme umsetzen konnten.



**Elektrotechnische Laien dürfen durchaus Sicherungskästen setzen und Kabel vorbereiten. Nur den Anschluss ans Stromnetz muss man einem Profi überlassen.**

## Elektrik

Nach drei Tagen lagen die Module auf dem Dach, die Wechselrichter waren angeschlossen, alle Ziegel kuschelten sich wieder in Position und ein Test mit dem Gartenschlauch bewies, dass das Wasser schön von den Modulen abließ und die Regenrinne erreichte. Einen wichtigen Meilenstein hatten wir geschafft: Die Regenfestigkeit des Dachs hatte durch die Aussparungen nicht gelitten.

Also war es Zeit für unseren letzten Schritt: Die Spannungsversorgung der Garage läuft über ein 5x2,5-mm<sup>2</sup>-Kabel, das zum Haus führt und dort auch abgesichert ist. Daran hängen Steckdosen für ein Elektrorad, das Garagentor und die Beleuchtung. Außerdem gibt es noch eine CEE-16-Dose. Verteilt wird der Strom mit simplen Feuchtraumdosen.

Hätten wir die Solaranlage – unzulässigerweise – direkt an diesem Stromkreis angeschlossen, hätten

Verbraucher bei Sonnenschein mehr als 16 Ampere beziehen können, weil die Sicherung im Haus von dem zusätzlichen Sonnenstrom nichts mitbekommen hätte. Im Falle einer Überlastung könnte es dann zum Brand kommen.

Um für elektrische Sicherheit zu sorgen, installierten wir einen Verteilerkasten mit vier Leitungsschutzschaltern. Die beiden Mikrowechselrichter hängen an einem Sicherungsautomaten 3x16A B-Typ. Ein zweiter gleicher Bauart sichert die CEE-Dose ab. Das Licht hängt an einem eigenen einphasigen Automaten. Den Steckdosen spendierten wir einen einphasigen Automat mit integriertem Fehlerstrom-Schutzschalter (FI, RCD).

Und hier endete unser Spielraum, Eigenleistung einzubringen. Die Inbetriebnahme der Wechselrichter überließen wir der Elektrofachkraft des Solarbetriebs. Die kann die Anlage beim Termin mit dem Netzbetreiber verbinden und einschalten.

Gefährlich ist nicht nur die netzseitige Wechselspannung, auch die Gleichspannung der Module kann kritisch sein. Plant man die Anlage nicht mit Mikrowechselrichtern, sondern mit einem großen Wechselrichter, werden die Module in Reihe zu Strings verschaltet. In der Reihenschaltung addieren sich die Spannungen – 400 bis 600 Volt kommen auch bei mittelgroßen Anlagen schnell zusammen, wenn die Sonne scheint. Unter keinen Umständen darf man in einem solchen String die MC4-Stecker unter Last abziehen – der entstehende Lichtbogen ist lang und gefährlich. Lebensgefährlich ist es ebenfalls, beide Enden eines Strings gleichzeitig zu berühren. Bei einer solchen Anlage sollten Sie den letzten Schritt, das Verbinden vom Wechselrichter mit den beiden Enden des Strings, dem Profi überlassen.

## Formulärkultur

Es ist wieder Abend geworden auf der Baustelle. Statt Feierabend stand die vielleicht schmutzigste Arbeit des Projektes an: Bevor die Anlage ans Netz geht, möchte der Netzbetreiber mit ausgefülltem Papier versorgt werden. Und was die für den Wohnort von Pina Merkert zuständigen Stadtwerke Kaiserslautern da vorbereitet haben, treibt selbst den Behördenveteranen unserer Runde zur Verzweiflung. Zugeschickt hat uns der Netzbetreiber Formulare, die man nur handschriftlich ausfüllen kann.

Auch inhaltlich gibt es Herausforderungen. Der Vordruck ist so gestaltet, dass man darauf jede Form von Energieerzeugungsanlage vom Kohlekraftwerk bis zur Photovoltaikanlage anmelden kann. Welche

Abschnitte sich auf welche Art von Energieerzeugung beziehen, muss der Antragsteller sich erarbeiten. Unklare Formulierungen wie „Zertifikat angehängt“ geben uns den Rest. Nach zwei Stunden der behördendeutschen Begriffsklärung hatten wir endlich doch ein gutes Gefühl mit unseren Eintragungen und erstmals einen Eindruck, woran es bei der Energiewende in Deutschland klemmt. Dachhaken, Module, Elektrik – alles machbar für normale Menschen mit ein wenig Unterstützung vom Fachbetrieb. Aber bei den zur Anmeldung einer simplen Anlagenerweiterung geforderten Formularen hätten wir beinahe unseren Meister gefunden.

### Anmeldetag

Als das Auto der Elektrofirma auf den Hof rollte, steigerte sich die Spannung für uns Teilzeit-Solarteure: Wird der Fachmann mit den Augen rollen? Muss er womöglich teuer nacharbeiten? Kann die Anlage vielleicht doch nicht gleich in Betrieb gehen?

Drei Stunden lang musterten kritische Blicke unser Werk. Ein Modul wurde noch mal abge-

schraubt, um drunter zu schauen. Messgeräte prüfen alle von uns verlegten Kabel. Doch dann kam die Bestätigung: Wir haben alles richtig aufgebaut. Die Messwerte sind gut, die Anlage konnte ans Netz gehen.

Nach einer Woche intensiver Handarbeit mit drei Personen und mehr als einem Tag in der Verwaltungshölle können wir ziemlich gut einschätzen, wie aufwendig Aufdach-Solaranlagen sind: Raketen-technik ist es nicht. Die technische Komplexität ist eher auf dem Niveau einer Waschmaschinenreparatur, nur eben auf einem Gerüst. Trotz unserer Sicherungsgurte würden wir uns auf dem Dach eines mehrstöckigen Hauses mulmig fühlen. Für die meisten Solaranlagen ist es sinnvoll, das Komplettangebot eines Solarteurs anzunehmen und auch ein paar Monate dafür zu warten. Wer sparen will oder ganz schnell eine Anlage braucht, kann aber versuchen, mit einem Solarteur etwas auszuhandeln. Und für kleine Anlagen auf Gartenhäusern, Vordächern oder Garagen kann sich der Selbstbau absolut lohnen. Bis 600 Watt geht das auch ohne den Papierkrieg, der für uns das größte Ärgernis war. (pmk) 

## Literatur

[1] Pina Merkert,  
**Browser Aided Design**,  
Einstieg in Onshape:  
3D-Designs im Browser,  
c't 24/2020, S. 150

## CAD-Plan

[ct.de/wjae](http://ct.de/wjae)

Es gibt **10** Arten von Menschen. iX-Leser und die anderen.



Jetzt Mini-Abo testen:

3 Hefte + Bluetooth-Tastatur nur 19,35 €

[www.iX.de/testen](http://www.iX.de/testen)



[www.iX.de/testen](http://www.iX.de/testen)



49 (0)541 800 09 120



[leserservice@heise.de](mailto:leserservice@heise.de)





Bild: Creatony/Autark

# Solardachziegel: Kosten und Nutzen

**Solarziegel integrieren sich nahtlos ins Dach. Eine Aufdachkonstruktion ist nicht nötig. Noch ist die Technik exotisch. Doch sie ist weiter als man denkt.**

Von **Sophia Zimmermann**

**S**olarstrom ist vor allem für die privaten Haushalte der wichtigste Energieträger. Relativ einfach können sie sich damit ein Stück weit unabhängig von den steigenden Stromkosten machen. Denkt man an private Solaranlagen, dann sieht man die klassischen Aufdachanlagen vor sich, die auffällig auf den Dächern thronen und die Optik des Hauses maßgeblich bestimmen.

Mittlerweile kann eine Solaranlage aber auch anders aussehen – unauffällig und in die Gebäude-

hülle integriert. Möglich machen das Solardachziegel, die von klassischen Schindeln kaum zu unterscheiden sind. Attraktiv ist das nicht nur in ästhetischer Hinsicht. Die Solarziegel übernehmen als Bestandteil der Gebäudehülle die Funktion der Dachhaut und erzeugen gleichzeitig Strom. Im Gegensatz zu den aufgeständerten Anlagen spart man also eine Schicht.

Mit den Photovoltaik-Ziegeln kann man vorhandene Dachflächen auch besser ausnutzen. Die klas-

sischen Massenmodule haben heute eine Größe zwischen etwa 1,6 und 2 Quadratmetern. Diese können nur in einem gewissen Raster verlegt werden. „Mit den Schindeln ist man flexibler. Allerdings gelten grundsätzlich die gleichen Regeln wie für die klassischen Module – beispielsweise wenn es um verschattete Bereiche durch Schornstein, Antennen oder Nachbarbauten geht“, sagt Dr. Frank Ensslen vom Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE), Gruppe Solare Gebäudehülle.

Interessant ist das für kleinteiligere Dachflächen beispielsweise mit Fenstern und Gauben. Aber auch für denkmalgeschützte Gebäude sind die Ziegel denkbar, denn sie beeinträchtigen den optischen Charakter praktisch nicht. Solarziegel können also noch mehr baulich bereits vorhandene Strukturen für die Energiegewinnung erschließen.

Für Ensslen ist das deshalb so wichtig, weil die Photovoltaik – neben Windkraft und grünem Wasserstoff – ein zentraler Baustein der Energiewende ist. Das Fraunhofer ISE hat bereits mehrere Studien dazu herausgegeben, was passieren muss, damit unser Energiesystem bis 2045 tatsächlich klimaneutral arbeitet. „Wenn wir eine erfolgreiche Energiewende erreichen wollen, dann brauchen wir 400 bis 500 Gigawattpeak an installierter Leistung bei Photovoltaik. Und das ist noch längst nicht alles vorhanden. Heute stehen wir bei etwa 60 Gigawattpeak“, so Ensslen.

Das Fraunhofer ISE arbeitet im Projekt Baldachin selbst an dachintegrierter Photovoltaik in Form von Dachziegeln, um deren Potenzial auszuloten. Dabei geht es nicht nur darum, konkrete Konzepte für Dachelemente vorzulegen, sondern auch um eine Zuverlässigkeitssprüfung der Komponenten. Darüber hinaus will das ISE nach einer umfassenden technooökonomischen Bewertung ausreichend Solardachelemente von einem Typ fertigen, um eine Demonstrationsanlage aufzubauen. Noch bis 2024 soll Baldachin laufen.

In der freien Wirtschaft ist man bereits weiter. Hier finden sich schon jetzt kommerzielle Anbieter und darunter sind durchaus bekannte Namen.

## Bereits etliche Anbieter am Markt

Viele dürften bei Solardachziegeln wohl zuerst an Tesla denken. Bereits 2016 hat der US-amerikanische E-Auto-Hersteller mit Tesla Solar Roof eigene Schindeln vorgestellt, seit 2020 fertigt er sie laut Brancheninformationen in größeren Mengen. In Deutschland ist Solar Roof bisher nicht verfügbar. Auf der

schicken deutschen Website kann man sich momentan nur für Updates eintragen lassen. Es ist nicht absehbar, wann es hierzulande soweit ist. In den USA macht Tesla mit seinen Ziegeln momentan vor allem deshalb Schlagzeilen, weil das Unternehmen für die jüngste Generation des Produkts immense Preise aufruft und wohl etliche Aufträge storniert hat.

Doch auch hierzulande mischen bekannte Unternehmen mit, denn unter anderem die klassischen Dachziegelhersteller haben das Konzept für sich entdeckt. Dazu gehören Nelskamp, Braas aber auch Creaton und Jacobi-Walther. Letztere zwei Unternehmen haben sich mit dem Brandenburger Solarspezialisten Autarq zusammengetan, der seit 2012 Photovoltaik-Systeme entwickelt. Dazu findet man auf dem Markt weitere Spezialisten wie das Unternehmen SolteQ. Auch der Schweizer Modulhersteller Meyer Burger will im zweiten Halbjahr 2023 Photovoltaik-Ziegel auf den Markt bringen. Einge-



**Auch kleinteilige Dachflächen können mit den Solarziegeln für die Stromgewinnung erschlossen werden.**

kauft hat er die Technik bei dem deutschen Unternehmen Paxos Solar.

## Miniaturmödile

Die momentan verfügbaren Solarziegel sind sich prinzipiell ähnlich. Sie nutzen klassische, meist flache Ziegel als Träger. Darauf sitzt das eigentliche Solarmodul. Während die Varianten von Nelskamp oder Braas eine breitere Bauform aufweisen und die Deckbreite mehrerer Ziegeln entspricht, haben die Versionen von Autarq (Creaton, Jacobi-Walther) und Meyer Burger die kompaktere Schindelform. Solarziegel sind nicht nur in schwarz, sondern auch bereits in rot erhältlich.

Bei den Modulen handelt es sich in der Regel um klassische Dickschichtmodule aus monokristallinem Silizium gefertigt. Das ist aktuell der Standard am Markt. Laut Internationaler Energie Agentur (IEA) machen sie über 90 Prozent der weltweiten Photovoltaik-Produktion aus. Der Rest entfällt auf Dünnschicht-Solarmodule etwa auf Basis amorphen Siliziums. Diese haben zwar im Vergleich mit den Dickschichtmodulen einen geringeren Wirkungsgrad,

sind aber leichter und bringen eine bessere Leistung bei ungünstigen Lichtverhältnissen. Bei den Meyer-Burger-Modellen wird es sich laut Datenblatt um Heterojunction-Solarzellen handeln. Dabei ist der monokristalline Silizium-Wafer von einer dünnen amorphen Siliziumschicht „umhüllt“, um ein breites Lichtspektrum nutzen zu können.

Von einer breiten Massenfertigung ist der Markt noch entfernt. Doch das ist natürlich das Ziel. Autarq fertigt seine Module nach eigenen Angaben beispielsweise selbst, nutzt aber die gleichen Solarzellen, das gleiche Solarglas und Verkapselungsmaterial wie traditionelle Modulhersteller. In einem teilautomatisierten Prozess werden die Miniaturmödile dann auf die Ziegel aufgebracht. Autarq arbeitet auch mit dem norwegischen Ziegelhersteller Skarpnes zusammen und betreibt hier bereits eine erste vollautomatisierte Fertigungslinie.

Auch Meyer Burger plant für seine Modelle mit einer Massenfertigung, heißt es auf der Unternehmensseite. Den Auftrag dazu wolle man an ein dafür spezialisiertes Unternehmen in Europa vergeben. Die Solarzellen und die Verbindungstechnologie sollen aus Meyer Burgers eigener Produktion kommen.



Bild: Autarq/Creaton

**Solardachziegel sind optisch kaum von klassischen Dachziegeln zu unterscheiden. Das kleinere Format macht sie flexibler bei der Verlegung.**

**Um einen Quadratmeter Dach einzudecken, benötigt man im Falle von Autarq 12 Solardachziegel.**

Bild: Autarq



## Nutzen und Kosten

Grundsätzlich stellen die Solarziegel die gleichen Anforderungen an die Dachfläche wie eine klassische Solaranlage. Was die Ziegel theoretisch leisten können, unterscheidet sich von Anbieter zu Anbieter etwas und hängt maßgeblich von den realen Gegebenheiten ab. Für die Rechnungen in diesem Artikel gehen wir von idealen Zuständen für die Anlage aus.

Autarq gibt pro Ziegel beispielsweise eine Leistung von maximal 10 Watt an. Auf einen Quadratmeter passen laut Hersteller 12 Ziegel, somit kommt man auf eine Leistung von 120 Watt pro Quadratmeter. Nelskamp gibt für sein etwas größeres System bis zu 180 Watt pro Quadratmeter Dachfläche an, Meyer Burger peilt mit seinen Ziegeln zwischen 150 und 165 Watt an.

Um auf eine Leistung von einem Kilowattpeak zu kommen, also unter idealen Bedingungen 1000 Watt, müsste man etwa 8,5 Quadratmeter Dachfläche mit den Autarq-Ziegeln füllen. Würde man sich für das größere Nelskamp-Format entscheiden, wären es nur 5,5 Quadratmeter.

Der Vergleich mit klassischen Modulen ist nicht ganz einfach, denn auch hier gibt es verschiedene Leistungsklassen und Modulgrößen. Typisch sind derzeit Werte um die 400 Watt und Maße zwischen 1,6 und 2 Quadratmetern. Für unsere Rechnung gehen wir von 1,6 Quadratmetern als Modulgröße aus. Mit einer Leistung von 400 Watt käme man hier also bei gut 230 Watt pro Quadratmeter raus. Um ein Kilowattpeak Leistung zu erreichen, müsste man daher am Ende drei Module verbauen, was etwa 5 Quadratmetern entspricht.

## Preis nicht konkurrenzfähig

Was bedeutet das nun für die Kosten? Bei Autarq liegt der Quadratmeterpreis für die Solarschindel bei 380 Euro. Wenn man also 8,5 Quadratmeter für ein Kilowattpeak decken müsste, käme man auf einen Preis von etwa 3230 Euro pro Kilowattpeak und damit auf etwa 32.300 Euro für eine 10-KW-Anlage. Einen ähnlichen Quadratmeterpreis nennt beispielsweise auch SolteQ.

Im Vergleich zu herkömmlichen Photovoltaik-Modulen ist das natürlich teurer. Los geht es hier

bei etwa 1300 Euro pro Kilowattpeak. Diesen Wert ermittelte zumindest das Marktforschungsinstitut EuPD Research als Mittel für das Jahr 2020. Mittlerweile dürften Bauherren oft tiefer in die Tasche greifen müssen. Energieversorger Eon geht bei seinen Beispielrechnungen etwa von einem höheren Niveau aus. Bei einer klassischen 10-Kilowattpeak-Anlage muss man demnach mit etwa 2200 Euro pro Kilowattpeak planen. Für eine schlüsselfertige 10-KWp-Anlage ohne Speicher ergibt sich damit eine enorme Spanne von 13.000 bis 22.000 Euro. Grundsätzlich ist es aktuell gar nicht so einfach, Preise für Photovoltaik-Module konkret einzuschätzen: „Der Markt ist völlig überhitzt. Interesse und Bedarf sind riesig und die Modulhersteller kommen teilweise kaum hinterher“, sagt Frank Ensslen.

Ausgehend von dieser Rechnung wird klar: Ein intaktes Bestandsdach mit den Solarziegeln auszustatten, ist wirtschaftlich nicht sinnvoll. Steht man aber davor, ein Dach ohnehin neu einzudecken zu lassen, kann es interessant sein, sich die Solarschindelvariante einmal durchrechnen zu lassen.

Das wird deutlich, wenn man einmal hypothetisch den Quadratmeterpreis vergleicht. Für die Solarziegel liegt er wie beschrieben bei etwa 380 Euro. Geht man bei der herkömmlichen Anlage von einem Preis von 1300 Euro pro Kilowattpeak aus, käme man auf einen Quadratmeterpreis von 260 Euro. Hier müsste man dann noch einmal etwa 100 Euro pro Quadratmeter für die Dachneueindeckung aufschlagen. Und dann ist der Preisunterschied gar nicht mehr groß.

Aber: Natürlich ist diese Rechnung äußerst kritisch und lediglich als Gedankenspiel zu betrachten. Denn tatsächlich sind Solarziegel und die klassische Anlage nur schwer zu vergleichen: Die Leistung pro Quadratmeter ist bei den Schindeln geringer, um die gleiche Leistung zu erreichen, müsste man mehr Fläche eindecken. Diese kann man mit ihnen möglicherweise aber besser ausnutzen. Bei der klassischen Anlage bekommt man aus weniger Fläche momentan mehr heraus. Allerdings wird sie immer nur einen bestimmten Teil einer Dachfläche einnehmen können, weil etwa Fenster und Gauben im Weg sind.

Das höhere Preisniveau der Solarziegel ist kaum verwunderlich: Von einem Massenmarkt, wie es ihn für klassische Solarmodule längst gibt, sind die Ziegel weit entfernt. Spannend ist die Perspektive. Auch die klassischen Solaranlagen starteten mit exorbitanten Preisen in den Markt wie das Fraunhofer ISE in seinem Photovoltaik-Report vom Dezember 2022 vorrechnet. Demnach kostete eine Dachanlage 1990 noch etwa 14.000 Euro pro Kilowattpeak. 30 Jahre später – Ende 2020 – bekam man das Kilowattpeak um etwa 92 Prozent günstiger.

Ob und wie schnell die Preise für die Solardachziegel fallen, hängt maßgeblich davon ab, ob die Massenfertigung an Fahrt aufnimmt – und das ist natürlich abhängig von der Nachfrage. Ein klassisches Henne-Ei-Problem. Autarq sagt, dass man die Effizienzgewinne aus der zunehmenden Massenproduktion an seine Geschäftskunden weitergeben wolle. „Die Kosten der eingesetzten Materialien wie Zellen, Solarglas und Einkapselungsfolien bleiben volatile. Doch auch hier rechnen wir mittelfristig mit fallenden Preisen, insofern es keine Importbeschränkungen geben sollte.“

## Verfügbarkeit und Haltbarkeit

Wer sich trotz der aktuell hohen Kosten für Solardachziegel interessiert, kann sich direkt an die Hersteller wenden. Alle bieten auf ihren Webseiten entsprechende Formulare an und planen dann das konkrete Projekt in Abstimmung mit dem beauftragten Handwerksbetrieb. Die Verfügbarkeit ist zumindest laut Autarq gut. Aktuell dauere es ab Auftragserteilung sechs bis acht Wochen für die reine Solardachziegel-Lieferung. Schwieriger dürfte es werden, in dieser Zeit den passenden Dachdeckerbetrieb zu finden.

Wie die Ziegel konkret verlegt werden, unterscheidet sich von Hersteller zu Hersteller und hängt



Bild: hesse online / anw

**Die Preise für klassische Solarmodule sind in den vergangenen Jahrzehnten stark gefallen. Aus Kosten-Nutzen-Sicht können es die Solarziegel nicht mit ihnen aufnehmen.**



**Wie klassische Ziegel können die Solarschindeln mit Schrauben und Klemmern sturmfest gemacht werden.**

auch davon ab, wie die Ziegel später verschaltet werden. Die momentan verfügbaren Systeme nutzen eine String- beziehungsweise Reihenverschaltung wie im Fall von Nelskamp oder aber die Parallelschaltung wie im Falle von Autarq.

Beide Varianten haben Vor- und Nachteile: Eine Reihenschaltung ist vergleichsweise einfach in der Verkabelung, da nur ein Kabel zum Wechselrichter führt. Allerdings sind hier alle Module direkt miteinander gekoppelt, sodass das Modul mit der niedrigsten Leistung – etwa, weil es gerade verschattet wird – den Ton angibt und somit die Leistung der Anlage insgesamt drücken kann. Bei einer Parallelschaltung gibt es mehrere Stromkreise, das ist aufwendiger in der Montage – allerdings ist es dann auch nicht so dramatisch, wenn einmal ein Modul verschattet ist. Man spricht von einer höheren Verschattungsresilienz.

Grundsätzlich muss das Kabel (Reihe) beziehungsweise der Kabelbaum (Parallel) vor der Montage der Ziegel verlegt werden – das machen teils die Fachkräfte der Hersteller. Danach können die Solarziegel durch den Dachdecker angebracht und entsprechend gesteckt werden. Autarq überlässt die Verlegung des Kabelbaums unter bestimmte Voraussetzungen sogar dem Dachdecker selbst, wenn dieser durch die eigenen Fachleute entsprechend geschult wurde. Die Verarbeitung und Wartung der Anlage sei wegen der Kleinspannung völlig ungefährlich. Auch Hausbesitzer könnten damit jederzeit einzelne Ziegel selbst austauschen.

## Haltbarkeit

Das Dach ist wohl der kritischste Teil des Gebäudes. Es schirmt Sonne, Regen, Schnee, Wind und Witte-

## Genial verbunden –

## Der wertvolle Boost für Ihr Netzwerk!

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

 [shop.heise.de/ct-admin22](http://shop.heise.de/ct-admin22)



ct ADMIN  
Verstehen • Vernetzen • Administrieren  
PLUS  
Videokurs im Netz mit 95 % Ersparnis

Active Directory beherrschen  
Nutzerkonten, Gruppen und Berechtigungen  
Windows-PCs mit Gruppenrichtlinien  
Domain Controller ausfallsicher betreiben

FritzOS 7.50 ist da  
Was das große Gratis-Update bringt  
Die beste Fritz-VPN optimal  
Netzwerk optimieren

+ GRATIS Online-Kurs im Wert von 99,- €

rungen jeder Art ab – und das zuverlässig und möglichst langfristig. Ein klassisches Dach kann je nach Eindeckung viele Jahrzehnte halten. Creaton schreibt bei seinen Tonziegeln beispielsweise von einer Nutzungsdauer zwischen 40 bis 60 Jahren.

Die Solarziegel-Anbieter unterscheiden sich teils deutlich voneinander, welche Garantien sie für ihre Produkte geben. So gewährt beispielsweise Nelskamp für seine Ziegel eine Produktgarantie von 10 Jahren. Bei der Leistungsgarantie differenziert der Hersteller: Nach 10 Jahren sollen die Schindeln noch 90 Prozent ihrer Nennleistung bringen, nach 25 Jahren noch 80 Prozent. In diesem Rahmen bewegt sich auch die Leistungsgarantie von Autarq beziehungsweise von Creaton und Jacobi-Walter. Dazu gibt es allerdings nur eine Gewährleistung von 5 Jahren.

Die Solarspezialisten unter den Anbietern gehen bei den Garantien weiter. In den vorläufigen Spezifikationen zu seinen Schindeln führt Meyer Burger eine Produktgarantie von 30 Jahren auf. Zudem soll sie auch nach 30 Jahren noch eine Nennleistung von mehr als 90 Prozent erreichen. SolteQ garantiert sogar für 40 Jahre lang mindestens 80 Prozent der installierten Leistung.

Bei der Anfälligkeit gegen verschiedene Witterungsbedingungen sollen die Solardachziegel auf Augenhöhe zu klassischen Schindeln liegen. Wie diese können sie mit Schrauben oder Klammern sturmfest gemacht werden. Autarq und Meyer Burger geben für ihre Produkte die bei Dachziegeln üblichen Hagelwiderstandsklassen an, wobei Autarq für die Creaton- und Jacobi-Walter-Ziegel die HW 5 ausweist – das ist die höchste Klasse. Meyer Burger gibt sie vorläufig mit 4 an. SolteQ liegt bei 3. Nelskamp gibt für seine Produkte die IEC-Zertifizierung IEC 61215 an, wie sie für klassische Solarmodule üblich ist. Entsprechen würde dies der Hagelwiderstandsklasse 2.

Langzeiterfahrungen, wie lange Solarziegel tatsächlich durchhalten können, gibt es noch nicht. Frank Ensslen schätzt die Lebensdauer dennoch hoch ein, wenn bestimmte Voraussetzungen erfüllt sind: „Mit Glas-Glas-Modulen lässt sich eine Langlebigkeit von 30 bis 40 Jahren erreichen, wenn Mouldkanten und Dachfugen zwischen den Modulen entsprechend akkurat ausgeführt beziehungsweise versiegelt sind, sodass keine Feuchtigkeit eindringen kann.“ Aber ein Dach ist natürlich Bestandteil eines Bauwerks, das fortwährend arbeite, hier könne es beispielsweise zu Setzungen kommen und damit zu Fehlstellen. Entscheidend ist laut Ensslen daher wie sorgfältig die PV-Anlage konstruktiv geplant und



Bild: Autarq/Creaton

**Die feine Gitterstruktur zeigt sich bei den Solardachziegeln erst beim Blick aus der Nähe. Es gibt auch rote Ziegel, denen man noch weniger ansieht, dass es sich um Mini-Solarmodule handelt.**

montiert wird – das habe größten Einfluss auf die Dauerhaftigkeit von solarisierten Dachschindeln.

## Fazit

Hohe Kosten, wenig Anbieter: Momentan ist der Markt für Solardachziegel noch eine kleine Nische. Ein Unsicherheitsfaktor ist die Lebensdauer, denn dazu gibt es natürlich noch keine Langzeiterfahrungen. Doch gerade von einem Dach erwartet man, dass es Jahrzehntelang verlässlich arbeitet. Abgesehen davon ist das Konzept, dass ein Dach nicht nur schützt, sondern selbst auch noch Strom produziert, vielversprechend.

Theoretisch könnten damit Flächen für die Stromproduktion genutzt werden, die bisher dafür nicht in Frage kamen – etwa auf denkmalgeschützten Bauten oder Häusern mit kleinteiligeren Dachflächen. Das Fraunhofer ISE schätzt das Potenzial für dachintegrierte Photovoltaik als sehr hoch ein und beziffert es mit etwa 1000 Gigawatt. Das wäre sogar mehr als für eine erfolgreiche Energiewende nötig. (ssi) **ct**

Weitere Infos zum  
PV-Markt  
[ct.de/w3c9](http://ct.de/w3c9)



WEBINAR AM 27.06.2023

# Photovoltaik für Einsteiger

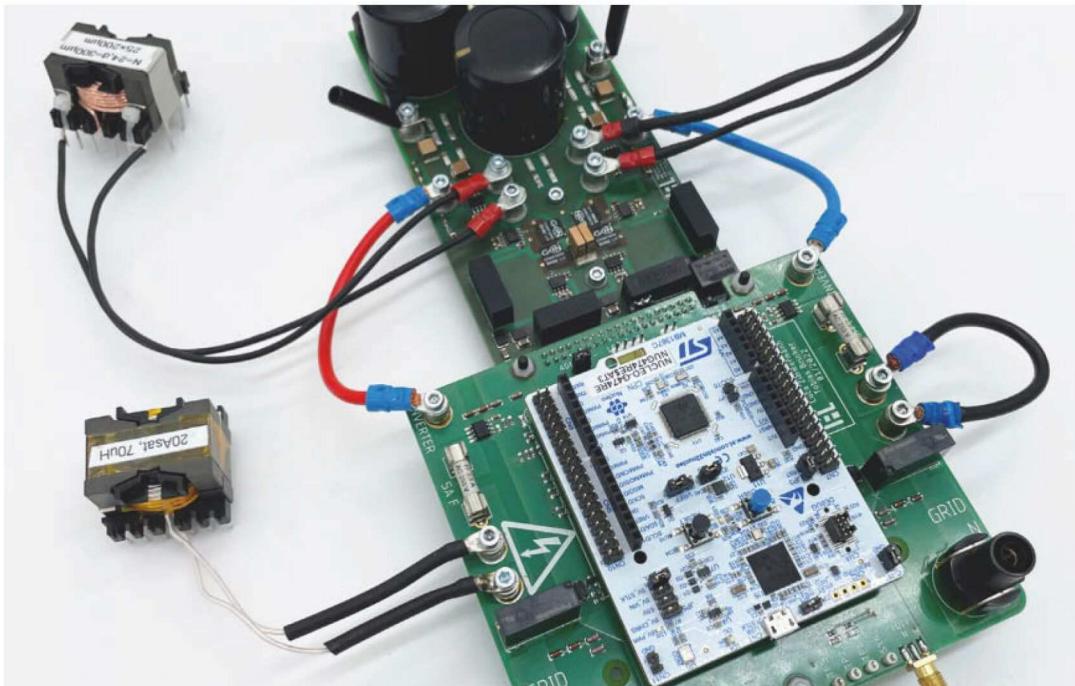
Grundlagen verstehen, Angebote  
beurteilen, selber bauen

Erweitern Sie Ihr Wissen über Photovoltaik! In unserem Webinar lernen Sie die **Grundlagen** zu Photovoltaik-Modulen, Wechselrichtern, Speicher und Auslegung von **Photovoltaik-Anlagen**. Entdecken Sie die verschiedenen Einsatzszenarien und erfahren Sie, wie Sie die **Wirtschaftlichkeit** Ihrer PV-Anlage berechnen können.

Wir erklären Ihnen auch die sich ständig ändernden **rechtlichen Rahmenbedingungen** für kleine und große privat betriebene PV-Anlagen. Nach dem Webinar können Sie Angebote für PV-Anlagen auf ihre **Tauglichkeit** für Ihre persönliche Situation überprüfen. Informieren Sie sich jetzt und machen Sie den ersten Schritt in Richtung saubere Energie!

**Jetzt Frühbucher-Rabatt sichern:**  
[webinare.heise.de/photovoltaik](http://webinare.heise.de/photovoltaik)





# Einfach erklärt: Solarwechselrichter

Ohne Wechselrichter geht nichts an netzgebundenen Photovoltaikanlagen – ob nun am 600-Watt-Balkonkraftwerk oder auf riesigen Dachanlagen mit Dutzenden Kilowatt. Welche elektronische Magie drinsteckt, erklären wir in diesem Artikel.

Von **Luca Zimmermann**

**O**b 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 Solarteur 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 Exkurs, 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 Wohnmobilien 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 Netzanschluss. Er kann die Wechselspannung nicht nur selber erzeugen, sondern auch die Netzversorgung einfach durchreichen. Wobei die Netzversorgung auch ein herkömmlicher Generator mit Verbrennungsmotor sein kann – etwa als Notfallreserve, wenn die Photovoltaikanlage defekt ist oder im Winter den Leistungsbedarf nicht stillen kann. Die Ausstattung variiert von Modell zu Modell: Viele haben Solar-MPPT-Laderegler integriert und manche können überschüssigen Solarstrom auf der Netzseite einspeisen, um ihn nicht zu vergeuden.

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-Neuinstallationen 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 Wechselrichterbauf orm, 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.

Wie man Wechselrichter praktisch einsetzt, erfahren Sie in den nachfolgenden Artikeln zum eigenen Balkonkraftwerk. Einige Grundlagen in Elektrotechnik, die beim Verständnis helfen, finden Sie im Artikel „Grundwissen: Elektrischer Strom“ ab Seite 80.

## Leitstelle

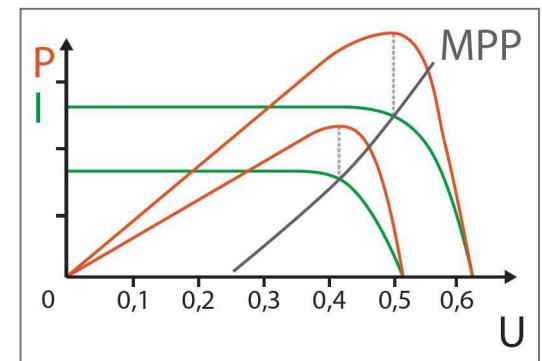
Moderne netzsynchrone Wechselrichter besitzen immer eine digitale Steuereinheit. Meistens kommt dafür ein handelsüblicher Mikrocontroller zum Einsatz. Dieses Beispiel nutzt einen STM32-Mikrocontroller der Firma STMicroelectronics.

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 auszunutzen, kann man nicht einfach irgendeine Last anlegen.



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.

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 zusammengeschaltet 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 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

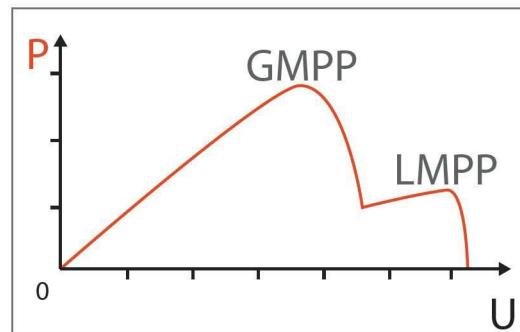
Netzsynchronen Wechselrichter sind heute in zwei Bauformen verbreitet: Mikro- beziehungsweise Modulwechselrichter, die pro Solarmodul einen Eingang und oft sogar individuelle MPP-Tracker haben, und String-Wechselrichter, für die alle Solarmodule in Reihe geschaltet werden.

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 Leistungsmaximum (GMPP) auch ein

lokales (LMPP), an dem der MPP-Tracker hängenbleiben 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. Aus diesem Grund setzen wir bei unserem Eigenbauprojekt im Artikel „PV auf dem Dach mit Eigenleistung“ ab Seite 16 zwei Mikrowechselrichter statt einen String-Wechselrichter ein.

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



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

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.

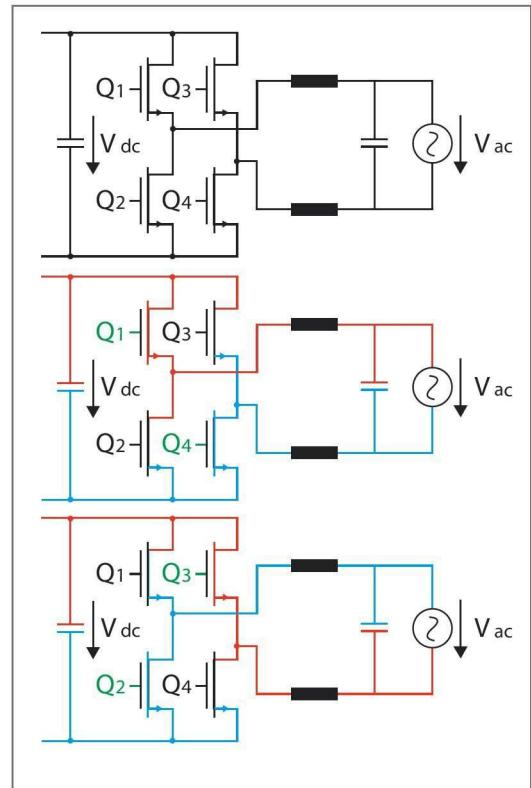
## Gleich- werd' Wechselspannung

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.

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 Kilohertz). 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 Kilohertz) nur während der Hälfte der Zeit ein, entspricht die



**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.**

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

ten entlädt der Kondensator ebenso langsam, was die Spannung so glättet, dass von der hohen PWM-Frequenz nichts mehr zu sehen ist. Ein weiterer Kondensator 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 Spannungsteilenschaltung – 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.

## Schutzausschaltung

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 die Spannung in einem Bereich außerhalb der zulässigen Bereiche 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 (Mittelpunktsstrom). Fällt die Spannung im Netz ab und der Wechselrichter würde weiterhin versuchen, 230 Volt zu generieren, sind deutlich größere Ströme notwendig, um den gesamten Netzabschnitt 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.

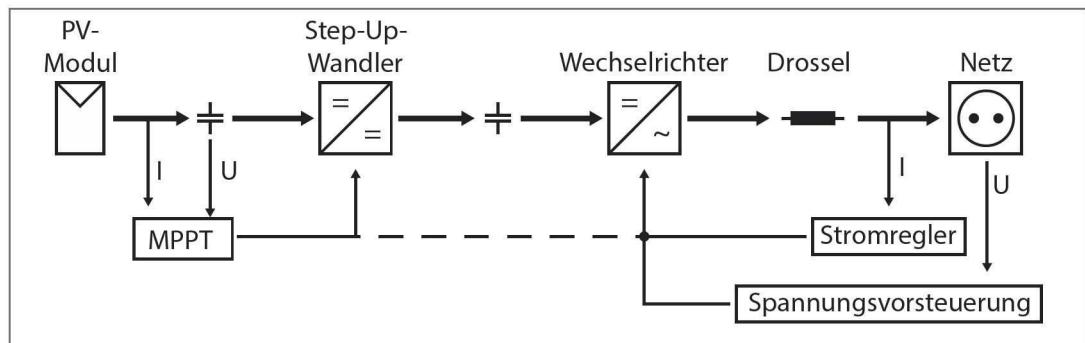
Eine Ausnahme bildet dabei der Fault-Ride-Through: Tritt im Netz ein kurzzeitiger Abfall der Spannung auf, etwa durch einen Kurzschluss an anderer Stelle, so würde das sofortige Abschalten aller Erzeugungsanlagen zu einem Blackout führen. Daher gibt es Vorgaben nach DIN EN 50160, wie lange ein bestimmter 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, wie in unserem Blockschaltbild dargestellt: Sobald die

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.



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.

Schutzeinrichtungen verhindern, dass der Wechselrichter bei abnormalen Netzsituationen weiter

produziert beziehungsweise das Überangebot vergrößert.

## Raffinierte Technik

Moderne Schaltungs- und Regelungstechnik mit digitalen Steuerungen treiben 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/wc53](http://ct.de/wc53) die Masterarbeit des Autors abrufen, für die er einen Netzwechselrichter mitentwickelt und programmiert hat. (amo) **ct**

Masterarbeit zu  
Netzwechselrichtern  
[ct.de/wc53](http://ct.de/wc53)



TECHNIKUNTERRICHT MACHT ENDLICH SPAB!

**Make:Education**

Mit **Make Education** erhalten Sie jeden Monat kostenlose Bauberichte und Schritt-für-Schritt-Anleitungen für einen praxisorientierten Unterricht:



Für alle weiterführenden Schulen



Fächerübergreifend



Digital zum Downloaden



Monatlicher Newsletter

Jetzt kostenlos downloaden: [make-magazin.de/education](http://make-magazin.de/education)

# Der Weg zum eigenen Balkonkraftwerk

Kleine Photovoltaikanlagen können die Stromkosten kräftig drücken und die passende Hardware gibts steckerfertig. Doch vor dem Aufbau gilt es, einige Hürden zu überspringen – oder zu ignorieren. Wir liefern Ihnen das Grundwissen zu Technik und Recht.

Von **Jan Mahn und Andrijan Möcker**

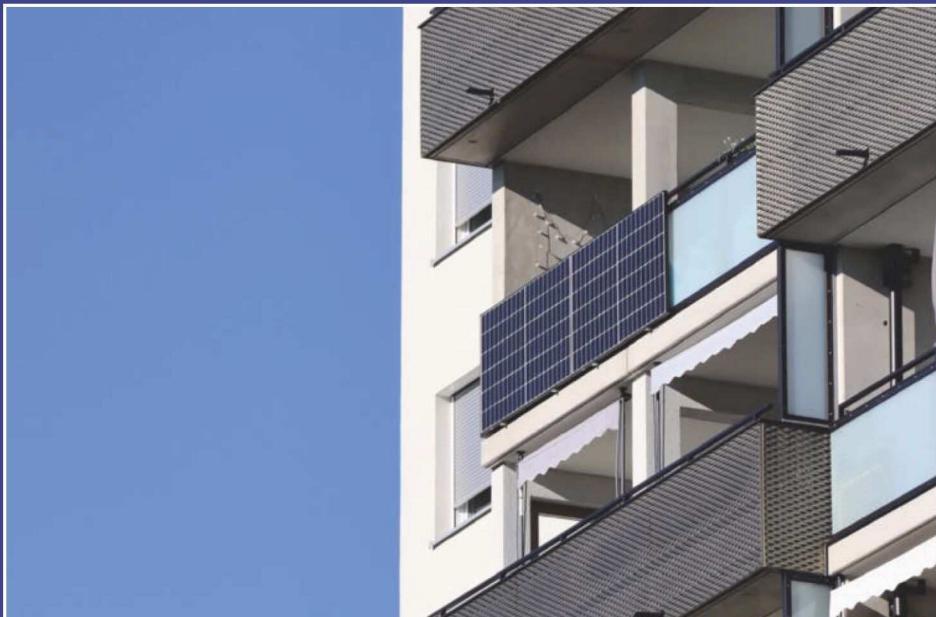


Bild: Sebastian Müller

<b>Mit Balkonkraftwerken Stromkosten senken</b>	<b>38</b>
<b>Mikrowechselrichter kaufen und einsetzen</b>	<b>48</b>
<b>FAQ Balkonkraftwerke</b>	<b>56</b>
<b>Kommentar: Das muss sich ändern</b>	<b>62</b>

**K**ühlschrank, Router, Smart-Home-Steuerung, NAS, Raspis und Heimserver: Im Haushalt gibt es so einiges, das rund um die Uhr nach Strom lechzt. Wer dazu noch viel im Heimbüro arbeitet oder regelmäßig sein Elektrofahrrad lädt, dreht über das Jahr fleißig am Zähler. 2.828 Kilowattstunden (kWh) hat ein deutscher Haushalt laut Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) im Jahr 2021 durchschnittlich aus dem Netz bezogen.

Einen nicht zu unterschätzenden Anteil dessen machen Verbraucher aus, die rund um die Uhr vor sich hinwerkeln. Selbst in einer einfach ausgestatteten Wohnung kommen schnell 100 Watt zusammen, die sie zu jeder Tages- und Nachtzeit aus dem Netz bezieht. Im Jahr sammeln sich dann 875 Kilowattstunden an. Energie, für die man nach der letzten Preiserhöhungsrunde der Versorger bei 45 Cent pro Kilowattstunde knapp 400 Euro bezahlen muss.

## Energie aus der Sonne

Dass Strompreise in nächster Zeit sinken, ist angesichts der weltpolitischen Lage eher unrealistisch. Die gute Nachricht: An Energie fehlt es auf dem Planeten Erde wahrlich nicht. Von der Sonne kommen im Idealfall etwas über 1000 Watt auf jedem beschienenen Quadratmeter an. Die Photovoltaik – umgangssprachlich auch „Solarstrom“ genannt – erlaubt seit Jahrzehnten, diese Strahlung in elektrische

Energie umzuwandeln; massentaugliche Technik ist mittlerweile bei 23 Prozent Wirkungsgrad angekommen. Das klingt nicht herausragend, ist aber zu verschmerzen, weil der Energieträger Sonnenschein kostenlos und die Technik langlebig ist.

Jahrzehntelang war Photovoltaik nur etwas für Immobilienbesitzer – vorwiegend für solche mit großen, unbeschatteten Dächern, am besten Hallen oder Scheunen. Mieter sowie Besitzer von Eigentumswohnungen oder Häusern mit kleinen oder verwinkelten Dächern sowie Balkonen konnten dagegen nur neidisch zuschauen, wie andere von der solaren Energie profitierten. Eine kleine Anlage vom Fachbetrieb anschließen und anmelden zu lassen sowie ein Gewerbe für den Verkauf des Stroms anzumelden, lohnte nicht.

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 600 Watt. Die Besonderheit: Anders als bei großen Anlagen braucht

**Zwei Module am Balkon eines Mehrfamilienhauses: Laut Marktstammdatenregister gibt es bereits rund 130.000 kleine Photovoltaikanlagen in Deutschland.**



man keinen Elektrofachbetrieb, um sie anzuschließen – das ist seit 2019 so erlaubt. Typischerweise besteht eine Mini-PV-Anlage aus einem oder zwei Photovoltaikmodulen und einem Mikrowechselrichter. Ihr natürliches Habitat ist nicht primär das Dach: Die beiden Module können auch am Balkon hängen, im Garten stehen, an der Fassade installiert werden oder das Dach der Gartenhütte bedecken – Installationen auf dem Hausdach sind trotzdem 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.

Verwendet wird die Energie vorwiegend in den eigenen vier Wänden, aus dem Netz muss man nur noch kaufen, was man nicht selbst produziert. Ein Beispiel am Nachmittag: Kühlschrank und Smart Home verursachen einen Grundverbrauch von 150 Watt. Gleichzeitig scheint die Sonne, der Wechselrichter produziert 200 Watt. In diesem Fall bewegt sich der Zähler nicht, Sie müssen keinen Cent bezahlen. Die überschüssigen 50 Watt landen im Netz – die schenken Sie zwar dem Netzbetreiber, aber das ist angesichts der sonst nötigen Bürokratie verkraftbar. Ein anderes Beispiel zu einer anderen Tageszeit: Sie sitzen abends am Spiele-PC, haben die Festbeleuchtung eingeschaltet und brauchen 500 Watt. Vom Balkonkraftwerk kommen in der Abendsonne noch 75 Watt. Am Zähler fließt dann nur die Differenz von 425 Watt vorbei, die Sie aus dem Netz beziehen.

Die Beispiele machen deutlich: Ein Balkonkraftwerk lohnt sich vor allem dann, wenn man den Eigenverbrauch in den Phasen der größten Eigenproduktion maximiert. Wer um 12 Uhr in der Mittagsonne Waschmaschine oder Spülmaschine abfährt, muss nicht zusehen, wie selbst produzierte Energie ohne Bezahlung im Netz versickert.

Eine präzise Aussage, wann sich die Investition in ein Balkonkraftwerk rentiert, ist angesichts der vielen Variablen (Wetter, Verbrauch, Strompreisänderungen etc.) nicht möglich. Einstellen kann man sich bei einer 600-Watt-Anlage grob auf Kosten um 600 Euro und eine Amortisationszeit von sechs bis neun Jahren. 90 bis 100 Euro Stromkosten kann man im Jahr unter guten Bedingungen vermeiden.

PV-Anlagen sind aber für deutlich längere Zeiträume konstruiert als Heimelektronik: Die Module

halten problemlos 30 Jahre, Wechselrichter gerne mal 15. In ihrer Lebenszeit spielen die Geräte also sicher die Ausgaben wieder ein und sparen nebenbei auch mehr CO<sub>2</sub> als für die Herstellung freigesetzt wurde. Wer die Wirtschaftlichkeit genau ausrechnen will, sollte den sehr umfangreichen Stecker-Solar-Simulator der Berliner Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) ausprobieren (siehe [ct.de/w43y](http://ct.de/w43y)).

## PV für alle

Dass die Klein-PV-Anlagen zur Massenware geworden sind, kann man an gleich mehreren Indizien festmachen. Zunächst ist da das Marktstammdatenregister der Bundesnetzagentur. Unter [www.marktstammdatenregister.de](http://www.marktstammdatenregister.de) (ohne vorangestelltes www. funktioniert es zurzeit nicht) muss sich jeder Betreiber einer Energieerzeugungsanlage (also auch eines Balkonkraftwerks) eintragen. Das ist kein abschreckend bürokratischer Schritt, das Onlineformular ist recht übersichtlich und benutzerfreundlich, Erklärungen stehen jeweils direkt neben den Eingabefeldern.

In dieser Datenbank kann man auch suchen und Daten exportieren. Und die haben es in sich: Setzt man einen Filter auf aktive PV-Anlagen unter 1 Kilowatt Spitzenleistung (Peak), spuckt die Datenbank Ende März 2023 ganze 147.000 Anlagen aus. Trägt man die installierte Leistung über die Zeit in einem Diagramm ein, entsteht die Kurve mit einem steilen Anstieg, die Sie in der Grafik „Balkonkraftwerke in Deutschland“ auf Seite 41 sehen. Sie geht stark in Richtung einer Exponentialfunktion, ein Abflachen ist nicht erkennbar. Auch die installierte Gesamtleistung ist stattlich: Über 70.000 kW Peak (70 Megawatt) kommen zusammen. Über 50 Megawatt davon wurden allein 2022 in Betrieb genommen.

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.

Die rasant gestiegene Popularität der Anlagen hat schon 2022 eine Forschergruppe der HTW Berlin

## Balkonkraftwerke in Deutschland

Allein im Marktstammdatenregister der Bundesnetzagentur sind Ende März 2023 über 147.000 Photovoltaikanlagen unter 1 kW Peak-Leistung mit zusammen über 70.000 kW Leistung registriert.



veranlasst, sich mit den Beweggründen der Betreiber zu beschäftigen. Ihre Studienergebnisse mit den Auswertungen einer Onlineumfrage mit über 2000 Teilnehmern erschien im Mai 2022 (siehe [ct.de/w43y](#)). Ein Ergebnis rüttelt auch am Klischee des allzeit korrekten Deutschen: Nur 42 Prozent haben es im Marktstammdatenregister eingetragen. Die häufigsten Gründe: „Es ist zu kompliziert“ (33 Prozent der Nicht-Anmelder) und „Ich habe nichts davon“ (28 Prozent).

Das zweite Indiz, dass Balkonkraftwerke ein Massenphänomen sind: Es gibt die Komponenten nicht mehr nur in darauf spezialisierten Webshops im Internet, auch große Händler haben das Potenzial erkannt. Ende Dezember 2022 fiel uns ein Photovoltaikregal in einem Obi-Baumarkt auf, ausgestattet mit fertigen Kleinanlagen und Kabeln. Im Januar 2023 stieg dann Discounter Netto ins Geschäft ein. Unter dem Markennamen Juskys gibt es im Netto-Onlineshop (nicht im Markt) ein Komplettspaket aus 600-Watt-Wechselrichter und zwei 410-Watt-Modulen für 899 Euro. Wenn Sie neu im Thema sind, mag das falsch klingen: Zwei Module à 410 Watt können

schließlich mehr liefern als die erlaubten 600 Watt. Entscheidend ist jedoch nur die Ausgangsleistung des Wechselrichters. Der kann die vollen 410 Watt der Module nicht ausschöpfen und damit bleibt's legal.

### Selbst loslegen

Sie sind überzeugt und wollen eine ungenutzte Fläche am Balkon oder an der Fassade nutzen, um die eigene Stromrechnung zu senken? Entgegen der Gerüchteküche können Sie Module und Wechselrichter leicht selber kombinieren; das spart Geld gegenüber Komplettsets. Doch bevor es ans Beschaffen des Materials geht, ein bisschen Begriffsklärung: Eine photovoltaische Zelle (auch Solarzelle) aus Silizium erzeugt eine Spannung, wenn sie von der Sonne beschienen wird. Mit den einzelnen fragilen Siliziumscheiben hat man als Kunde aber wenig zu schaffen, man kauft sie immer fertig gruppiert und verdrahtet in Form von Modulen (auch „Panels“ genannt). Die Hersteller von Modulen installieren die Zellen auf einer Trägerplatte, verschal-

## Weg mit der Mehrwertsteuer

Zum Jahreswechsel 2022/2023 machten Bundestag und Bundesrat Balkonkraftwerkskäufern ein steuerliches Geschenk: Kurz vor der Weihnachtspause verabschiedeten sie umfangreiche Steuerreformen, unter anderem eine Reform des Umsatzsteuergesetzes. Eingeführt wurde zum 1. Januar der Nullsteuersatz für Photovoltaikanlagen, Installationsmaterial und die Installationsarbeiten durch einen Photovoltaik-Fachbetrieb 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.

Die Handhabung der Shops variiert: 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. Wer günstig kaufen will, sollte die Gunst der Stunde nutzen und jetzt zuschlagen. Bleibt die Nachfrage so hoch, ist es nicht ausgeschlossen, dass die Händler in einigen Monaten die durch die Steuersenkung gefühlten günstigen Preise ausnutzen und erhöhen.

ten sie, verkleben sie mit einer Glasscheibe und stabilisieren alles mit einem Aluminiumrahmen. Eine gängige Größe für Module der 400-Watt-Klasse ist grob 180 cm x 110 cm.

Als Anschlussstecker hat sich europaweit der einpolige MC4 durchgesetzt; auf der Rückseite des Solarmoduls kommen somit zwei kurze Kabel heraus. Für jedes Modul gibt der Hersteller in einem Datenblatt oder einem Aufkleber auf der Rückseite die elektrischen Eckdaten an. Die Nennspannung (UMPP)

gibt an, welche Spannung unter Last und optimalen Bedingungen (unter anderem 25° Modultemperatur) im Prüfstand ermittelt wurden. Für ein handelsübliches 400-Watt-Modul sind es gerne um 40 Volt. Die installierte Leistung gibt man in Watt Peak oder Kilowatt Peak (kWp) an – es geht also um die maximal gelieferte Leistung unter optimalen Bedingungen. Im Sommer herrschen die indes selten, sodass von beispielsweise 330 Wp rund 250 bis 290 Watt überbleiben – etwa, weil das Modul in der Sonne sehr heiß geworden ist.

Eine weitere wichtige Einheit heißt Kilowattstunde. Eine Leistung von 1000 Watt, die eine Stunde lang bezogen oder produziert wird, ergibt eine Kilowattstunde (kWh). Um einzuschätzen, wie viele Kilowattstunden Ihre Anlage produziert, gibt es für die Wetterbedingungen in Deutschland eine grobe Faustformel: 1 kWp installierte Leistung erzeugt rund 1000 kWh im Jahr.

Die 400-Watt-Module sind die gleichen, mit denen man auch Häuser, Industriehallen oder Freifeldanlagen eindeckt. Es gibt auch größere Module mit 450 bis 700 Wp. Die bis zu 35 Kilogramm schweren und über zwei Meter großen Module erschweren die Balkonmontage jedoch erheblich. Speziell für Balkonsolaranlagen, aber auch für größere Anlagen auf verwinkelten Dächern, haben die Hersteller neben den 1,6- bis 2-Meter-Modulen auch kleinere Maße im Programm. Eine besonders gute Klimabi-



**Wer ein Balkonkraftwerk plant, braucht eine Befestigung, die zum Balkongitter passt. Der Markt für solches Material ist noch im Entstehen.**

lanz haben Module aus deutscher oder europäischer Fertigung – von Herstellern wie Aleo, Heckert, Solarwatt oder Meyer Burger.

Wen die weißen Linien um die blauen Module stören, der greift zu komplett dunklen „Full-Black“-Modulen. Eine weitere Alternative: Ultraleichte oder flexible Module ohne Glasplatte und Alurahmen. Erfunden wurden sie mal für Camping und Boote, sie machen aber auch an Balkongittern eine schlanke Figur.

Bei klassischen Modulen kann man mit etwas Bereitschaft zur Recherche und Abholung viel Geld sparen. Statt sie in einem Shop für Balkonkraftwerke zu kaufen, sucht man gezielt in Kleinanzeigen nach gebrauchten Modulen oder Restposten. Mit Auslaufmodellen und kleinen Restposten aus großen Projekten können einige Firmen wenig anfangen und verkaufen sie günstig.

Die zweite Komponente, die Sie für ein Balkonkraftwerk brauchen, ist ein Wechselrichter. Der wandelt die Gleichspannung der Module in Wechselspannung um und speist sie – synchron zur Netzfrequenz – ins Stromnetz ein. Das oder die Solarmodule werden also mit dem Wechselrichter verbunden und dieser wiederum mit der Netzspannungsseite (230 Volt). An kleinen Photovoltaikanlagen setzt man Mikrowechselrichter ein. Eine Marktübersicht mit Wechselrichtern finden Sie im Artikel „Mikrowechselrichter“

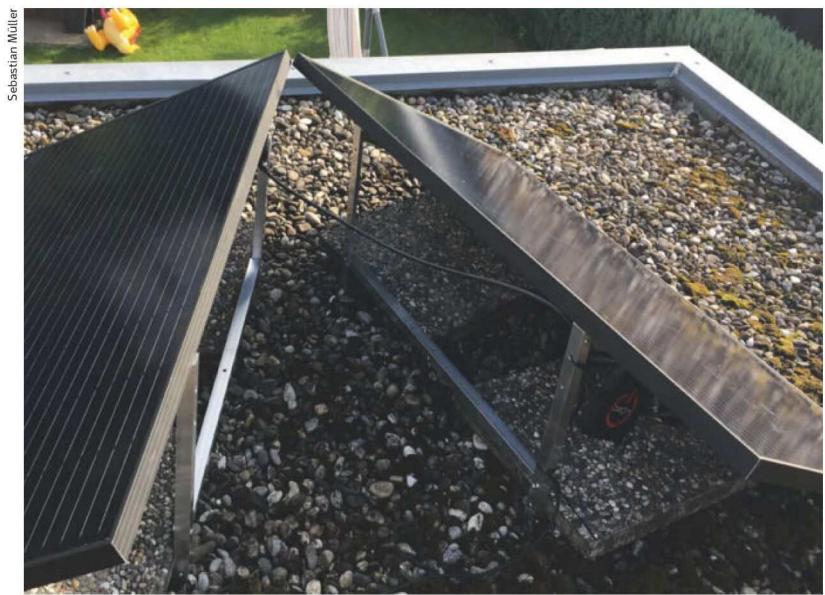
kaufen und einsetzen“ auf Seite 48. Dort erklären wir auch genauer, auf welche technischen Parameter Sie beim Kombinieren von Wechselrichtern und Panels achten müssen.

Einen Mythos rund um den Anschluss des Wechselrichters dürfen Sie gleich wieder vergessen: Häufig liest man, dass es wichtig sei, auf welcher Phase man das Gerät anschließe. In der Tat speisen Mikrowechselrichter nur auf einer Phase ein, das europäische Stromnetz hat aber drei Phasen (mehr dazu im Artikel „Grundwissen: Elektrischer Strom“ auf Seite 80). Ein Problem für den Spareffekt ist das aber nicht, denn Stromzähler – auch digitale Zähler – arbeiten in der Regel salzierend: Verbraucht man auf Phase 1 und 2 je 50 Watt und produziert auf Phase 3 rund 100 Watt, ist die Differenz 0 und der Zähler steht.

## Passende Module

Der Wechselrichter übernimmt die im Photovoltaikjargon als „MPPT“ (Maximum Power Point Tracking/ Tracker) abgekürzte Leistungspunktsuche, bei der der Lastwiderstand ständig an den Innenwiderstand des Solarmoduls angepasst wird. Der optimale Leistungspunkt schwankt mit der Intensität der Sonnenstrahlung und nur durch ständige Anpassung holt der Wechselrichter auch bei bedecktem Himmel

**Es muss nicht immer ein Balkon sein. Auch auf einem Garagedach finden zwei Module in Ost-West-Ausrichtung mit Aufständerung Platz.**



möglichst viel Energie aus dem Modul. Wie ein Wechselrichter im Detail arbeitet, lesen Sie im Artikel „Einfach erklärt: Solarwechselrichter“ auf Seite 32.

Bei der Ausrichtung der Module sollte man ein paar Details beachten: Will man mehrere Module in Reihe schalten (die Spannung addiert sich dann) – etwa weil drei 100-W-Module besser an den Balkon passen als ein 300-Watt-Modul –, sollten alle dieselben Leistungs- und Spannungswerte haben, also bestenfalls vom gleichen Typ sein; die Eingangsspannung am Wechselrichter darf ebenso nicht überschritten werden. Alle Module müssen gleich ausgerichtet sein, damit der MPPT effizient arbeiten kann; zwei Panels nach Süden und zwei nach Westen an einem MPPT reduzieren die Ausbeute. Möchte man Module in mehrere Richtungen ausrichten, um mittags und morgens respektive abends möglichst viel zu ernten, greift man entweder zu zwei 300-Watt-Wechselrichtern oder zu einem 600-Watt-Gerät mit zwei separaten Eingängen und einem MPPT pro Eingang. Letzteres ist oft günstiger.

## Steckerstreit

Hat man Mikrowechselrichter und Modul aufgetrieben, muss man ersteren noch mit dem Stromnetz verbinden. Das nötige Anschlusskabel braucht auf einer Seite einen Steckverbinder, der zum Wechsel-

richter passt. Bei einigen Herstellern ist das ein dreipoliger Betteri-Stecker, andere nutzen hier einen Wieland RST16. Meist liegen die zugehörigen Kabel im Webshop direkt in Klickweite zu den Wechselrichtern. Achtung: Manche Wechselrichter haben noch einen zweiten Kabelstummel, mit dem man einen zweiten Wechselrichter anhängen könnte. Um einen solchen Wechselrichter draußen zu installieren, muss eine Endkappe auf diesen Steckverbinder – die liegt nicht automatisch im Karton bei und muss unter Umständen separat bestellt werden.

Ausgerechnet um die letzte und auf den ersten Blick unspektakulärste Komponente gibt es den größten Streit: den Steckverbinder auf der Netzseite. Nahe liegt, die Balkonsolaranlage in die alltägliche Schutzkontaktsteckdose zu stecken, wie sie oft als wetterfeste Variante auf Balkonen zu finden ist. Wer das aus baulichen Gründen nicht kann und das Kabel irgendwie in die Wohnung geführt hat, nutzt irgend eine andere Steckdose. Technisch funktioniert das problemlos. Und wer Angst davor hat, dass beim Abstecken an den Pins des Steckers Spannung anliegt, der kann aufatmen: Wechselrichter müssen mit einem Netz- und Anlagenschutz ausgestattet sein. Der schaltet sofort ab, wenn er keine Verbindung zum Netz mehr hat. Wie gut diese Schutzmaßnahme funktioniert, lesen Sie im Artikel „Mikrowechselrichter kaufen und einsetzen“ ab Seite 48.

Dennoch entspricht ein Anschluss per Schuko-Stecker nicht dem Stand der Technik, der im Normenwerk des VDE festgehalten wird. Bereits seit Jahren wird in den Normungsgremien der Deutschen Kommission Elektrotechnik (DKE), der Normungsorganisation des VDE darüber debattiert, wie ein Balkonkraftwerk angeschlossen werden darf. Die Schuko-Befürworter konnten sich noch nicht durchsetzen, stattdessen fordert die Norm aktuell, vom Elektriker eine berührungssichere Einspeisesteckdose (VDE V 0628-1) setzen zu lassen.

Doch Anfang 2023 kam Bewegung in die Debatte: Der VDE höchstselbst veröffentlichte ein Positions-papier über Balkonkraftwerke, das es in sich hatte. Darin forderte der Verband umfangreiche Änderungen an bestehenden Regeln. Die Bagatellgrenze von 600 Watt solle auf 800 Watt angehoben werden, schließlich handhaben das andere europäische Länder auch so. Geduldet werden solle auch der Schukostecker – eine bemerkenswerte Aussage, die aber leicht missverstanden werden kann: Denn der VDE als Interessenvertretung ist nicht gleichzusetzen mit seinem eigenen Normungsgremium. Auswirkungen auf den Normungsprozess dürfte die Erklärung



**Die aktuelle Norm sieht eine beidseitig berührungssichere Steckverbindung für das Balkonkraftwerk vor. Diese Dose mit Wieland RST20 erfüllt die Anforderungen.**

## Balkonkraftwerk ≠ Notstromversorgung

Ein Missverständnis rund um Balkonkraftwerke hält sich hartnäckig: Zusätzlich zur Einsparung von bis zu 600 Watt habe man mit den Modulen auch automatisch eine Notstromversorgung von 600 Watt, wenn es im Netz einen Stromausfall gebe - so das Gerücht. Doch daraus wird nichts: Balkonkraftwerke sind keine Insel- oder Notstromanlagen, haben keinen Batteriespeicher und die Wechselrichter speisen nur dann Energie ein, wenn sie passende Spannung und Frequenz im Netz messen. Fällt das Netz aus, wirkt der sogenannte NA-Schutz und der Wechselrichter schaltet sofort ab.

Gleichermaßen falsch ist die Annahme, man könne das Balkonkraftwerk ja mit einem einfachen Inselwechselrichter oder an einer Powerstation betreiben. Davon sollten Sie ebenso die Finger lassen, denn wenn der Strom nicht abgenommen wird, kann das den Inselwechselrichter beschädigen.

dennoch haben. Dass der Schukostecker in den nächsten Monaten in der Norm landet, ist wahrscheinlich.

### Zählerdrehrichtung

Ein Wechselrichter bewirkt das Gegenteil eines klassischen Verbrauchers: Er transportiert elektrische Energie ins Netz. Zunächst deckt man damit den Eigenverbrauch im eigenen Haushalt, weil der Strom

immer den Weg des geringsten Widerstands nimmt. Doch was passiert, wenn im Haushalt weniger verbraucht wird, als der Wechselrichter liefert? Das hängt vom verbauten Stromzähler ab.

Der muss, wenn man ein Balkonkraftwerk betreibt, mit einer Rücklaufsperrre ausgestattet sein. Die alten schwarzen Ferraris-Zähler mit der drehenden Scheibe haben eine solche Sperre meist nicht. Das hat zur Folge, dass der Zähler rückwärts dreht, wenn der Verbrauch kleiner als die Produktion ist. Auf die Weise würde man das gesamte europäische Verbundnetz als gigantischen Speicher missbrauchen. Tagsüber wird zurückgespult, nachts dreht der Zähler sich langsam vorwärts. Das klingt verlockend, kann in Deutschland aber diverse Straftatbestände erfüllen - bis hin zur Steuerhinterziehung, weil man die Steuern auf den bezogenen Strom vermeidet.

Die sogenannten „modernen Messeinrichtungen“, also die digitalen Zähler, die aktuell installiert werden und bis 2032 flächendeckend hängen sollen, haben immer eine Rücklaufsperrre beziehungsweise ein getrenntes Exportregister, sodass die Einspeisung ersichtlich ist.

Um möglichen Ärger zu vermeiden, muss man sein Balkonkraftwerk beim Netzbetreiber anmelden. Für PV-Neulinge: Der Netzbetreiber ist das Unternehmen, das das lokale Stromnetz betreibt, oft die Stadtwerke. Zuständig ist also nicht der Stromlieferant (das kann, muss aber nicht dieselbe Unternehmensgruppe sein).

Die Netzbetreiber haben für Balkonkraftwerke ein vereinfachtes Anmeldeformular, das manchmal aber gut auf den Homepages versteckt ist. Hat man das eingereicht, gibt der Netzbetreiber die Information an den dritten Akteur, den Messstellenbetreiber,

**Es gibt 10 Arten von Menschen.  
iX-Leser und die anderen.**

Jetzt Mini-Abo testen: 3 digitale Ausgaben + Bluetooth-Tastatur nur 19,35 €  
[www.iX.de/digital-testen](http://www.iX.de/digital-testen)



[www.iX.de/testen](http://www.iX.de/testen)



49 (0)541 800 09 120



[leserservice@heise.de](mailto:leserservice@heise.de)



## Checkliste Balkonkraftwerk

- Zustimmung des Vermieters bei Installation am Balkongitter eingeholt
- 1 oder 2 Module beschafft
- Wechselrichter mit bis zu 600 Watt bestellt
- gegebenenfalls nötige MC4-Verlängerungen bestellt
- Befestigungsmaterial für den Balkon aufgetrieben
- Entscheidung für elektrischen Anschluss gefällt (Schuko oder Wieland-Dose)
- Anmeldung beim Netzbetreiber ausgefüllt
- Anmeldung im Marktstammdatenregister erledigt

Wollen Mieter und Mehrparteienhausbewohner die zwei Module von außen ans Balkongitter hängen, müssen sie den Eigentümer um Erlaubnis fragen. Und da stoßen viele, so berichten es uns Leser, noch immer auf Unverständnis und Ablehnung. Selbst wenn der Vermieter einverstanden ist, gibt es vielerorts noch die Eigentümersversammlung als ultimativen Endgegner. Einen Konsens für Balkonkraftwerke und gegen das gern zitierte „einheitliche Erscheinungsbild“ zu finden, scheitert allzu oft. Die einzigen Auswege aus dieser Lage: Niemanden fragen (was vor allem dann erfolgversprechend ist, wenn sich die Vermieter ohnehin wenig für ihre Immobilie interessieren) oder die Module nicht außen am Balkongitter befestigen. Alternativ kann man das Modul auf einem geräumigen Balkon einfach aufstellen. Sie dürfen ja auch Tische und Blumentöpfe platzieren, ohne um Erlaubnis zu bitten.

Tipp für Notfälle: Stellt sich der Vermieter gänzlich quer, weil die Energiewende das „einheitliche Erscheinungsbild“ des Mehrfamilienhauses gefährde, kann man aus einem Solarmodul und vier Beinen auch einen Tisch bauen – solange man daran nicht frühstückt, produziert er Strom.

## Zwischenstand

Kaum ein Bereich entwickelt sich derzeit so dynamisch wie kleine Photovoltaikanlagen. Mit der Steuersenkung und Stellungnahmen von BNetzA und VDE kommt Bewegung in lange festgefahrenen Debatten. Auch die Liefersituation bei Wechselrichtern und Modulen hat sich im Winter deutlich entspannt. Gut entwickelt hat sich auch das Angebot an Befestigungssystemen für die Balkon- und Fassadenmontage. Für viele Balkongitter findet man mit etwas Recherche im Netz passendes Befestigungsmaterial.

Wer seinen Vermieter überzeugt hat und aktuell über eine Anschaffung nachdenkt, steht vor schweren Entscheidungen: Darauf warten, dass die Normungsgremien die Solarstrategie der Bundesregierung umsetzen und 800 Watt erlauben? Oder lieber jetzt kaufen, günstige Preise nach der Steuersenkung mitnehmen, bevor die Preise anziehen? Vieles spricht für die letzte Option – denn ob und wann der VDE mit der Idee Gehör findet, ist offen. Ganz leicht ist die Entscheidung für alle, die ohnehin nicht planen, ihrer Verpflichtung nachzukommen und die Anlage dem Netzbetreiber zu melden. Sie kaufen einfach schon heute einen 800-Watt-Wechselrichter und installieren eine Guerilla-Anlage. (jam) 

weiter. Meist ziemlich schnell nach der Anmeldung bekommt man dann die Nachricht, dass demnächst ein Techniker zum Einbau des modernen Zählers vorbeikommt.

Auch beim Stromzähler überraschte der sonst eher konservative VDE Anfang des Jahres in seinem Positionspapier: Geht es nach dem VDE, solle auch der Betrieb an einem alten schwarzen Ferrariszähler erlaubt werden. Diese Änderung müsste aber der Gesetzgeber vornehmen und die Idee des VDE ist bisher eben nur das – eine Idee.

## Endgegner

Die technischen und bürokratischen Herausforderungen kennen Sie jetzt – allesamt leicht zu überwinden. Wer keine Lust auf Einzelteile hat, bekommt fertige Pakete aus Modulen und Wechselrichtern. Die Anmeldung beim Netzbetreiber hat ihren Schrecken etwas verloren und auch der Schukostecker dürfte bald anerkannte Technik sein. Alles super also? Eine Hürde gibt es leider noch, sofern Sie nicht im eigenen Haus wohnen.

### Weitere Infos

[ct.de/w43y](http://ct.de/w43y)



# Die Konferenz für Enterprise-JavaScript

21. und 22. Juni 2023  
Darmstadt

Jetzt  
Tickets mit  
**Frühbucher-  
rabatt**  
sichern!

[www.enterjs.de](http://www.enterjs.de)

+++ Workshops vor Ort und online: Svelte + Nuxt + React + Web Components + A11y +++

Veranstalter



heise Developer

dpunkt.verlag

Silbersponsor

adesso

MAIBORNWOLFF

Whiskey  
Tango  
Foxtrot

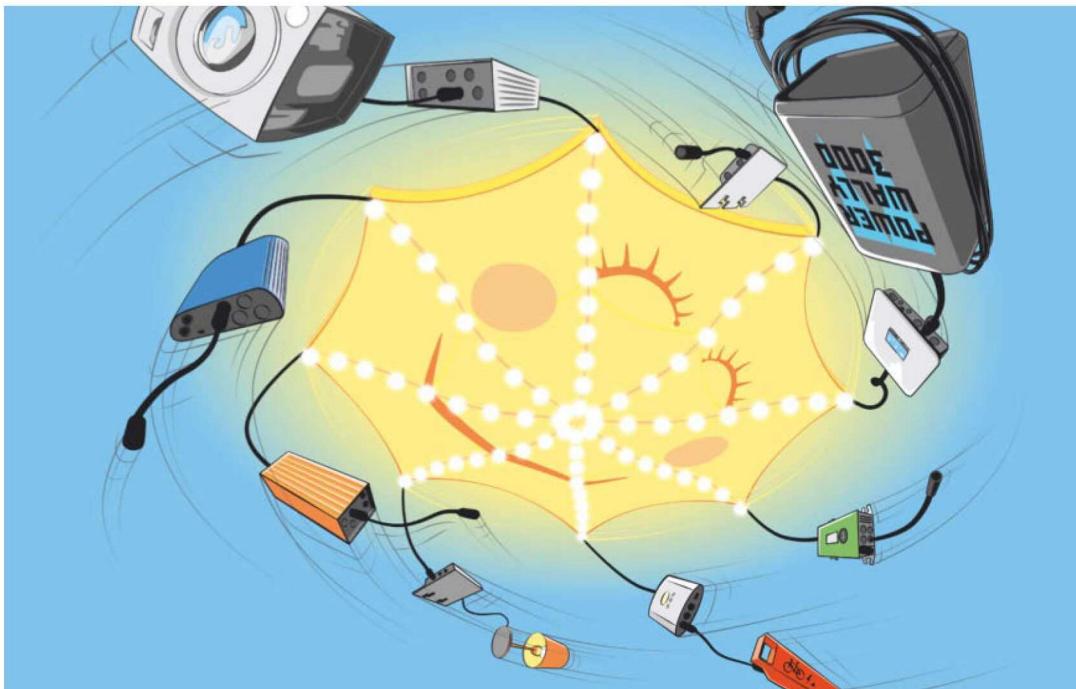


Bild: Rudolf A. Blaha

# Mikrowechselrichter kaufen und einsetzen

Der Mikrowechselrichter ist das Herz Ihres Balkonkraftwerks, er wandelt die Gleichspannung der Solarmodule in die Wechselspannung des Stromnetzes. Wir erklären die technischen Grundlagen, sortieren den Markt – und räumen mit einem Sicherheitsmythos auf.

Von Jan Mahn und Andrijan Möcker

Für ein Balkonkraftwerk braucht man neben ein bis zwei Solarmodulen mit je 200 bis 400 Watt Spitzenleistung (Watt Peak,  $W_p$ ) einen netzgebundenen Mikrowechselrichter (auch unter den Begriffen Grid-Tie-Inverter, Netzwechselrichter, Einspeisewechselrichter zu finden) mit bis zu 600 Watt Ausgangsleistung. Er ist ungefähr so groß wie sechs

c't-Ausgaben gestapelt. Wie im vorhergehenden Artikel beschrieben darf er auch von elektrotechnischen Laien an eine Außensteckdose angeschlossen werden und wandelt die Gleichspannung der Solarmodule in eine netzsynchrone Wechselspannung um, die die Geräte daheim ohne Umverdrahten direkt nutzen können.

Der anfängliche Ansturm auf Balkonkraftwerke hat die Shops für Komplettsets leergefegt und die Preise in die Höhe getrieben. Mittlerweile hat sich die Lage wieder beruhigt und sogar Discounter locken mit den Sets. Doch Sie müssen nicht unbedingt ein Set mit hohen Versandkosten aus dem Netz ordern: Sowohl Wechselrichter als auch Solarmodule gibt es auch einzeln – oft sogar bei Ihnen in der Nähe. Als Stecker kommt auf Gleichspannungsseite immer das Format MC4 zum Einsatz und sofern die elektrischen Parameter passen, kann man Wechselrichter und Module aus verschiedenen Quellen bedenkenlos miteinander kombinieren.

## Sicherheit geht vor

Noch bevor Sie prüfen, ob ein Wechselrichter elektrisch kompatibel zum Solarmodul Ihrer Wahl ist, müssen Sie im Datenblatt oder im Webshop auf Konformität mit der **VDE-AR-N 4105** achten. Die Anschlussregel des Elektrotechnikverbands VDE definiert seit Anfang 2019 auch, welche Voraussetzungen Wechselrichter für kleine Photovoltaikanlagen mit direktem Netzanschluss zu erfüllen haben.

Die Sicherheit ist ein großes Thema: Es muss ein Netz- und Anlagenschutz (NA-Schutz) eingebaut sein, der sicherstellt, dass der Wechselrichter sofort ab-

schaltet, falls die Netzspannung ausfällt – also etwa der Stecker des Wechselrichters aus der Steckdose gezogen wird, weshalb die Anschlusskontakte frei liegen, oder der Fehlerstromschutzschalter des Stromkreises auslöst. Das schützt nicht nur Sie als Anwender, sondern auch zum Beispiel Mitarbeiter des Netzbetreibers – für die ist es überlebenswichtig, dass bei Arbeiten am zuvor abgeschalteten Netz niemand einspeist.

Angesichts der kleinen Preise mag so mancher in Versuchung geraten, günstige No-Name-Wechselrichter ohne Konformitätsangabe auf Amazon, eBay, AliExpress oder sonstigen Marktplätzen zu ordern. Unser Rat: Lassen Sie das! Während man sich über den Anschlussstecker streiten kann – mehr dazu später – schützen die Anforderungen der VDE-AR-N 4105 effektiv vor potenziell tödlichen Stromunfällen.

Sparen Sie sich den Ärger, den Sie sich mit so einem Gerät unter Umständen einhandeln und warten Sie gegebenenfalls etwas länger auf ein Schnäppchenangebot für einen konformen Wechselrichter. Wenn die Zeit drängt oder Sie es gar nicht abwarten können, funktionieren technisch gesehen auch größere Wechselrichter mit 700 oder 800 Watt Spitzenleistung – wie im vorhergehenden Artikel erklärt, darf man die als Laie aber nicht ohne Elektrofachkraft beim Netzbetreiber anmelden.

## Datenblattlektüre

Erfüllt der Wechselrichter die Anforderungen des VDE, geht es an die elektrischen Werte – Basisinfos zu Spannung, Leistung und Stromstärke haben wir im Kasten „Elektrobasiswissen für PV-Planer“ für Sie zusammengefasst. Einen tieferen Einstieg in die elektrotechnischen Grundlagen finden Sie im Artikel „Grundwissen: Elektrischer Strom“ auf Seite 80.

Die Anschlusswerte des Solarmoduls müssen zum Wechselrichter passen. In dessen Datenblatt sind meist der zulässige Bereich der Betriebsspannung und der Arbeitsbereich des MPPT („Maximum Power Point Tracker“, Maximalleistungssucher) angegeben. Erst wenn die Solarzellen mindestens die untere Betriebsspannung liefern, fängt der Wechselrichter an zu arbeiten – überschreitet die Spannung etwa an einem Sommertag das Maximum, kann der Wechselrichter allerdings kaputtgehen. Sie sollten so planen, dass die Spannung der Solarmodule stets im Arbeitsbereich des MPPT liegt, damit dieser das Optimum aus den Modulen herausholen kann. Weitere Details hierzu finden Sie im Artikel „Einfach erklärt: Solarwechselrichter“ ab Seite 32.



**Während Wechselrichter für große Dachanlagen schwer und klobig sind, benötigen Mikrowechselrichter nur wenig Platz und sitzen direkt hinter dem Solarpanel. Das erleichtert Laien die Montage erheblich.**

## Elektro-Basiswissen für PV-Planer

Bei der Wahl von PV-Modul und Wechselrichter kommt man nicht umhin, mit ein paar elektrischen Größen zu rechnen. Zunächst ist da die Spannung, genauer die **Leerlaufspannung**, („Open Circuit Voltage, kurz  $V_{oc}$ “), (in Volt, V), die an jedem PV-Modul anliegt, wenn die Sonne darauf scheint, es aber nirgends angeschlossen ist. Diese darf nicht höher sein als die maximale Betriebsspannung des Wechselrichters, an den man es anschließt. Liefert das Solarmodul mit höchster Effizienz Energie an einen Wechselrichter mit MPPT-Optimierung, so sinkt die Spannung auf die „Maximum Power Voltage“, abgekürzt mit  $V_{mp}$ . Der **Strom** („Maximum Power Current“,  $I_{mp}$ ), der dabei fließt (gemessen in der Einheit Ampere, A) erlaubt Ihnen, die **Leistung** (in Watt, W) des Moduls zu berechnen, indem Sie Spannung und Strom miteinander multiplizieren. Bei einem 300-Watt-Modul könnte im Datenblatt zum Beispiel  $32,75\text{ V}_{mp}$

angegeben sein, außerdem ein maximaler Strom von 9,2 A. Kurze Gegenprobe:  $32,75 \times 9,2$  ergibt rund 300 Watt.

Kombiniert man mehrere Module in einer Reihenschaltung, addieren sich die Spannungen. Aus zwei der Beispielmodule mit  $32,75\text{ V}_{mp}$  kommen in einer Reihenschaltung schon  $65,5$  Volt (zu viel für manche Wechselrichter). Alternativ kann man Module auch parallel schalten. Dafür gibt es Mehrfachkupplungen für die MC4-Stecker sowie Verlängerungen zu angemessenen Preisen im Netz. In der Parallelschaltung addieren sich die Spannungen nicht, es kommt aber ein höherer Strom beim Wechselrichter an (und damit eine höhere Leistung). Aus zwei der Beispielmodule kommen dann in der Spitze zusammen 18,4 Ampere bei weiterhin 32,75 Volt – das ergibt eine Leistung von 600 Watt.

Damit der Wechselrichter die maximale Leistung abrufen kann, muss sein Eingang außerdem den Maximum Power Current ( $I_{mp}$ ) des Solarmoduls vertragen. Viele 600-Watt-Mikrowechselrichter sind darauf ausgelegt, den Strom auf zwei Eingänge zu je 9 bis 13 Ampere aufzuteilen. Multipliziert man die  $V_{mp}$ , die Spannung des eingesetzten Moduls bei Nennleistung, mit dem  $I_{mp}$  des Wechselrichters, ergibt das die maximale nutzbare Leistung pro Eingang. Die Maximalleistung großer Module mit 400 Watt Peak und mehr, aber nur 29 bis  $32\text{ V}_{mp}$  kann man daher an vielen Mikrowechselrichtern nicht ausschöpfen – sie sind nur für zwei 300- bis 350-Watt-Module geplant, nicht für ein großes.

### Überbelegung

Solange Sie die maximale Betriebsspannung des Wechselrichters nicht überschreiten, dürfen Sie aber durchaus mehr Module mit mehr Maximalleistung anschließen, als sie der Wechselrichter verarbeiten kann. Damit steigern Sie den Stromertrag bei

schlechtem Wetter sowie im Frühling und Herbst, auch wenn der Wechselrichter dann im Sommer nur einen Teil der verfügbaren Leistung bei den Solarmodulen abruft. Das lohnt sich dann, wenn Sie etwa eine große Zahl gebrauchter Solarmodule günstig oder gar kostenlos bekommen. Auch rechtlich ist es erlaubt, mehr als 600 Watt Modulleistung aufzuhängen – die Grenze von 600 Watt für Balkonkraftwerke bezieht sich allein auf die Einspeiseleistung des Wechselrichters. MC4-Kuppler für bis zu sechs Module sowie Verlängerungen gibt es günstig im Netz.

Obacht jedoch: Manche Wechselrichter haben einen Prüfmodus, in dem sie Panels zum Test kurzschließen. Erreichen Panels nicht mehr die angegebene Short-Circuit-Current ( $I_{sc}$ ), deutet das auf falsche Verkabelung oder einen Paneldefekt hin. Durch parallel geschaltete Überbelegung wird die  $I_{sc}$  des Wechselrichters überschritten, sodass Sie die unter Umständen aktivierte Funktion auf jeden Fall deaktivieren müssen. Prüfen Sie dazu die Anleitung und fragen Sie gegebenenfalls den Hersteller.

## Laborversuch zur Wirksamkeit des NA-Schutzes

Wechselrichter	Abschaltzeiten (Phasenlage) [ms]				Stand-By-Verbrauch [W]
	0°	45°	90°	135°	
	◀ besser	◀ besser	◀ besser	◀ besser	◀ besser
revolt ZX-3134	0,160 ms	0,2 ms	0,2 ms	0,308 ms	0,08 W
Envertech EVT560	0 ms	0,140 ms	0,2 ms	0,380 ms	0,1W
Hoymiles HM-700	0,08 ms	0,156 ms	0,236 ms	0,240 ms	0,27W
AEConversion INV500-90	0,06 ms	0,2 ms	0,364 ms	0,34 ms	0,26W

## Anschlussdiskussion

Wie man Mikrowechselrichter an das Stromnetz anschließt, da scheiden sich die Geister selbst im VDE, wie im vorhergehenden Artikel beschrieben. Nach der Norm VDE-AR-N 4105 müssen Sie eine Steckdose des Typs RST20i3 vom Hersteller Wieland mit einer separaten Zuleitung installieren lassen; nur in die darf der Laie den Stecker des Balkonkraftwerks stecken. Befürworter dieser Norm argumentieren, dass der Wieland-Stecker verdreh- sowie berührungssicher ist und auch sein muss. Unter den Webshops, die Mikrowechselrichter führen, gibt es zwei Typen: Die einen bieten passend zu den Wechselrichtern Anschlusskabel mit Schuko-Stecker an, andere vertreiben die Kabel nur mit Wieland-Stecker oder ganz ohne konfektionierten Stecker.

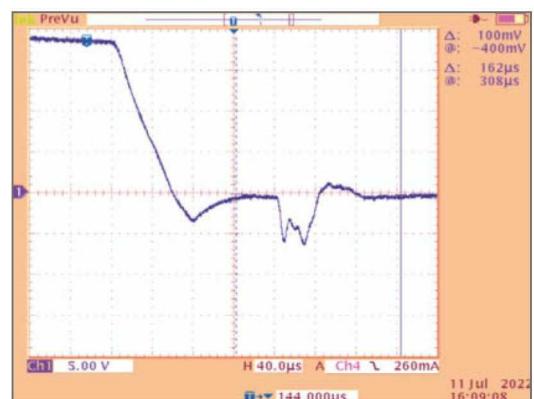
Technisch gesehen funktionieren Balkonkraftwerke auch mit einem Schukostecker anstandslos – und viele Nachbarländer erlauben den Betrieb damit. Auch die Verdrehbarkeit des Steckers ist kein Problem: Der Wechselrichter erkennt, wo Phase und Nullleiter auf den Anschlussleitungen liegen und speist dann korrekt ein. Der in der VDE- und Euro-Norm vorgeschriebene Netz- und Anlagenschutz (NA-Schutz) sorgt dafür, dass der Wechselrichter automatisch abschaltet, sobald der Strom ausfällt oder man den Stecker zieht.

Kritiker des Schuko-Anschlusses argumentieren, dass der NA-Schutz erst nach 300 Millisekunden auslösen müsse. Somit könnte man theoretisch den Schukostecker blitzschnell herausziehen und an den blanken Kontakten einen Stromschlag erleiden. Außerdem würde der Wechselrichter die kurze Abschaltzeit des Fehlerstromschutzschalters (Fl, 20 bis 30 Millisekunden) untergraben. Komme es in dem Kreis durch ein anderes Gerät zu einem Fehler, würde der Wechselrichter noch gefährlich lange Spannung abgeben. Schuko-Befürworter halten dagegen, dass

induktive Lasten wie Waschmaschinen und Staubsauger das gleiche Problem haben.

## Abschaltmythos

Um zu beurteilen, wie wirkungsvoll der NA-Schutz wirklich ist, haben wir die Abschaltzeit von vier Modellen im Labor getestet. Kern des Versuchs ist eine regelbare Wechselspannungsquelle, die auf Kommando bei einer eingestellten Phasenlage abschalten kann. Über einen Trigger-Ausgang signalisiert sie einem angeschlossenen Oszilloskop den genauen Abschaltzeitpunkt. Auf diese Weise konnten wir exakt bestimmen, wie lange nach einem simulierten Netzausfall noch Spannung am Wechselrichter anlag.



**Die Behauptung, man könne an den offenliegenden Kontakten des Schutzkontaktsteckers an einem Wechselrichter einen elektrischen Schlag erleiden, konnten wir in unseren Messungen widerlegen. Die Testkandidaten schalteten nach Netztrennung in unter einer Millisekunde ab.**

Die Ergebnisse aller getesteten Wechselrichter mit verschiedenen Abschaltphasenlagen sprechen eine eindeutige Sprache: Der NA-Schutz funktioniert – und zwar so schnell, dass es unmöglich ist, den Stecker herauszuziehen und einen Stromschlag zu erleiden. Im ungünstigsten Fall (bei 135° Phasenlage) dauerte es beim Wechselrichter von Envertech weniger als 0,4 Millisekunden, bis keine Spannung mehr am Schukostecker anlag. Diese Messergebnisse können auch all jene beruhigen, die Angst davor haben, dass ein Balkonkraftwerk die Wirkung eines Fl-Schutzschalters (heute auch RCD genannt) gefährlich verzögern könnte. Zwar können unsaubere Wechselspannungen und induktive Lasten wie Staubsauger oder Waschmaschinen dem Wechselrichter noch einige Millisekunden länger vorgaukeln, dass noch eine Wechselspannung da sei. Jedoch wären diese Geräte auch ohne Balkonkraftwerk ein Problem.

Im Rahmen des Versuchsaufbaus konnten wir auch eine andere Frage beantworten – ob man den Wechselrichter abends aus der Steckdose ziehen sollte, um Energie zu sparen. Der Standby-Verbrauch

lag weit unter 1 Watt, nachts den Stecker zu ziehen lohnt sich also nicht.

## Kurzschlussthematik

Wer besonders großen Wert auf Sicherheit legt, sollte auch vor dem Anschließen per Schukostecker einen Elektriker konsultieren und die Anlage durchmessen lassen. Das Balkonkraftwerk ist ein Stromerzeuger in auf Verbraucher ausgelegten Stromkreisen. Im Normalzustand ist das kein Problem. In einem Fall kann es jedoch problematisch werden: Das Balkonkraftwerk ist ein 600-Watt-Generator auf einem typischerweise mit 16 Ampere abgesicherten Stromkreis. Gibt es auf dem Kreis noch eine Steckdose, aus der Leistung entnommen wird und kommt es in einem anderen Gerät zu einer Überbelastung, müssen 4280 statt 3680 Watt fließen, damit der Sicherungsautomat in seinen Auslösebereich gelangt, er würde also später reagieren – die 600 Watt vom Balkonkraftwerk kommen nicht an der Sicherung vorbei.

Doch das Problem kann man lösen, ohne eine separate Leitung für das Balkonkraftwerk ziehen zu

## VDE-AR-N-4105-Mikrowechselrichter für Balkonkraftwerke

Hersteller	Modell	AC-Dauerleistung	DC-Eingänge	MPPT-Spannungsbe-reich	Imax <sup>1</sup> pro Eingang	DC-Umin <sup>2</sup>	DC-Umax <sup>3</sup>
Hoymiles	HM-300	300 Watt	1	29 - 48 Volt	11,5 Ampere	16 Volt	60 Volt
revolt (Pearl)	ZX-3134	300 Watt	1	25 - 55 Volt	13 Ampere	20 Volt	60 Volt
Envertech	EVT300	300 Watt	1	24 - 45 Volt	12 Ampere	18 Volt	54 Volt
TSUN	TSOL-M350	350 Watt	1	32 - 48 Volt	10,5 Ampere	16 Volt	60 Volt
AEConversion	INV350-60EU	350 Watt	1	20 - 50 Volt	11 Ampere	18 Volt	60 Volt
Hoymiles	HM-350	350 Watt	1	33 - 48 Volt	11,5 Ampere	16 Volt	60 Volt
AEConversion	INV500-90EU	500 Watt	1	40 - 80 Volt	11 Ampere	40 Volt	90 Volt
Envertech	EVT560	560 Watt	2	24 - 45 Volt	12 Ampere	18 Volt	54 Volt
APSystems	DS3-S EU	600 Watt	2	25 - 55 Volt	18 Ampere	16 Volt	60 Volt
Hoymiles	HM-600	600 Watt	2	33 - 48 Volt	11,5 Ampere	16 Volt	60 Volt
revolt (Pearl)	ZX-3135	600 Watt	2	25 - 55 Volt	13 Ampere	20 Volt	60 Volt
Deye	SUN600G3-EU-230	600 Watt	2	25 - 55 Volt	13 Ampere	20 Volt	60 Volt
Hoymiles	HM-700	700 Watt <sup>4</sup>	2	33 - 48 Volt	11,5 Ampere	16 Volt	60 Volt

<sup>1</sup> Maximaler Strom pro Eingang;  $Imax \times Ump$  des Solarmoduls = maximale Eingangsleistung <sup>4</sup> Mitte Juli 2022; Gut = in mehreren Shops verfügbar, Mittel = in ein bis zwei Shops verfügbar,

<sup>2</sup> Einschaltspannung Schlecht = wenig bis gar nicht verfügbar; Zeiträume bei schlechter Verfügbarkeit meist August bis Januar 2023

<sup>3</sup> Obere Spannungsgrenze 5 Dieser Wechselrichter entspricht nicht den vereinfachten Anschlussbedingungen

müssen: Leitungsschutzschalter erhält man nicht nur mit 16 Ampere Bemessungsstrom, es gibt sie auch kleiner mit 5, 6, 10 und 13 Ampere. In modernen Installationen kann ein Elektriker den 16-Ampere-Leitungsschutzschalter unkompliziert durch einen mit 13 Ampere austauschen.

## Auswertung

Wer eine Photovoltaikanlage betreibt, will auch wissen, was sie gerade treibt. So kann man die Modulausrichtung optimieren, selbstproduzierte Kilowattstunden zählen und errechnen, wann sich die Investition in die Anlage amortisiert hat. Aus unserem Testfeld konnten wir lediglich bei den baugleichen Geräten von Bosswerk/Revolt mit eingebautem WLAN-Modul die nötigen Daten wie Spannung, eingespeiste Leistung und Tages- oder Gesamtertrag abrufen. Dazu zieht man die rote Gummikappe vom Antennenanschluss ab und schraubt die beigelegte Stummelantenne auf. Über die Android- und iOS-App namens Solarman Smart (kostenlos in den App-Stores) verbindet man sich beim Einrichten mit



**Die Solarman-App in den Wechselrichtern von Bosswerk und Revolt verrät, was die Anlage gerade produziert und kann auch Diagramme für Jahre, Monate und Tage errechnen. Datenschutz und Sicherheit sind leider wie bei günstigen Smart-Home-Produkten katastrophal.**



**Pearls revolt-Wechselrichterserie erhält man für ein Solarmodul (300 Watt) sowie für zwei (600 Watt) oder vier (1300 Watt) Module. Besonders praktisch ist das eingebaute WLAN-Modul für die Ertragsüberwachung per App – die Funktion hat jedoch schwere Sicherheitsmängel.**

## Netto, Bosswerk, Pearl: Sicherheitslücke per WLAN

Wechselrichter von Deye mit 600 Watt, die auch im Netto-Set stecken, tauchen in Deutschland unter mehreren Namen auf, unter anderem findet man sie als Bosswerk MI600 und beim Händler Pearl unter dem Namen revolt. Nach unserem Stand steckt in jedem aktuell erhältlichen 600-Watt-Wechselrichter mit WLAN-Schnittstelle der Deye 600. Übers Internet funkts er seine Leistungsdaten an die Cloud des Anbieters Solarman, per App kann man die Daten auswerten.

Das Problem: Der Wechselrichter öffnet einen Access-Point, über den man die Verbindung mit dem heimischen WLAN konfiguriert – und er ist nur rudimentär mit dem Standardschlüssel 12345678 gesichert. Nach der Ersteinrichtung sollte man den ändern oder den Access Point abschalten. Doch genau das funktioniert in der fehlerhaften Firmware nicht; der Speichern-Button ist ohne Funktion. Zwar routet der Wechselrichter eingebuchte Geräte nicht (einfach) ins Heimnetz, jedoch kommt der Angreifer mit ein paar Tricks an die zuvor eingebrachten Zugangsdaten des Heim-WLANS und kann so einbrechen.

Nachweisen konnten wir den Fehler in den Firmware-Versionen MW3\_15U\_5406\_1.47 und MW3\_15U\_5406\_1.471. Seit Dezember 2022 hat Deye ein Update auf Lager, hielt sich aber mit dessen Installation zurück. Nur mit einer englischsprachigen Mail an den Support konnte man den Hersteller dazu bewegen, das Update aus der Ferne zu installieren – was nach unseren Erkenntnissen bis zu zwei Wochen dauern konnte.

Am 3. Februar berichteten wir bei heise online über das Problem – und im Anschluss kam Bewegung in die Sache. Zunächst meldete sich das Team der Sicherheitslückendatenbank VulDB. Die Deye-Lücke hat jetzt die offizielle Nummer CVE-2023-0808. Am 8. Februar reagierte auch der Hersteller: Das Update wird jetzt automatisch eingespielt, wenn der Wechselrichter 30 Minuten aktiv und mit dem Internet verbunden ist. Es reicht aus, das Gerät bei Sonnenschein (nur dann ist das WLAN-Modul aktiv) für knapp 40 Minuten in einem Gast-WLAN mit Internetverbindung zu betreiben. Ob das Update angekommen ist, kann man in der lokalen Weboberfläche erkennen.

einem lokal aufgespannten WLAN-Netz und verbindet das Gerät mit dem heimischen WLAN.

Für diesen Komfort zahlt man aber einen hohen Preis, denn die Cloud-Anbindung entspricht dem niedrigen Datenschutz- und Sicherheitsniveau, wie man es bei günstigen Smart-Home-Geräten leider schon gewohnt ist. Daran ändert auch die Tatsache nichts, dass mit Bosswerk und Pearl deutsche Händler ihren Namen aufdrucken. Der Wechselrichter ist äußerst gesprächig und spricht mit einem Server in der Alibaba-Cloud. Neben den Messwerten erfährt der Hersteller schlimmstenfalls lokale IPs und die WLAN-Zugangsdaten. Die größte Panne: Uns gelang es nicht, den Schlüssel für den eingebauten Access-Point zu ändern. Der sprang immer wieder auf den leicht zu erratenden Wert 12345678. Ein solches

Security- und Datenschutzdesaster gehört nicht ins Heim- sondern in ein separates Gastnetzwerk. Oder man lässt die WLAN-Antenne ganz weg – was schade wäre, weil die Oberfläche der App gut funktioniert und nützlich ist.

Die anderen Wechselrichter im Test zeigten sich erstaunlich wenig gesprächig, beziehungsweise wenig standardkonform. Die in Deutschland entwickelten und in Asien gebauten Geräte von AEConversion zum Beispiel senden Informationen auf 2,4 GHz – allerdings nicht über WLAN oder Zigbee, sondern in einem herstellereigenen Protokoll, ursprünglich mal für große Anlagen mit mehreren Wechselrichtern gedacht. Weil der Markt für Balkonkraftwerke rasant gewachsen ist, hat der Hersteller ein kleines Gerät namens AEco.1 vorgestellt, das auf

WLAN übersetzt. In den Webshops der PV-Händler fehlte es bei Redaktionsschluss aber noch. Ein ähnliches Gerät hat Envertech für seine Wechselrichter im Programm. Die kommunizieren ähnlich wie Powerline-Steckdosen über das Stromkabel, zum Auslesen braucht man die „EnverBridge“ für rund 120 Euro.

Günstiger gelingt die Auswertung mit einer handelsüblichen Energiemesssteckdose – im Artikel „Stommesser im Vergleichstest“ auf Seite 114 testen wir zehn verschiedene. Sie bemerken zwar alle nicht, dass die Energie eingespeist und nicht entnommen wird, können aber den richtigen Betrag messen. Open-Source-Fans werden sich zudem über die De-lock 11827 freuen: Die WLAN-Messsteckdose nutzt einen ESP8266 und kommt mit vorinstalliertem Tasmota, also ohne Cloud. Wer per Wieland-Steckdose einspeisen möchte, kann solche Steckdosen allerdings nicht verwenden – Modelle mit Wieland-Anschlüssen gibt es noch nicht.

## Marktübersicht

Welchen Wechselrichter soll man jetzt kaufen? Um Ihnen die Kaufentscheidung zu erleichtern, haben wir in unserer Tabelle zu den Mikrowechselrichtern auch die elektrischen Parameter und Monitoringfunktionen angegeben. Wer Wert auf eine Auswertungsmöglichkeit per Netzwerk legt, hat erstaunlich wenig Auswahl. Ein eingebautes WLAN-Modul fan-

den wir lediglich bei den baugleichen Geräten von Bosswerk und Pearl. Bei Hoymiles kann man mit etwas Bastelarbeit Geld sparen: Wie das Projekt OpenDTU die Wechselrichter abfragt, lesen Sie im Artikel „Wechselrichter per OpenDTU überwachen“ ab Seite 70.

Für echte Sparfüchse lohnt es sich durchaus, über den Tellerrand zu schauen, denn zumindest Deutsche und Österreicher können in der restlichen EU problemlos einkaufen.

## Fazit

Balkonkraftwerke haben im Jahr 2022 gerade den Sprung aus der Nische in den Massenmarkt geschafft – und das sieht man auch am Wechselrichterangebot. So gibt es bereits ein vergleichsweise großes Angebot, aber viele Geräte wurden nicht explizit für Balkonkraftwerke entworfen. Diese Mikrowechselrichter waren mal dafür gedacht, zu größeren Anlagen kaskadiert zu werden. Besonders bei der Datenauswertung erfüllen sie nicht die typischen Wünsche privater Balkonkraftwerksbetreiber.

Bleiben die Strompreise weiter auf hohem Niveau, ist zu erwarten, dass sich der Markt weiterentwickelt und auch neue Anbieter auftauchen – mit besserer Integration ins vernetzte Zuhause. Haben Sie den Mut, Ihr Balkonkraftwerk selberzubauen, denn das Selberzusammenstecken ist keine Magie.

(amo) **ct**

Wechselrichter-Datenblätter  
& weitere Infos  
[ct.de/wmah](http://ct.de/wmah)

The image shows the front cover of the 'Hardware Guide 2022' magazine. It features two issues of the magazine side-by-side. The left issue is titled 'Selbstbau Wunsch-PC' and the right issue is also titled 'Selbstbau Wunsch-PC'. Both covers include the 'ct' logo and the text 'HARDWARE-GUIDE Test · Praxis · Bauvorschläge'. Below the magazine, there is a red banner with the text '+ GRATIS Webinar im Wert von 99,- €'.

# Maßgeschneidert!

## Bauen Sie Ihren Wunsch-PC

- Selbstbau-Wunsch-PC
- Kaufberatung SSDs und Festplatten
- Allround-PC: Sparsam, leise, trotzdem schnell
- Komponenten im Test
- Ratgeber Hardware-Kauf
- inkl. GRATIS-Webinar: Sichere Konfiguration von Büro-PCs – Hardware und BIOS-Setup

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



[shop.heise.de/ct-hardwareguide22](http://shop.heise.de/ct-hardwareguide22)

# Balkonkraftwerke

Das Balkonkraftwerk ist 2022 zum Massenprodukt geworden. Wir haben ausführlich berichtet und viele Fragen von Ihnen erhalten. Unsere Antworten haben wir für Sie zusammengestellt.

Von Jan Mahn, Pina Merkert und Andrijan Möcker



## Anlage trotz Ansturm?

**?** Fertige Balkonkraftwerke sind derzeit kaum lieferbar. Wie komme ich trotzdem an eine kleine Photovoltaikanlage?

**!** Sie können alle Komponenten auch einzeln organisieren und zusammenstecken. Wichtig ist lediglich elektrische Kompatibilität: Das Solarmodul muss den typischen MC4-Stecker haben und unter Last eine Spannung (V/Ump) liefern, die im Spannungsbereich des Leistungspunktsuchers (MPPT) des Wechselrichters liegt. Damit der Wechselrichter möglichst viel Leistung umwandeln kann, darf zudem der Laststrom (A/Imp) den Eingangsstrom des Wechselrichters nicht signifikant überschreiten. Ist die Auswahl beim Händler klein, können Sie aber trotzdem ein größeres Modul wählen, denn im Normalbetrieb begrenzt der Wechselrichter den Eingangsstrom selbst. Welche Leistung Sie erhalten, können Sie einfach ausrechnen: Multiplizieren Sie die Lastspannung (V/Ump) mit dem Eingangsstrom-Limit des Wechselrichters, beispielsweise 31,5 Volt · 11,5 Ampera = 362,25 Watt. Einzige Bedingung: Der Wechselrichter darf keine Kurzschlussstromtests zur Modulprüfung durchführen. Weitere technische Details lesen Sie im Artikel "Mikrowechselrichter kaufen und einsetzen" ab Seite 48.

Da die meisten Solarinstallateure aufgrund des Ansturms weder ans Telefon gehen noch wE-Mails beantworten, sollten Sie eher Kleinanzeigenportale nach Angeboten in der Region absuchen – sofern Sie ein Fahrzeug und am besten einen Anhänger zur Verfügung haben, mit denen Sie die Module abholen können. Das ist in der Regel die günstigste und schnellste Option. Klappt das nicht, schauen Sie im Netz nach verfügbaren Modulen. Rechnen Sie aller-

dings damit, dass der Versand zusätzliche 50 bis 100 Euro kostet.

Mikrowechselrichter bestellen Sie am besten im Netz bei PV-Händlern. Zuletzt sind der Redaktion viele Betrüger auf den Privat-Marktplätzen aufgefallen, die Photovoltaikinteressierte um ihr Geld bringen möchten. Wenn Sie dort doch ein Angebot entdecken, fahren Sie besser zur Abholung hin. Ansonsten hilft nur, sich etwas Zeit zur Angebotsrecherche im Netz zu nehmen und einen Händler zu finden, der gerade etwas im Lager hat oder zeitnah an Vorrat liefert. Dabei kann sich auch der Blick in unsere Nachbarländer lohnen, etwa nach Österreich. Achten Sie dabei aber darauf, dass der Wechselrichter die VDE-AR-N 4105 einhält und importieren Sie keine billigen No-Name-Geräte aus Fernost.

## Doppelausrichtung

**?** Lohnt es sich, jeweils ein Panel nach Osten und eines nach Westen auszurichten oder sollten besser beide nach Süden zeigen? Geht das überhaupt ohne Probleme?

**!** Wenn Ihr Stromverbrauch vormittags und am späteren Nachmittag am größten ist, ist das eine gute Idee, da die Panels bei Ost-West-Ausrichtung in diesen Zeiträumen den größten Ertrag liefern. Das funktioniert problemlos, sofern Ihr Mikrowechselrichter zwei Eingänge mit getrennten Leistungspunktreglern (MPPT) hat. Details dazu erfahren Sie im Datenblatt des Wechselrichters.

## Wachsende Anlage

**?** Kann ich eine „wachsende“ Photovoltaikanlage mit immer mehr Balkonkraftwerken aufbauen?

**!** Nein. Technisch funktioniert das; viele Mikrowechselrichter haben sogar einen weiteren 230-Volt-Anschluss zur Kaskadierung. Jedoch sind pro Zähler nur 600 Watt zur Laienmeldung zugelassen. Installieren Sie mehrere 600-Watt-Balkonkraftwerke, genügt die einfache Anmeldung beim Netzbetreiber nicht mehr.

Dann müssen Sie die Anlage von einem Elektriker anschließen lassen, der muss mehr Papierkram ausfüllen und eine Abnahme durch den Netzbetreiber durchführen lassen – das Verfahren variiert von Netzbetreiber zu Netzbetreiber.

Gleichermaßen variiert das Verfahren bei Anlagenweiterungen: Unter Umständen müssen Sie Ihrem Netzbetreiber nur mitteilen, dass ein weiterer Mikrowechselrichter mit etwa zwei Modulen dazugekommen ist. Andere Netzbetreiber wollen eine erneute Komplettabnahme.

## Montageort

**?** Ist es besser, den Mikrowechselrichter ins Haus zu holen und lange Gleichspannungskabel zu ziehen oder hält er dem Wetter stand?

**!** Mikrowechselrichter sind dafür gebaut, direkt hinter dem Solarpanel montiert zu werden und sind somit allwettertauglich. Üblich ist der IP-Schutzgrad 67 – also Staubdichtigkeit und Schutz gegen zeitweiliges Untertauchen.

Mit Blick auf die Kühlung ist es sogar sinnvoller, den Mikrowechselrichter außen zu montieren. Ein Großteil der Geräte ist passiv gekühlt und profitiert von den natürlichen Luftströmungen im Außenbereich. Direkte Sonneneinstrahlung ist indes störend, denn so heizt sich der Wechselrichter so weit auf, dass er drosselt oder ganz abschaltet. Gibt es keine Option, ihn außen im Schatten zu montieren, holen Sie ihn besser ins Haus.

## Mehr als 600 Watt?

**?** Wechselrichter mit einer größeren Maximalleistung als 600 Watt sind zum Teil billiger als welche mit weniger Leistung. Darf ich die auch als Balkonkraftwerk betreiben?

**!** Ja, aber: Diese Wechselrichter überschreiten die in der VDE-Norm (VDE-AR-N 4105) gesetzte Gren-

Bild: Elisabeth Merkert



Besitzt der Wechselrichter getrennte Leistungspunktschalter für die einzelnen Anschlüsse, können Sie Ihre Photovoltaikmodule unterschiedlich ausrichten, ohne dass dadurch Leistung verloren geht. Diese Süd-Ost-Aufstellung nimmt so viel Morgen- und Mittagssonne mit.

Mikrowechselrichter gibt es auch mit mehr als 600 Watt Ausgangsleistung und für mehr als zwei Solarmodule, das erleichtert auch das Bauen größerer Photovoltaikanlagen. Der Hoymiles HMT-2250-6T im Bild ist ein dreiphasiger Wechselrichter für sechs Panels; er liefert 2250 Watt Wechselspannungsleistung. Solche Installationen müssen jedoch angemeldet und vom Elektriker abgenommen werden.



ze von 600 Watt für den Laienanschluss. Sie müssen also einen Elektriker beauftragen, die Anlage in Betrieb zu nehmen, und unter Umständen das erweiterte Verfahren für große Photovoltaikanlagen durchlaufen. Informieren Sie sich am besten vor dem Kauf über das Verfahren beim Netzbetreiber.

## Aufständерung

**?** Auf dem Flachdach meiner Garage wäre Platz für eine kleine Solaranlage. Wie stark sollte ich die Module anwinkeln und welche Unterkonstruktion ist dafür empfehlenswert?

**!** In Mitteleuropa liegt der optimale Winkel für Photovoltaikmodule bei 30 bis 45 Grad; auch bei Abweichungen von ± 10 Grad sind die Einbußen noch relativ gering. Selbst eine Installation im ungünstigen Winkel – etwa an einer Wand (90 Grad) – kann sich noch lohnen, wenn die Kosten einer angewinkelten Halterung nicht durch den gesteigerten Ertrag ausgeglichen werden.

Photovoltaik-Plastikwannen waren lange eine günstige Option, um Solarmodule ohne Dachverschraubung aufzuständern: Die Wanne wird etwa mit Gehwegplatten beschwert, anschließend das Solarmodul mit Schienen montiert. Der typische Winkel beträgt zwischen 15 und 30 Grad. Seit dem Photovoltaikboom sind Wannen jedoch nur noch schlecht verfügbar. Bei unseren Recherchen für diese

FAQ entdeckten wir lediglich Angebote mit mehrmonatiger Lieferzeit. Dennoch kann es sich lohnen, die Umgebung auf Kleinanzeigenportalen nach solchen Aufständerungen abzusuchen, weil sie günstiger als Aluaufständerungen sind. Achten Sie dabei jedoch auf die maximale Modulbreite: Viele Wannen nehmen große Module (360+ Watt) aufgrund ihrer Breite nicht mehr auf.

Aluaufständerungen sind besser erhältlich – wobei wir damit drei bis vier Wochen Lieferzeit meinen und nicht vorkriegstypische fünf Werkstage. Sie bestehen aus handelsüblichem Aluminiumprofil, das auch bei Aufdachanlagen und in der Industrie zum Einsatz kommt. Komplettsets gibts im Netz mit nahezu sämtlichem Montagematerial; pro aufzuständerndem Modul fallen 90 bis 100 Euro an. Aufgrund variierender Modulhöhen muss man die Modul- und Endklemmen meist separat bestellen. Gleiches gilt für die Unterlage; Aluprofile sind in der Regel scharfkantig und sollten somit nicht direkt auf das Dach gestellt werden.

## PV ohne Dach?

**?** Muss unter Solarmodulen immer ein dichtes Dach sein?

**!** Nein. Die Module können auch auf einer Profilkonstruktion liegen, ohne dass ein Dach darunter ist. Die Unterkonstruktion muss nur die Wind- und Schneelasten aushalten. Sie können beispielsweise einen Teil der Terrasse mit Solarpaneelen überdachen. Unter den Spalten zwischen den Paneelen können Sie dann mit einer U-förmigen Aluleiste das Wasser ableiten, das durch den Zwischenraum tropft. Auch für solche Installationen gibt es fertige Konstruktionen.

## Erlaubnis vom Vermieter

**?** Muss ich vorher mit meinem Vermieter sprechen und kann er mir die Montage des Balkonkraftwerks untersagen?

**!** Sofern Ihnen unspezifisch – also ohne Einschränkung auf etwa Blumenkörbe – die Montage von Gegenständen am Geländer erlaubt ist, dürfen Sie erst einmal davon ausgehen, keine weitere Erlaubnis des Vermieters zu benötigen. Sind jedoch bauliche Maßnahmen erforderlich, beispielsweise Löcher in der Wand für Halterungen, ist in der Regel eine Erlaubnis nötig.



**Wer ein freies Dach zur Verfügung hat, kann eine 600-Watt-Anlage auch dort installieren – mit dem gleichen Material wie für große Anlagen. Dachhaken und Montagematerial gibt es im Onlinehandel und bei lokalen Händlern.**



**Wer seine Photovoltaik-Aufständerung nicht selber konstruieren möchte, kann sie im Netz bestellen. Da die Modulhöhe variiert, fehlen bei solchen Sets jedoch meist die Modulklemmen. Der Wechselrichter passt ebenso ans Aluprofil; dafür sind zwei M8-Schrauben mit Unterlegscheiben und Nutensteinen nötig.**

Nichtsdestotrotz fördern Sie das gegenseitige Vertrauen, wenn Sie vorab mit Ihrem Vermieter über Ihren Plan sprechen beziehungsweise ihn darüber in Kenntnis setzen. Dabei sollten Sie auch herausstellen, dass Sie eine normgerechte und sicher montierte Installation planen.

### Versicherungsfrage

**?** Ich habe gehört, dass Balkonkraftwerke nicht von Hausratversicherungen abgedeckt werden und sogar Feuerversicherungen ungültig machen können. Stimmt das?

**!** Die bisher durch die Redaktion geprüften Versicherungsverträge schlossen Balkonkraftwerke nicht explizit aus. Dennoch sind Versicherungsleistungen immer vom jeweils abgeschlossenen Vertrag abhängig; Vertragsbedingungen variieren selbst bei derselben Versicherung öfter. Eine pauschale Antwort können wir somit nicht geben; Sie müssen Ihre Vertragsbedingungen prüfen und im Zweifel bei Ihrer Versicherung anfragen.

### Formularmissverständnis

**?** Mein Netzbetreiber verlangt ein sehr umfangreiches Formular zur Anmeldung meines Balkonkraftwerks mit Fragen, die ich gar nicht beantworten kann. Was kann ich machen?

**!** Die meisten Netzbetreiber bieten ein vereinfachtes Formular zum Anmelden von steckerfertigen Photovoltaikanlagen. Sofern Ihnen das Dokument nach einer Anfrage zugesandt wurde, ist es vielleicht zu einem Missverständnis gekommen und Sie haben das Dokument für große Anlagen erhalten. Ansonsten prüfen Sie erneut die auf der Seite Ihres Netzbetreibers verfügbaren Dokumente; unter Umständen haben Sie sich bei der Auswahl geirrt. Fehlt das Formular auf der Seite, fragen Sie es beim Netzbetreiber an.

### Leitungsschutzschalter

**?** Muss ich zwingend den Sicherungsautomaten tauschen, wenn ich ein Balkonkraftwerk anschließe?

**!** Vorschrift ist das nicht. Jedoch empfehlen auch wir eine genaue Prüfung der elektrischen Sicherheit vor dem Anschließen einer Photovoltaikanlage. Gerade wenn noch weitere Steckdosen im selben Sicherungskreis angeschlossen sind, erhöht ein kleinerer Leitungsschutzschalter mit 13 oder 10 Ampere die Sicherheit.

Der Hintergrund: Kommt es während strahlendem Sonnenschein zu Überlast durch ein anderes Gerät, das zusammen mit dem Balkonkraftwerk an einem Leitungsschutzschalter hängt, muss dieses 4280 Watt leiten, um in den Auslösbereich des Leitungsschalters zu kommen.

### Fehlerstromschutzschalter

**?** Meine Elektroverteilung hat keinen Fehlerstromschutzschalter. Kann ich dennoch ein Balkonkraftwerk in Betrieb nehmen?

**!** Ja, dieser ist nicht Vorschrift für die Installation. Jedoch sollten Sie bei Gelegenheit prüfen, ob Sie einen Fehlerstromschutzschalter nachrüsten lassen können. Er kann Ihnen (unabhängig vom Balkonkraftwerk) das Leben retten, wenn es zu einem Fehler im Stromkreis kommt.

### Saldierende Zähler

**?** Muss ich den Strom immer auf der Phase verbrauchen, an der das Kraftwerk hängt?

**!** In der Regel installieren Messstellenbetreiber saldierende Zähler. Das heißt, der Zähler zeich-

Live Data																																																																																						
HM-700	JM-700 (Inverter Serial Number: <span style="background-color: #f0f0f0;">XXXXXXXXXX</span> ) (Data Age: 1 seconds)																																																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Phase 1</th> </tr> <tr> <th>Property</th><th>Value</th><th>Unit</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Power</td><td>8.70</td><td>W</td></tr> <tr><td>Voltage</td><td>229.00</td><td>V</td></tr> <tr><td>Current</td><td>0.04</td><td>A</td></tr> <tr><td>Power DC</td><td>9.10</td><td>W</td></tr> <tr><td>YieldDay</td><td>1.902,00</td><td>Wh</td></tr> <tr><td>YieldTotal</td><td>28,29</td><td>kWh</td></tr> <tr><td>Frequency</td><td>50,02</td><td>Hz</td></tr> <tr><td>Temperature</td><td>20,80</td><td>°C</td></tr> <tr><td>ReactivePower</td><td>0,00</td><td>var</td></tr> <tr><td>Efficiency</td><td>95,60</td><td>%</td></tr> </tbody> </table>	Phase 1			Property	Value	Unit	Power	8.70	W	Voltage	229.00	V	Current	0.04	A	Power DC	9.10	W	YieldDay	1.902,00	Wh	YieldTotal	28,29	kWh	Frequency	50,02	Hz	Temperature	20,80	°C	ReactivePower	0,00	var	Efficiency	95,60	%	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">String 1</th> </tr> <tr> <th>Property</th><th>Value</th><th>Unit</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Power</td><td>4,50</td><td>W</td></tr> <tr><td>Voltage</td><td>25,60</td><td>V</td></tr> <tr><td>Current</td><td>0,18</td><td>A</td></tr> <tr><td>YieldDay</td><td>904,00</td><td>Wh</td></tr> <tr><td>YieldTotal</td><td>13,79</td><td>kWh</td></tr> <tr><td>Irradiation</td><td>0,00</td><td>%</td></tr> </tbody> </table>	String 1			Property	Value	Unit	Power	4,50	W	Voltage	25,60	V	Current	0,18	A	YieldDay	904,00	Wh	YieldTotal	13,79	kWh	Irradiation	0,00	%	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">String 2</th> </tr> <tr> <th>Property</th><th>Value</th><th>Unit</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Power</td><td>4,60</td><td>W</td></tr> <tr><td>Voltage</td><td>26,00</td><td>V</td></tr> <tr><td>Current</td><td>0,18</td><td>A</td></tr> <tr><td>YieldDay</td><td>998,00</td><td>Wh</td></tr> <tr><td>YieldTotal</td><td>14,50</td><td>kWh</td></tr> <tr><td>Irradiation</td><td>0,00</td><td>%</td></tr> </tbody> </table>	String 2			Property	Value	Unit	Power	4,60	W	Voltage	26,00	V	Current	0,18	A	YieldDay	998,00	Wh	YieldTotal	14,50	kWh	Irradiation	0,00	%
Phase 1																																																																																						
Property	Value	Unit																																																																																				
Power	8.70	W																																																																																				
Voltage	229.00	V																																																																																				
Current	0.04	A																																																																																				
Power DC	9.10	W																																																																																				
YieldDay	1.902,00	Wh																																																																																				
YieldTotal	28,29	kWh																																																																																				
Frequency	50,02	Hz																																																																																				
Temperature	20,80	°C																																																																																				
ReactivePower	0,00	var																																																																																				
Efficiency	95,60	%																																																																																				
String 1																																																																																						
Property	Value	Unit																																																																																				
Power	4,50	W																																																																																				
Voltage	25,60	V																																																																																				
Current	0,18	A																																																																																				
YieldDay	904,00	Wh																																																																																				
YieldTotal	13,79	kWh																																																																																				
Irradiation	0,00	%																																																																																				
String 2																																																																																						
Property	Value	Unit																																																																																				
Power	4,60	W																																																																																				
Voltage	26,00	V																																																																																				
Current	0,18	A																																																																																				
YieldDay	998,00	Wh																																																																																				
YieldTotal	14,50	kWh																																																																																				
Irradiation	0,00	%																																																																																				

**OpenDTU ist das Projekt eines gewieften Entwicklers, der das Hoymiles-Funkprotokoll zerlegt und in eine Firmware für den WLAN-Mikrocontroller ESP32 eingebaut hat. In Verbindung mit einem Nordic-Funkmodul kann man so die Messdaten von Hoymiles-Wechselrichtern auslesen – für 20 statt 100 Euro.**

net die Summe der Ströme der drei Phasen auf. Dann spielt es keine Rolle, ob Verbraucher und Balkonkraftwerk sich auf derselben Phase befinden.

Ob ein saldierender oder ein phasenbezogener Zähler installiert ist, lässt sich meist nicht einfach erkennen. Der Messstellenbetreiber kann aber Auskunft dazu geben.

## Insel-Balkonkraftwerk

**?** Kann ich das Balkonkraftwerk bei einem Stromausfall auch an einem Inselwechselrichter – etwa einem Solargenerator – betreiben?

**!** Nein. Das geht so lange gut, wie Sie den vom Balkonkraftwerk erzeugten Strom direkt verbrauchen. Entsteht ein Überschuss, landet dieser im Inselwechselrichter und beschädigt oder zerstört diesen möglicherweise. Wir haben dazu noch keine Versuche durchgeführt, jedoch im Netz mehrere Berichte von Defekten entdeckt.

Es mag Inselwechselrichter geben, die die überschüssige Leistung im Akku speichern oder verheizen können. Wenn dies jedoch nicht explizit im Datenblatt des Gerätes erwähnt ist, sollten Sie vom Experiment absehen. Lediglich wenn sichergestellt ist, dass die überschüssige Leistung ohne Unterbrechung abgenommen wird – etwa von einem Heizgerät – ist der Betrieb gefahrlos.

Eine weniger risikoreiche Ausnahme sind Netzwechselrichter, die mittels Messelement verhindern, dass überschüssige Energie ins Netz eingespeist wird – etwa um zu verhindern, dass die Kapazität eines angeschlossenen Akkus ins Netz verschenkt und nicht im Haus verbraucht wird. Sie drosseln die Leistung, sodass kein Überschuss entsteht. Jedoch kann es beim Abschalten großer Lasten trotzdem dazu kommen, dass der Netzwechselrichter aufgrund seiner Reaktionszeit einen Überschuss produziert und damit den Inselwechselrichter beschädigt.

## Einspeiseüberwachung

**?** Mikrowechselrichter mit WLAN sind teuer. Kann ich meine Einspeisung günstiger überwachen?

**!** Zwischenstecker für die Schukosteckdose sind die günstigsten Messgeräte. Dafür müssen Sie das Balkonkraftwerk jedoch per Schutzkontaktstecker anschließen.

Alternativ gibt es für Hoymiles-Wechselrichter das im Artikel „Wechselrichter per OpenDTU überwachen“ ab Seite 70 vorgestellte Projekt OpenDTU (siehe ct.de/wqdx). Ein gewiefter Entwickler hat das Funkprotokoll des Herstellers analysiert, dokumentiert und in die quellöffentliche Firmware für den WLAN-Mikrocontroller ESP32 integriert. Letzterer wird mit einem Funkchip des Herstellers NordicRF verbunden;

er kann darüber mit dem Wechselrichter kommunizieren. Die Hardware kostet circa 20 Euro und erfordert nur minimale Lötarbeit.

## 230-Volt-Fensterdurchführung

**?** Auf meinem Balkon gibt es keine Steckdose. Gibt es Kabel, die in die Gummidichtung eines Fensters passen?

**!** Nein. Denn selbst wenn die Leitung augenscheinlich passt, wird sie durch die stetige mechanische Belastung und die Reibung beim Nutzen des Fensters ihre Isolierung verlieren, sodass das Kupfer irgendwann offen liegt und eine Lebensgefahr darstellt.

Lassen Sie besser einen Elektriker prüfen, welche Wege es gibt, um eine Steckdose ordnungsgemäß zu installieren. Ein Balkonkraftwerk ist weder einen Krankenhausaufenthalt noch einen Elektrobrand wert.

## Anmeldung für Inselsysteme?

**?** Netzgebundene Balkonkraftwerke muss ich nur bis zu einer Gesamtleistung von 600 Watt nicht anmelden. Wie steht es mit Inselsystemen wie dem Bluetti AC200MAX oder der Nitecore NPS600?

**!** Die Obergrenzen für den anmeldefreien Betrieb dienen dazu, eine Überlastung des Stromnetzes und das technisch unsachgemäße Anschließen zu verhindern. Die um Batteriespeicher konstruierten

Inselsysteme haben keine Verbindung zum Stromnetz und fallen deswegen nicht unter die Regelung.

Beim Betrieb müssen Sie, wie bei allen Elektrogeräten, nur auf elektrische Sicherheit und Brandrisiken achten, damit niemand zu Schaden kommt. Die Systeme sind aber pro Kilowattstunde Speicherkapazität sehr teuer. Außerdem ist die Verkabelung aufwendig, weil Sie in der Wohnung fest installierte Steckdosen und Schalter nicht beziehungsweise nur mit komplizierter Umverdrahtung benutzen können.

## Gleichspannungsverbraucher

**?** Gibt es Verbraucher, die ich direkt an die Gleichspannung der Module anschließen kann? Ist das effizienter?

**!** Photovoltaikmodule direkt mit Verbrauchern zu verbinden ist aufgrund der nötigen Leistungspunktregelung nur selten sinnvoll. Es gibt jedoch Klimaanlagen, Warmwasserbereiter (Boiler) und Heizstäbe zum Einsetzen in große Warmwasserspeicher, die direkt mit der Gleichspannung der Photovoltaikmodule betrieben werden können.

Damit dürfte man etwa fünf bis zehn Prozent Effizienz gewinnen, da dies in etwa den Verlusten durch den Wechselrichter entspricht. Hinzu kommt, dass man sich die Kosten für den Solarwechselrichter, die wechselspannungsseitigen Elektroarbeiten und die Anmeldung spart. Nachteil ist, dass der produzierte Solarstrom nicht genutzt wird, solange Sie keine Wärme beziehungsweise Kühlung benötigen.

OpenDTU  
[ct.de/wqdx](http://ct.de/wqdx)

High  Way to Shell



Bild: Erstellt mit Midjourney durch Pina Merkert

Kommentar

# Balkonkraftwerke bis 3 kWp – das fehlt der Energiewende

**Kleine PV-Anlagen über 600 Watt sind aufgrund der Hürden unattraktiv. Eine erweiterte vereinfachte Anmeldung könnte das ändern.**

Von **Andrijan Möcker**

**B**alkonkraftwerke – kleine Photovoltaikanlagen bis 600 Watt – sind mit den Energiepreisseiterungen 2022 ein echtes Massenthema geworden. Alle dürfen die Sonnenkraftwerke selbst anschließen: Wer das Kleingeld, einen sonnigen Platz mit Steckdose in der Nähe und etwas handwerkliches Geschick besitzt, hat den Sonnenstromgenerator fix installiert.

Gerade Photovoltaik-Neulinge wundern sich oft darüber, wie einfach die Inbetriebnahme einer Anlage mit Mikrowechselrichter ist. Purzelt der Netzbezug auf dem Zähler, ist die Freude groß. Die voranschreitende Elektrifizierung bei Heizung und Warm-

wasser sowie das Interesse an E-Autos und Klimaanlagen lehren jedoch, wie wenig 600 Watt eigentlich sind – der Wunsch nach mehr ist oft schnell geboren.

Auf den ersten Blick sieht eine größere Kleinanlage im einstelligen Kilowattbereich ähnlich einfach aus wie ein Balkonkraftwerk: Mikrowechselrichter gibt es nicht nur mit 600 Watt, sondern mittlerweile auch mit vier oder sechs Eingängen für Photovoltaikmodule und über 2000 Watt Ausgangsleistung. Gerade auf Flachdächern oder im Garten genügen vier Hände, um die Panels mal eben aufzubauen, zu ballastieren und an den Wechselrichter zu stecken.

Klar, so große Erzeuger gehören nicht einfach in die Steckdose gesteckt, sondern vom Fachmann angeschlossen. Aber kann das nicht mal eben der Elektriker im Dorf erledigen und die Anlage beim Netzbetreiber melden? Pustekuchen!

## Energiewendebremsen

Ab 601 Watt geht bei den meisten Netzbetreibern das volle Programm los: Allerhand Formulare wollen ausgefüllt, technische Zeichnungen und Stromlaufpläne erstellt und Datenblätter zusammengesucht werden. Da ist für die meisten PV-Heimwerker Schluss; auch Elektriker ohne Photovoltaikerfahrung werden bei manchen Formularen und Zeichnungen die Stirn runzeln.

Die Details des Verfahrens variieren von Netzbetreiber zu Netzbetreiber. Viele wollen zudem einen PV-Fachbetrieb als technisch Verantwortlichen auf dem Formular sehen. Durch das große Interesse sind die jedoch kaum erreichbar und bei so kleinen Anlagen häufig unverhältnismäßig teuer. Einen Betrieb zu finden, der einen Eigenbau dokumentiert und anmeldet, ist derzeit schiere Glückssache.

Wie stark diese Hürden den Bau kleiner PV-Anlagen und damit auch die Energiewende bremsen, sieht man im Marktstammdatenregister der Bundesnetzagentur: Heute sind gerade einmal etwas über 133.000 Installationen mit 0,7 bis 3 Kilowatt Ausgangsleistung eingetragen. Dagegen stehen 2,4 Millionen Anlagen mit mehr als 3 Kilowatt.

Die hohen Kosten und der lästige Papierkram sorgen dafür, dass kleine Flächen für Photovoltaik über 600 Watt unattraktiv sind. Das ist wirklich bedauerlich, denn größere Mikrowechselrichter könnten Laien nach Vorbereitung durch einen Elektriker genauso leicht anschließen. Leider regt die Einschränkung auch zu Ressourcenverschwendungen an: In einschlägigen Facebookgruppen liest man von Leuten, die mehrere Kilowatt Panel-Leistung an 600-Watt-Wechselrichter anschließen; ein Onlineshop verkauft einen auf 600 Watt gedrosselten 1500-Watt-Mikrowechselrichter.

## Deutschland, vereinfache dich!

Eine erweiterte vereinfachte Anmeldung bis 3 Kilowatt könnte den Anstoß für eine neue Welle kleiner Photovoltaikanlagen geben, die nicht nur leicht zu installieren, sondern auch wirtschaftlich interessant für viele sind. Netzbetreiber könnten sich und die Betreiber entlasten, indem sie auf umfangreichen

Papierkram verzichten und sich mit einem Webformular, Wechselrichterprüfzertifikaten, einigen Fotos sowie einem Installationsnachweis eines eingetragenen Elektrikers zufriedengeben. Das ins Marktstammdatenregister zu integrieren, würde den Prozess zusätzlich beschleunigen, weil zig individuelle Formulare vermieden wären.

Natürlich darf die elektrische Sicherheit trotzdem nicht zu kurz kommen: Eine Absicherung mit Fehlerstromschutzschalter muss sein, ein Überspannungsschutz wäre sinnvoll. Beides kennt der typische Elektriker heute aber und könnte es leicht in einem vorgesetzten Kleinverteiler unterbringen – eine durchgehende Leitung von der Unterverteilung, etwa die der Außensteckdose oder Gartenhütte, zum Installationsort vorausgesetzt. Dazu könnte er die Anlage noch auf die Phase legen, die im Haus die größten Leistungsnehmer hat, wenn die eingesetzten Wechselrichter einphasig arbeiten. Und 3 Kilowatt als Grenze, weil das noch einige hundert Watt unterhalb der üblichen Absicherung für die typische 1,5-mm-Leitung liegt.

Um zu vermeiden, dass übermütige Heimwerker mit hunderten Volt Gleichspannung von Photovoltaik-Reihenschaltungen herumhantieren und diese vielleicht sogar ohne vernünftigen Generatoranschlusskasten und Trennschalter anstecken, darf die Diskussion um eine Eingrenzung auf Mikrowechselrichter nicht ausbleiben. Weitere Nachweise für die ordnungsgemäße Installation eines Stringwechselrichters wären eine Alternative. Selbst, wenn die Normungsgremien den Stringwechselrichter am Ende ausschließen würden, täte das der Sache keinen Abbruch, denn Mikrowechselrichter sind kaum teurer und nach den Elektrikerarbeiten nur noch Plug & Play.

## Wir können das

Damit die Energiewende klappt, benötigen wir jedes Watt an grüner elektrischer Leistung, das wir bekommen können – auch das von den kleineren Flächen. Nicht nur von großen Dächern, sondern auch von Garagen und Carports, aus Gärten und von deren Häuschen; von überall dort, wo Solarmodule Platz finden.

Und das geht! Nicht nur irgendwie, sondern sehr sicher und das mit günstiger Massenware. Wie zuvor bei Balkonkraftwerken müsste man nur an einigen Stellen einen Gang zurückschalten und sich auf Kompromisse einlassen. Nur so kann die Energiewende beschleunigt und erfolgreich werden. (amo) 

# Ertrag und Verbrauch messen und auswerten

Echtzeitauswertung der heimischen Sonnenstromproduktion bereitet nicht nur Freude über den Ertrag, sie hilft auch bei der Eigenverbrauchsmaximierung. Das beschleunigt die Amortisation. Von Messsteckdose bis Zwischenzähler: Diese Optionen haben Sie.

Von **Andrijan Möcker**



Bild: Thorsten Hübner

Ertrag und Verbrauch messen und auswerten	64
Wechselrichter per OpenDTU überwachen	70
PV-Dashboard für OpenDTU	76
Grundwissen: Elektrischer Strom	80
Batteriespeicher für stabile Netze	90
Für wen sich Smart Meter lohnen	98
Zwischenzähler zur Verbrauchsmessung	104
Strommesser im Vergleichstest	114

**D**amit sich Ihr Solarkraftwerk schnell bezahlt macht und dem Netzbetreiber nicht zu viel Strom schenkt, den Sie am Ende teuer wieder aus dem Netz einkaufen, sollten Sie Ihren Eigenverbrauch anpassen – also stromdurstige Geräte genau dann betreiben, wenn ihre Photovoltaikanlage am meisten produziert. Das geht am besten, wenn Sie Ihren Verbrauch, die Produktion des Balkonkraftwerks und den daraus resultierenden Überschuss genau kennen. Gleichzeitig erlaubt es Ihnen, den Tag zu feiern, an dem sich die Anlage amortisiert. Ab dann zapfen sie kostenlosen Sonnenstrom. Mit passender Software können Sie Schaltentscheidungen sogar automatisieren.

## Zähler auslesen

Um den eigenen Verbrauch und den Überschuss genau zu ermitteln, braucht man eine Messmöglichkeit am Netzübergang, also am Stromzähler. Interessiert Sie ausschließlich die Produktion Ihres Balkonkraftwerks, können Sie im Abschnitt „Integrierte Messeinrichtungen“ weiterlesen.

Besitzen Sie bereits einen digitalen Stromzähler statt eines (mechanischen) Ferrariszählers mit Rücklaufsperrre, besteht die Chance, dass das Auslesen sehr einfach ist: Viele dieser Zähler haben eine DIN-EN-62056-21-Schnittstelle – eine serielle Schnittstelle, die mit Infrarotlicht arbeitet; sie besitzt in der Regel einen Metallring, sodass magnetische Leseköpfe daran haften. Erkennen kann man sie meist an der Beschriftung „Info Dss“ (Info Datenschnittstelle) und zwei nebeneinander sitzenden Öffnungen. Bei vielen Zählern ist sie bereits aktiv und wirkt in kurzen Abständen den Zählerstand aus.

Um die aktuelle Wirkleistung zu erhalten, benötigt man bei nahezu allen Zählern eine PIN – diese erhält man vom Netzbetreiber entweder über ein Webformular oder eine formlose E-Mail mit Adresse und Zählernummer. Je nach Zähler muss man dann mit der PIN im Menü die erweiterten Informationen aktivieren oder die PIN deaktivieren, um das erweiterte Datenpaket mit der Wirkleistung zu erhalten. Meist geben es die Zähler im Ein- bis Zwei-Sekunden-Takt aus. Genauere Informationen finden Sie auf der Seite Ihres Messstellenbetreibers und in der Bedienungsanleitung Ihres Zählers.

Um die Datenpakete der Infrarotschnittstelle in einen Rechner zu befördern, benötigen Sie einen passenden Adapter – auch Lesekopf genannt. Fertige Produkte sind noch rar: Powerfox bietet den WLAN-fähigen Poweropti mit cloudbasierter Smartphone-

App für 90 Euro; von Alpha-Omega gibt es den LoRa-WAN-Adapter Klax, der in der IoT-Plattform Datacake integriert ist, allerdings nur alle paar Minuten sendet – er kostet 150 Euro.

Große Auswahl haben Sie, wenn Sie zu mehr als zu einer App-Installation bereit sind: Es gibt USB-Adapter, UART-Adapter mit Lötkontakten und WLAN-Leseköpfe. Viele herstellerunabhängige Smart-Home-Zentralen unterstützen gängige Datenformate bereits und nehmen diese an seriellen Schnittstellen entgegen. Los gehts ab etwa 15 Euro für UART-Adapter; die Adapter kommen entweder mit Lötkontakten an der Platine oder offenen Kabelenden und arbeiten mit 3,3 oder (seltener) 5 Volt. Solange der Ausgangspegel 3,3 Volt nicht übersteigt, kann man sie direkt an günstige Mini-Rechner beziehungsweise Mikrocontroller wie den Raspberry Pi oder den ESP8266 anschließen. Wer sowieso plant, einen Raspberry Pi im Hutschienengehäuse in den Zählerschrank zu bringen, kann die Zählerschnittstelle kostengünstig direkt über die Pinleiste anklammern.

Fehlt der Lötkolben daheim, besorgt man sich ab etwa 22 Euro eine USB-Variante. Sie simuliert eine serielle Schnittstelle, die mit nahezu jedem Betriebssystem anstandslos zusammenspielt. Das ergibt auch Sinn, wenn bereits ein Server irgendwo im Schrank steht und Smart-Home-Aufgaben erledigt. Über USB-RJ45-Adapter verlängert man die Zuleitung



**Der rund 35 Euro teure Hichi-WLAN-Lesekopf besteht aus einem ESP8266 mit der Open-Source-Firmware Tasmota und einer Adapterplatine für Infrarot. Er wird magnetisch auf die bei vielen Zählern vorhandene Info-Schnittstelle gesetzt und per Micro-USB mit Spannung versorgt.**

wahlweise um bis zu 50 Meter und spart sich so einen weiteren Verbraucher und ein weiteres System, das gewartet werden will.

Besonders praktisch ist der Lesekopf des Unternehmers Hicham Belmadani (bei eBay: hicbelm-8): Er hat eine Infrarot-Adapterplatine konstruiert, die die ESP8266-Variante ESP01s aufnimmt und per Micro-USB mit Spannung versorgt wird. Für rund 33 Euro bekommt man das WLAN-fähige Komplett paket mit vorinstallierter Open-Source-Firmware Tasmota. Sie spannt in der Werkskonfiguration ein eigenes WLAN auf und muss per Weboberfläche mit dem heimischen Funknetz bekannt gemacht werden. Anschließend recherchiert man im Netz nach dem passenden Skript für den Stromzählertyp. Damit zeigt Tasmota die Leistungsdaten auf der Hauptseite an und überträgt diese auf Wunsch auch über das Telemetrieprotokoll MQTT [1] als JSON. Beides können viele herstellerunabhängige Smart-Home-Zentralen verarbeiten.

## Zwischenzähler

Ist noch kein digitaler Zähler eingebaut, können Sie beim Messstellenbetreiber um eine Installation bitten beziehungsweise fragen, für wann dieser eine Installation plant. Die durch den Messstellenbetreiber angestoßene Installation ist in der Regel kostenlos. Sind Sie mit dem vorhandenen Zähler zufrieden, können Sie auch einen Zwischen- oder Wandlerzähler installieren – oder einbauen lassen, wenn Sie keine Elektrofachkenntnisse haben.

Wandlerzähler nutzen ums Kabel geklemmte Wandlerspulen, die das am stromführenden Kabel entstehende Magnetfeld in eine Spannung beziehungsweise einen Strom konvertieren, der wiederum vom Wandlerzähler gemessen wird. Sie kommen oft zum Einsatz, wenn hohe Ströme von über 100 Ampere gemessen werden sollen, sind aber auch für unkomplizierte Zwischenmessungen eine Option: Shelly bietet den rund 120 Euro teuren 3EM an, einen Messwandlerzähler mit WLAN und 50- oder 120-Ampere-Messwandlern im Format eines Sicherungsautomaten (eine Teilungseinheit). Er hat ein Webinterface und spricht auch MQTT.

Kleinere Ströme bis 65 Ampere – eine typische Anschlussgröße für ein Ein- bis Zweifamilienhaus – messen digitale Zwischenzähler direkt. Sie müssen jedoch zwischen dem offiziellen Stromzähler und den Verbrauchern sitzen. Deshalb ist die Installation etwas aufwendiger. Zwischenzähler mit WLAN sind selten; etabliert ist das zweidrahtige RS485 (serielle



**Digitale Stromzähler zum einfachen Installieren auf der Hutschiene gibt es etwa von Eastron. Sie sind praktisch, wenn der Zähler des Messstellenbetreibers keine Schnittstelle hat und eignen sich auch bei festverdrahteten Photovoltaikanlagen. Auslesen kann man sie meist per Modbus.**

Schnittstelle für lange Kabel) mit Modbus-Protokoll aufsatz, das man etwa per USB-Adapter an einen (Raspi-)Server anschließen kann. Auch einige herstellerunabhängige Smart-Home-Zentralen wie Home Assistant, Node-Red oder openHAB sprechen Modbus und liefern dazu gute Dokumentationen.

Unter anderem Eastron und Wago liefern Zwischenzähler mit Modbus-Schnittstelle ab etwa 60 Euro. Wer für die Solaranlage sowieso in die Unter verteilung eingreift, kann auch gleich einen kleineren Zwischenzähler für den Solarstrom installieren: Eastron etwa hat auch kleine einphasige Zähler wie den SDM120 im Sortiment. Im Artikel „Zwischenzähler zur Verbrauchsmessung“ ab Seite 104 stellen wir Ihnen eine Auswahl unterschiedlicher Leistungsmessgeräte für die Hutschiene vor.

## Integrierte Messeinrichtungen

Nahezu alle Hersteller von Wechselrichtern bieten Modelle mit integrierter Messeinrichtung an. Sie sind der einfachste Weg, um an die Leistungsdaten der Photovoltaikanlage zu kommen. In unserer Marktübersicht im Artikel „Mikrowechselrichter kaufen und einsetzen“ ab Seite 48 haben wir auch die jeweils mitgelieferten Monitoringfunktionen mit angegeben.

Mikrowechselrichter werden meist über Funk oder Powerline (Daten per Stromleitung) mit einer Bridge verbunden, die dann entweder selbst Monitoringfunktionen besitzt oder die Daten an die Herstellercloud weiterleitet. Integrierte WLAN-Schnittstellen sind seltener und kamen uns bislang nur bei den nahezu baugleichen Mikrowechselrichtern von Bosswerk und Revolt unter. Leider sind diese eigentlich praktischen Lösungen problematisch umgesetzt, wie im oben genannten Mikrowechselrichter-Artikel ausführlich erklärt.

Wer nur auf dem Smartphone die Leistungsdaten überwachen will, dürfte mit den Apps der Hersteller auskommen. Wer die Daten aber in sein Smart-Home einbinden und damit Schaltentscheidungen treffen möchte, sollte genau darauf achten, ob der Hersteller eine offene und dokumentierte Anwendungsschnittstelle (API) bietet. Nicht alle Hersteller haben auf dem Schirm, dass einige ihrer Kunden mehr als schicke Diagramme wollen und so scheitert das Integrationsprojekt am Ende mangels dokumentierter Schnittstelle.

## Messsteckdosen

Wer sowieso plant, sich der Norm zu widersetzen und das Balkonkraftwerk per Schutzkontaktstecker statt per Einspeisesteckdose (Wieland RST20i) anzuschließen, kann den Ertrag auch einfach mit einem Schuko-Zwischenstecker erfassen. Jedoch messen nicht alle Energiekostenmessgeräte in diesem Spezialfall zuverlässig und genau.

Wer eine aktuelle Fritzbox mit DECT einsetzt, hat es besonders einfach: AVMs Zwischenstecker Fritz!DECT 200 (Innenraum) und 210 (Außen, IP 44) messen Einspeisung wie Entnahme zuverlässig und AVM hat grundlegende Auswertungsfunktionen wie Diagramme in FritzOS integriert. Auch in einigen Smart-Home-Zentralen findet man fertige Plugins für AVMs Messadapter, die die Daten dann von der Fritzbox abrufen. Voraussetzung ist allerdings, dass die DECT-Basis der Fritzbox bis zum Installationsort der Steckdose funkt – das prüft man vorab einfach mit einem DECT-Telefon. Die FritzDECT 200 kostet rund 60 Euro, die FritzDECT 210 zwischen 60 und 80 Euro.

Eine Open-Source-Messsteckdose mit WLAN bekommt man von Delock: Die 11827 liefert der Hersteller mit der quelloffenen ESP8266-Firmware Tasmota aus. Sie spricht somit das Telemetrieprotokoll MQTT und kann darüber in viele Smart-Home-Zentralen integriert werden. Manko: TLS für verschlüsseltes MQTT findet aufgrund des begrenzten Speichers des ESP8266 keinen Platz und das Gehäuse erfüllt keine Schutzklasse. Der Preis von rund 20 Euro ist jedoch unschlagbar und in unseren Versuchen auf dem Verlagsdach bewies die 11827, dass sie die Einspeisung recht genau misst.

Wer es lieber professionell und mit physischem Netzwerkanschluss möchte, findet bei Gude – einem Hersteller von IP-Mess- und Schaltprodukten – die 1105-1 und 1105-2. Sie unterscheiden sich nur beim Wechselspannungsanschluss: Erstere ist die Schuko-Variante, Letztere die mit C13-/C14-Anschluss (Kalt-



**Die Solarman-App, die bei WLAN-fähigen Wechselrichtern von Pearl, Bosswerk & Co. zum Einsatz kommt, liefert unkompliziert Leistungswerte. Das nicht änderbare WLAN-Passwort ist indes kritisch und man muss tricksen, um die Daten ins Smart Home einzubinden.**



**Delocks 11827 ist einer der wenigen WLAN-Messwischenschenstecker, der mit vorinstallierter Open-Source-Firmware ohne Cloud kommt – in diesem Fall Tasmota. Seine Einspeisemessfähigkeit hat er auf dem Heise-Dach bereits bewiesen.**

gerätebuchse und -stecker). Beide haben je einen Fast-Ethernet-Anschluss und liefern ihre Messdaten per Webinterface, REST API, SNMP, Modbus TCP und MQTT aus. Außerdem besitzen sie einen weiteren Port für separat erhältliche Atmosphärensensoren. Eine IP-Schutzklasse erfüllt das Gehäuse aber nicht. Der Preis ist höher als bei den vorherigen Steckdosen: Gude verlangt rund 250 Euro. Zwar wurde bei unserem Test in c't 10/2019 nicht geprüft, ob die 1105-Serie auch Einspeisung korrekt messen kann, der Hersteller sagte jedoch auf Anfrage, dass man dies bereits erfolgreich getestet habe [1].

Energiekostenmessgeräte lohnen sich außerdem auch, um die Leistungsaufnahme einzelner Geräte im Haus zu beobachten. Einen ausführlichen Test dazu lesen Sie im Artikel „Strommesser im Vergleichstest“ ab Seite 114.

## Software

Wer seine Schaltentscheidungen nicht nur manuell und grob nach Gefühl, sondern automatisiert nach tatsächlichen Messwerten und der Wettervorhersage treffen möchte, muss zwangsläufig weitere Software einsetzen; das können reine Messsysteme in der Regel nicht. Zwar gibt es auch fertige Komplettprodukte, dabei muss aber meist alles aus einer Hand stammen. Wer herstellerunabhängig Hardware zusammenbringen und darüber schalten möchte,

benötigt eine herstellerunabhängige Smart-Home-Zentrale: Ob nun FHEM, Home Assistant, openHAB, Domoticz oder Node-Red – da scheiden sich die Geister. Am Ende hilft nur: Alles ausprobieren und den Liebling behalten.

In der Redaktion ist die Automationssoftware Node-Red sehr beliebt: Sie hat eine Flussdiagrammbasierte Programmieroberfläche; Schnittstellen zu vielen anderen Systemen kann man im Handumdrehen nachinstallieren und einfache Visualisierung ist auch integriert. Node-Red ist besonders interessant für alle, die wenig bis gar nicht programmieren möchten und mit grafischen Oberflächen besser klarkommen. Mit ihr kann man Schaltentscheidungen also leicht zusammenklicken und Hardware aller Couleur „verheiraten“. Node-Red behandelt zudem alles, was zwischen den Nodes weitergereicht wird, als Objekt. Auf diese Weise kann man unkompliziert zwischen Schnittstellen übersetzen – etwa zwischen der Anwendungsschnittstelle eines Wechselrichterherstellers und einer influx-Datenbank, die man wiederum mit Grafana für Datenvisualisierung einsetzt.

In den beiden folgenden Artikeln stellen wir Ihnen das OpenDTU-Projekt vor. Zunächst erfahren Sie, wie man die Daten der Hoymiles-Wechselrichter ohne die teuren DTU-Gateways per Funk auslesen kann. Der zweite Artikel erklärt, wie Sie die MQTT-Daten in einem Node-Red-Dashboard visualisieren. (amo) **ct**

## Literatur

- [1] Andrijan Möcker, **Gude Expert Power Control 1105, LAN-Messadapter für Profis**, c't 10/2019, S. 86

# Die volle Ladung



**c't E-AUTOS** Richtig konfigurieren · kaufen · laden

**Fahrberichte und Tests**

BMW i4: Der rasante Kurvenkönig  
VW ID.5: Baustelle Software abgearbeitet?  
Tesla Model Y: Hoffnungsträger mit Schwächen

**Was beim Kauf wichtig ist**

Leitfaden zum Kauf: Warten oder nicht?  
Kostenvergleich: Strom vs. Sprit  
E-Auto-Förderung: Kauf, Steuer, THG-Quote

**Ratgeber: Optimales Laden**

Wie die Batterie besonders lange hält  
Das Elektroauto als Hausspeicher verwenden  
Überschussladen - Strom aus Photovoltaik nutzen

**aktuelle E-Autos leisten**

Wettrennen Tesla gegen Kia · E-Auto zieht E-Wohnwagen  
- die Kunst des Weglassens

**Was aktuelle E-Autos leisten**

Wettrennen Tesla gegen Kia · E-Auto zieht E-Wohnwagen  
Dacia Spring - die Kunst des Weglassens

**EBOOK ZUM SONDERHEFT**

Auch als Heft + PDF  
mit 29 % Rabatt

Dieses c't-Sonderheft räumt auf mit Mythen rund ums E-Auto und schafft einen realen Überblick zu Vor- und Nachteilen der E-Mobilität

- Leitfaden zum Kauf eines E-Autos
- Kostenvergleich: Strom vs. Sprit
- Fahrberichte und Tests
- Den Akku richtig nutzen und laden
- Überschussladen – Strom aus Photovoltaik nutzen
- Auch als Bundle mit Buch „E-Autos einfach erklärt“ vom dpunkt-Verlag erhältlich!

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



[shop.heise.de/ct-eautos22](http://shop.heise.de/ct-eautos22)

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

 **heise Shop**

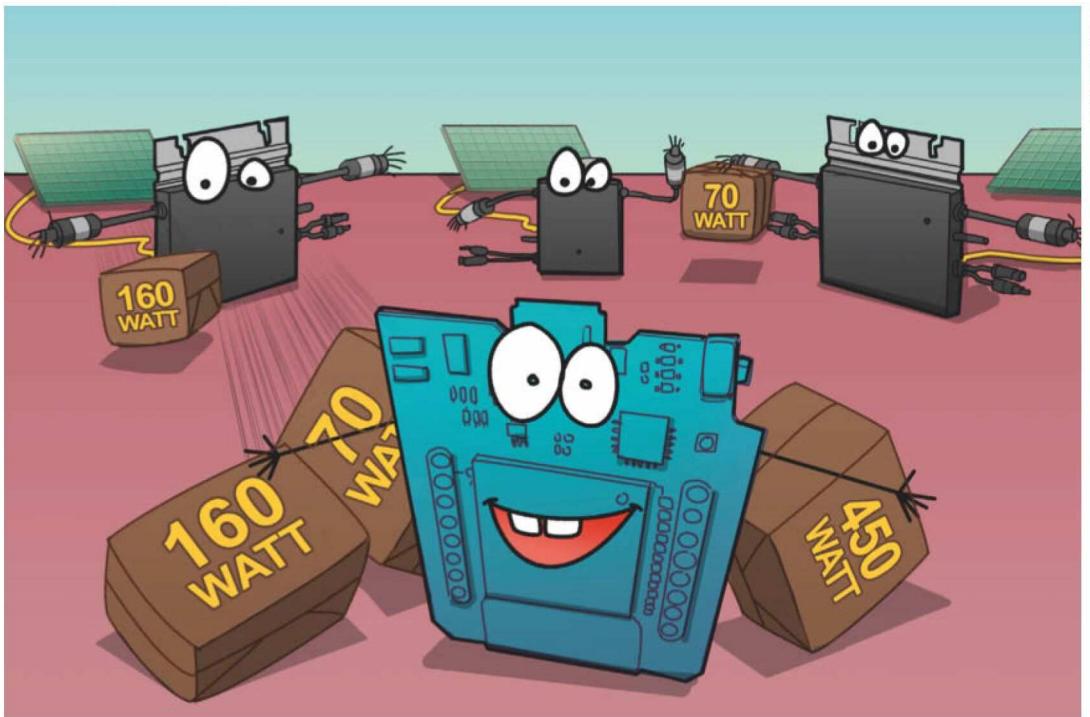


Bild: Thorsten Hübner

# Wechselrichter per OpenDTU überwachen

Wer die integrierte Ertragsüberwachung von Hoymiles-Wechselrichtern einsetzen möchte, muss 160 bis 300 Euro extra für die DTU getauften Gateways ausgeben. Günstiger und ohne Cloud gehts mit der Bastelalternative OpenDTU.

Von **Andrijan Möcker**

Eine kleine Photovoltaikanlage zu verdrahten und in Betrieb zu nehmen, kann schon viel Spaß machen. Doch die echte Freude kommt erst auf, wenn die Leistungswerte auf einem Bildschirm landen. Deshalb gehören nicht nur Panels und Wechselrichter zu einer PV-Installation, sondern auch die Ertragsüberwachung. Wer seine Anlage

normgerecht fest verdrahten oder mit Wieland-Schraubstecker anschließen möchte, kann aber nicht einfach eine günstige Schuko-Messsteckdose (siehe Artikel „Strommesser im Vergleichstest“ auf S. 114) verwenden.

Die meisten Hersteller bieten für ihre Mikrowechselrichter eine Monitoring-Anwendung. Auch

Hoymiles hat seine Wechselrichter der HM-Serie mit einer selbstgestrickten 2,4-GHz-Funkschnittstelle ausgestattet und verlangt für das DTU Lite genannte Gateway 160 bis 220 Euro. Möchte man mehr als vier Panels verwalten, muss man sogar das große DTU Pro für 250 bis 300 Euro beschaffen.

Eine breite Entwicklergemeinschaft analysierte das Hoymiles-Protokoll, woraus dann „OpenDTU“ entstand. Es läuft auf dem günstigen WLAN-Mikrocontroller ESP32 und benötigt für die Kommunikation mit dem Wechselrichter lediglich ein direkt anschließendes Nordic-Funkmodul. Im Idealfall bestellt man für Photovoltaik-Freunde mit und zahlt so nur 10 bis 20 Euro pro ESP32-Funkmodul-Kombination, da größere Sets mit etwa drei oder fünf Chips günstiger sind.

OpenDTU richtet sich primär an Selbermacher; es liefert sowohl ein einfaches Webinterface als auch das Telemetrieprotokoll MQTT, sodass man die Daten in beliebige MQTT- und JSON-fähige Smart-Home-Steuerungen integrieren kann, wie im nachfolgenden Artikel „PV-Dashboard für OpenDTU“ am Beispiel Node-Red beschrieben. Programmier- oder Kommandozeilenkenntnisse sind für OpenDTU nicht nötig. Aktuell spricht die Firmware mit Wechselrichtern der HM-Serie bis 1500 Watt; andere Serien, etwa

die HMT, nutzen ein anderes Funkmodul und sind (noch) nicht kompatibel.

## Werkzeug & Einkauf

Der verwendete ESP32-WLAN-Mikrocontroller ist in mehreren Varianten auf fertigen Bastelplatten erhältlich: Wollen Sie völlig ohne Werkzeug auskommen, bestellen Sie eine mit vorgelöteten Pins – etwa das NodeMCU ESP32. Dann genügen Weiblich-Weiblich-Jumper-Kabel, um das Nordic-Funkmodul mit dem ESP32 zu verbinden.

Kompaktere Varianten wie der ESP32 D1 Mini kommen normalerweise nicht mit vorgelöteten Pins, sodass der Einsatz eines Lötkolbens unerlässlich ist. Wollen Sie die Jumperkabel direkt anlöten, benötigen Sie zudem eine feine Abisolierzange.

Wer sein Netzwerk lieber verkabelt mag, findet bei Olimex (EU, Bulgarien) außerdem ESP32-Platten mit Ethernetanschluss, sogar eine PoE-Variante existiert. Links zu den Platinchen finden Sie über ct.de/wpsc.

Der benötigte Nordic nRF24L01+ ist ebenfalls in mehreren Varianten erhältlich: eine auf kleiner Platine mit Leiterbahnantenne und eine mit SMA-Anschluss und externer Antenne. Zweitere ergibt Sinn,

## Live Data

HM-700 (Inverter Serial Number: [REDACTED] (Data Age: 1 seconds))																																																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Phase 1</th> </tr> <tr> <th>Property</th> <th>Value</th> <th>Unit</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Power</td> <td>8.70</td> <td>W</td> </tr> <tr> <td>Voltage</td> <td>229.00</td> <td>V</td> </tr> <tr> <td>Current</td> <td>0.04</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>Power DC</td> <td>9.10</td> <td>W</td> </tr> <tr> <td>YieldDay</td> <td>1.902,00</td> <td>Wh</td> </tr> <tr> <td>YieldTotal</td> <td>28.29</td> <td>kWh</td> </tr> <tr> <td>Frequency</td> <td>50.02</td> <td>Hz</td> </tr> <tr> <td>Temperature</td> <td>20.80</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>ReactivePower</td> <td>0.00</td> <td>var</td> </tr> <tr> <td>Efficiency</td> <td>95,60</td> <td>%</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">String 1</th> </tr> <tr> <th>Property</th> <th>Value</th> <th>Unit</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Power</td> <td>4.50</td> <td>W</td> </tr> <tr> <td>Voltage</td> <td>25.60</td> <td>V</td> </tr> <tr> <td>Current</td> <td>0.18</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>YieldDay</td> <td>904.00</td> <td>Wh</td> </tr> <tr> <td>YieldTotal</td> <td>13.79</td> <td>kWh</td> </tr> <tr> <td>Irradiation</td> <td>0.00</td> <td>%</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">String 2</th> </tr> <tr> <th>Property</th> <th>Value</th> <th>Unit</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Power</td> <td>4.60</td> <td>W</td> </tr> <tr> <td>Voltage</td> <td>26.00</td> <td>V</td> </tr> <tr> <td>Current</td> <td>0.18</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>YieldDay</td> <td>998.00</td> <td>Wh</td> </tr> <tr> <td>YieldTotal</td> <td>14.50</td> <td>kWh</td> </tr> <tr> <td>Irradiation</td> <td>0.00</td> <td>%</td> </tr> </tbody> </table>			Phase 1			Property	Value	Unit	Power	8.70	W	Voltage	229.00	V	Current	0.04	A	Power DC	9.10	W	YieldDay	1.902,00	Wh	YieldTotal	28.29	kWh	Frequency	50.02	Hz	Temperature	20.80	°C	ReactivePower	0.00	var	Efficiency	95,60	%	String 1			Property	Value	Unit	Power	4.50	W	Voltage	25.60	V	Current	0.18	A	YieldDay	904.00	Wh	YieldTotal	13.79	kWh	Irradiation	0.00	%	String 2			Property	Value	Unit	Power	4.60	W	Voltage	26.00	V	Current	0.18	A	YieldDay	998.00	Wh	YieldTotal	14.50	kWh	Irradiation	0.00	%
Phase 1																																																																																						
Property	Value	Unit																																																																																				
Power	8.70	W																																																																																				
Voltage	229.00	V																																																																																				
Current	0.04	A																																																																																				
Power DC	9.10	W																																																																																				
YieldDay	1.902,00	Wh																																																																																				
YieldTotal	28.29	kWh																																																																																				
Frequency	50.02	Hz																																																																																				
Temperature	20.80	°C																																																																																				
ReactivePower	0.00	var																																																																																				
Efficiency	95,60	%																																																																																				
String 1																																																																																						
Property	Value	Unit																																																																																				
Power	4.50	W																																																																																				
Voltage	25.60	V																																																																																				
Current	0.18	A																																																																																				
YieldDay	904.00	Wh																																																																																				
YieldTotal	13.79	kWh																																																																																				
Irradiation	0.00	%																																																																																				
String 2																																																																																						
Property	Value	Unit																																																																																				
Power	4.60	W																																																																																				
Voltage	26.00	V																																																																																				
Current	0.18	A																																																																																				
YieldDay	998.00	Wh																																																																																				
YieldTotal	14.50	kWh																																																																																				
Irradiation	0.00	%																																																																																				

**Bis zu zehn Wechselrichter fragt Open-DTU per Funk ab. Das Webinterface läuft direkt auf dem ESP32, sodass die Firmware auch ganz ohne Smart-Home-Zentrale eine Hilfe ist – sofern Ihnen nackte Zahlen ohne Diagramme und andere grafische Schmankerl genügen.**



**Unser nackter Open-DTU-Prototyp fand im Experimentierschrank auf dem Dach des Verlags seinen Platz, in dem auch Balkonkraftwerke zum Test angeschlossen sind. Im Versuchsbetrieb mit unserem Hoymiles HM-700 lief die Firmware ohne Abstürze.**

wenn zwischen OpenDTU-Standort im Innenraum und dem Wechselrichter schirmende Wände oder größere Distanzen (30 Meter oder mehr) zu überbrücken sind. Im Zweifel nehmen Sie eine Platine mit Antennenanschluss. Obendrein müssen Sie beim Kauf auf das Plus in der Chipbezeichnung achten. Der nRF24L01 - ohne Plus - ist nicht OpenDTU-tauglich.

Davon abgesehen benötigen Sie einen Computer mit aktuellem Linux, macOS oder Windows, WLAN und einem USB-Port sowie ein Micro-USB-Kabel. Nach der Programmierung am Rechner schließt man den ESP32 an ein USB-Netzteil an, das mindestens 1 Ampere liefert.

## Installation

OpenDTU muss kompiliert und auf den ESP32 ge-flasht werden. Am einfachsten gelingt das aus der kostenlosen Entwicklungsumgebung Microsoft Visual Studio Code heraus mit der PlatformIO-Integration - ein Programmierwerkzeug, das hardwarenahe Programmierung erleichtert. Programmierkenntnisse sind nicht nötig, PlatformIO übernimmt sämtliche Schritte für Sie. Wir beschränken uns deshalb auf diesen Installationsweg; das Installieren per Kommandozeile ist im GitHub-Repository beschrieben (alle Softwarelinks unter [ct.de/wpsc](http://ct.de/wpsc)).

Installieren Sie zunächst Visual Studio Code auf Ihrem Computer; das Paket gibts auf der Downloadseite zu Visual Studio Code. Anschließend öffnen Sie

das Programm und wechseln links in das Erweiterungsmenü (Extensions). Bietet Ihnen Visual Studio Code das „German Language Pack for Visual Studio Code“ an, können Sie ablehnen; das ist optional. Tippen Sie „PlatformIO“ ins Suchfeld und installieren Sie die PlatformIO IDE. Das kann ein wenig dauern; den Installationsfortschritt können Sie in der blauen Leiste unten beobachten.

Die Versionsverwaltung git benötigen Sie ebenfalls, um den Quellcode für OpenDTU herunterzuladen; die Installationsdateien finden Sie auf der Downloadseite zu git. Nutzen Sie macOS oder eine Linux-Distribution, können Sie git auch über die Kommandozeile installieren: In macOS geht das bequem über den Paketmanager Homebrew [1] via `brew install git`, unter Linux mit dem jeweiligen Paketmanager, bei Debian-Derivaten also beispielsweise `apt install git`. Danach öffnen Sie Visual Studio Code wieder, rufen unter Windows und Linux mit dem Tastengriff Strg und , (Komma) die Einstellungen auf (Mac: Cmd plus Komma), suchen den Parameter „Git: Enabled“ und setzen den Haken.

Um den OpenDTU-Code herunterzuladen, drücken Sie Strg (Cmd)+Umschalt+P für die Befehlssuche, suchen nach `git clone` und bestätigen die Befehlauswahl mit Enter. Im nachfolgenden Feld tragen Sie <https://github.com/tbnobody/OpenDTU.git> ein, bestätigen (Enter) und wählen einen Zielordner. Nach dem Download fragt Sie Visual Studio Code, ob Sie das Projekt in einem neuen oder im bestehenden Fens-

ter öffnen wollen; in der Regel wollen Sie letzteres (Add to Workspace). PlatformIO fühlt sich durch die Datei platformio.ini im Ordner direkt als Compiler zuständig und fragt, ob Sie den Autoren vertrauen, was Sie bestätigen. Jetzt steht nur noch an, die Datei platformio.ini zu bearbeiten. Die Datei wird automatisch in einer neuen Registerkarte oben in Visual Studio Code geöffnet.

## Flashen

Da die optimalen GPIOs (General Purpose Input/Output, Mikrocontrolleranschlüsse, ausgeführt als Pins) für das nRF-Modul zwischen verschiedenen ESP32-Platinen variieren, haben die Entwickler direkt mehrere GPIO-Belegungen als Umgebungsvariablen in der platformio.ini hinterlegt. Der Parameter `default_envs` sagt dem Compiler, welche er wählen soll. Mit `generic` sind die im Repository gezeigten Pins gültig (siehe [ct.de/wpsc](#)). Zusätzlich gibt es die Olimex-Platinen (`olimex_esp32_poe` und `olimex_esp32_evb`) und den Wemos D1 Mini ESP32 (`d1_mini esp32`). Ersetzen Sie `generic` wenn nötig durch eine der Bezeichnungen.

Haben Sie ein anderes Board gekauft, können Sie die `build_flags` mit den GPIO-Definitionen aus einer anderen Variante kopieren, unter `[env:generic]` anfügen und entsprechend Ihres Platinchens ändern. Beispielsweise:

```
[env:generic]
board = esp32dev
monitor_port = COM4
upload_port = COM4
build_flags = ${env.build_flags}
-DHOYMILES_PIN_MISO=12
-DHOYMILES_PIN_MOSI=2
-DHOYMILES_PIN_SCLK=14
-DHOYMILES_PIN_IRQ=13
-DHOYMILES_PIN_CE=16
-DHOYMILES_PIN_CS=5
```

Vor dem Flashen muss nur noch der korrekte serielle Port in der platformio.ini eingetragen werden: Um den zu ermitteln, verbinden Sie den ESP32 per USB mit Ihrem Computer, öffnen dann unter Windows den Geräte-Manager und schauen unter Anschlüsse (COM & LPT) nach der Portnummer. In Linux und macOS öffnen Sie die Kommandozeile; Linuxer geben `ls /dev/tty*` ein, Apple-Nutzer `ls /dev/cu.*`. Gesucht wird `ttyUSBn` oder `ttyACMn` beziehungsweise `cu.usbserial-(Hardware-ID)`.

Haben Sie die korrekte Portnummer beziehungsweise Adresse ermittelt, tragen Sie sie in der platformio.ini ein. Scrollen Sie dazu bis zum korrekten `env`-Eintrag (`generic, olimex_...`) und ändern Sie `monitor_port` und `upload_port`. In macOS und Linux muss der vollständige Pfad eingetragen werden, also etwa `/dev/ttyUSB1`.

Um den Kompilier- und Flashprozess zu starten, klicken Sie unten in der blauen Leiste auf den Rechtspfeil. Der Prozess kann einige Minuten dauern, da PlatformIO unter Umständen erst zusätzliche Daten für den ESP32-Compiler sowie Bibliotheken herunterladen muss. Den Fortschritt können Sie unten in der Konsole beobachten.

Ist der Prozess abgeschlossen, entfernen Sie den ESP32 vom USB-Anschluss und beginnen damit, das Funkmodul anhand der GPIO-Definitionen in der platformio.ini anzuschließen. Achtung: Die Pin-Nummern auf der ESP-Platine entsprechen nicht zwangsläufig den GPIOs; Datenblätter liefert der Händler oder der Hersteller. Das nRF-Funkmodul ist oft unbeschriftet; Angebote enthalten aber meist eine Grafik, anhand derer die Belegung ersichtlich ist. Seien Sie besonders vorsichtig, wenn Sie den Spannungspin `Vcc` anschließen; er darf ausschließlich auf einen 3,3-Volt-Pin gesteckt werden. 5 Volt zerstören den Chip möglicherweise.

Ist alles zusammengesteckt, verbinden Sie das Konstrukt mit dem USB-Netzteil.

## Einrichtung

OpenDTU macht die Einrichtung leicht: Die Firmware startet - solange die Zugangsdaten zu einem WLAN fehlen, mit dem sie sich verbinden soll - einen WLAN-Access-Point, über den Sie das Webinterface erreichen. Suchen Sie das OpenDTU-WLAN und verbinden Sie sich mit dem Passwort „openDTU42“. Ignorieren Sie gegebenenfalls die Warnung, dass keine Internetverbindung möglich ist; die ist jetzt nicht wichtig.

Das Webinterface öffnen Sie anschließend mit einem beliebigen Browser über <http://192.168.4.1>. Über „Settings / Network“ erreichen Sie die WLAN-Einstellungen. Tragen Sie dort die SSID - also den Namen Ihres heimischen Funknetzes - und den Schlüssel ein. Optional passen Sie den Hostnamen an. Klicken Sie „Save“, verbindet sich OpenDTU mit Ihrem WLAN. Die neue IP-Adresse ermitteln Sie etwa über die Statusseite Ihres Routers oder mit einem beliebigen IP-Scanner; auf Smartphones gelingt das mit der kostenlosen Basisversion von Fing besonders einfach. Taucht das Gerät nicht auf, haben Sie



Bild: Janick Vöß

**Die Node-Red-Erweiterung „Node-Red-Dashboard“ erlaubt, Leistungswerte und andere Messdaten eines Balkonkraftwerks einfach zu visualisieren.**

sich möglicherweise vertippt. Suchen Sie dann erneut nach dem OpenDTU-WLAN und rufen Sie die Konfiguration wieder über <http://192.168.4.1> auf.

## Auswertung

Haben Sie die neue IP-Adresse entdeckt, geben Sie sie im Browser ein, um das Webinterface zu öffnen. Jetzt müssen Sie OpenDTU nur noch die Seriennummer des Wechselrichters mitteilen, damit es mit dem Wechselrichter kommunizieren kann: In „Settings/Inverter Settings“ tragen Sie diese in Serial ein und vergeben einen beliebigen Namen für das Gerät. Sie können danach bis zu neun weitere Wechselrichter hinzufügen.

Anschließend wechseln Sie in die Registerkarte „Live Data“. OpenDTU fängt sofort an, die Wechselrichter abzufragen und die Leistungsdaten sollten sofort auftauchen, sofern der Wechselrichter in Reichweite ist. Sehen Sie nichts, schauen Sie zunächst unter System/Info/Chip Status; steht er nicht auf „Connected“, kontrollieren Sie die Verbindung zum nRF-Funkmodul. Alternativ wechseln Sie in Settings/DTU Settings und setzen das Verstärkerlevel (PA Level) auf „Maximum“.

Sobald erste Werte in Live Data zu sehen sind, ist die Grundeinrichtung abgeschlossen. Das Webinterface aktualisiert die Werte, ohne dass Sie die Seite neu laden müssen. Genügt Ihnen die Aktualisierungsrate nicht, können Sie auch in den DTU Settings das Abfrageintervall herabsetzen. Kommen die Daten weiter selten, ist das Signal vom Wechselrichter wahrscheinlich schwach und Sie müssen das Konstrukt näher heranbewegen. Viele abzufragende Wechselrichter sorgen ebenso für höhere Latenz.

## Bunte Auswertung

Die einfache Auswertung auf der Live-Data-Seite dürfte jedem genügen, der einfach nur gelegentlich seine Gesamtersparnisse und den Amortisationsgrad des Balkonkraftwerks ausrechnen möchte. „YieldTotal“ zeigt die Produktion des Wechselrichters ab Inbetriebnahme an; der Wert ist persistent und bleibt auch bei abgeschaltetem Wechselrichter erhalten.

Wollen Sie es etwas schicker haben, kommt OpenDTUs MQTT-Integration ins Spiel: Über das Telemetrieprotokoll wirft die Firmware sowohl die Informationen von der Wechselspannungsseite als auch die der einzelnen Gleichspannungseingänge aus, sodass Sie sogar jedes einzelne Panel visualisieren können.

Ganz einfach und ohne komplizierte Datenbanken visualisiert man die Werte mit Node-Red-Dashboard. Wie das geht, erfahren Sie im folgenden Artikel „PV-Dashboard für OpenDTU“. (amo) **ct**



**Dieses schicke 3D-gedruckte Gehäuse nimmt den ESP32 und den Nordic-Funkchip auf. Einen Link zu den Druckdateien finden Sie unter [ct.de/wpsc](http://ct.de/wpsc).**

## Literatur

[1] Immo Junghärtchen, **App Store fürs Terminal**, Die Paketverwaltung Homebrew unter macOS einrichten und nutzen, c't 12/2020, S. 122

## Software und Platinen

[ct.de/wpsc](http://ct.de/wpsc)



09./11.05.



## IT-Security für alle

An zwei Nachmittagen werden allgemeinverständlich die Grundlagen der Sicherheit im Netz vermittelt. Außerdem gibt es praktische Tipps rund um Datensicherheit und -schutz im digitalen Raum, die einfach im Alltag umgesetzt werden können.

18.10.



## Einführung in den Kea DHCP Server

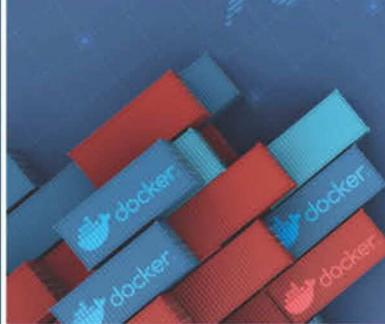
Der Workshop gibt eine vollständige Einführung in die neue Kea-DHCP-Software auf Unix- und Linux-Systemen. Sie lernen, wie man das Kea-DHCP-System installiert, konfiguriert und wartet.



20. – 21.11.

## Dienste mit SELinux absichern

SELinux einfach abzuschalten, wenn es Probleme gibt, ist üblich, aber unklug. Der zweitägige Workshop zeigt Ihnen, wie man das System stattdessen so nutzt, dass alles besser abgesichert ist und trotzdem funktioniert.



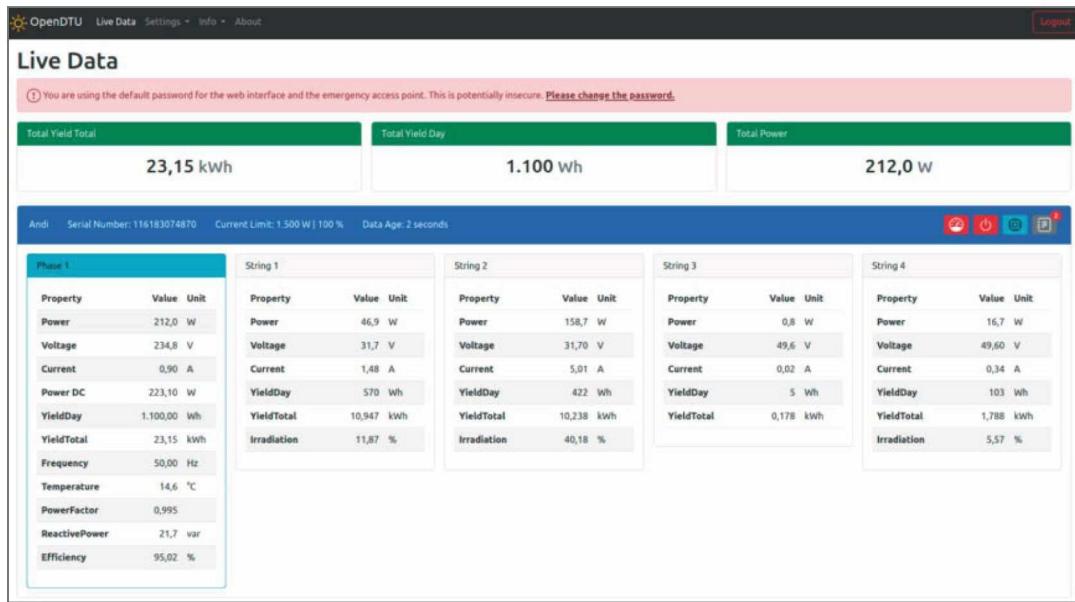
28. – 29.11.

## Docker und Container in der Praxis

Der Workshop richtet sich an Entwickler und Administrierende, die neu in das Thema einsteigen. Neben theoretischem Wissen über Container geht es um die Herausforderungen im Alltag und eigene Container-Erfahrungen auf der Kommandozeile.

Sichern Sie sich Ihren Frühbucher-Rabatt:

**[www.heise-events.de/workshops](http://www.heise-events.de/workshops)**



# PV-Dashboard für OpenDTU

Die ESP32-Firmware OpenDTU fragt die Leistungsdaten von Hoymiles-Solarwechselrichtern ohne Herstellercloud ab. Doch schicke Diagramme und andere grafische Funktionen hat sie nicht. Mit Node-Red-Dashboard bauen Sie unkompliziert eine einfache grafische Übersicht für PC, Tablet, Smartphone & Co.

Von **Andrijan Möcker**

W er Hoymiles-Wechselrichter mit dem Open-Source-Projekt OpenDTU abfragt, wie im vorhergehenden Artikel „Wechselrichter per OpenDTU überwachen“ vorgestellt, bekommt die Zahlen in einem spröden Webinterface dargestellt.

Mit der Flussdiagramm-Steuerung Node-Red und der passenden Erweiterung Node-Red-Dashboard konstruieren Sie unkompliziert ein einfaches Webinterface, um die Photovoltaikproduktion im Überblick zu behalten. Um die Leistungsdaten zu über-

tragen, nutzt OpenDTU das Telemetrieprotokoll MQTT. Wenn Sie MQTT und Node-Red bisher noch nicht nutzen, finden Sie einen einführenden c't-Artikel zum Protokoll in [1], Node-Red erklären wir in [2].

## Vorbereitung

Haben Sie einen MQTT-Broker und Node-Red installiert, müssen Sie nicht mehr viel unternehmen: Öff-

nen Sie das Webinterface von OpenDTU und tragen Sie in Settings/MQTT die Adresse Ihres Brokers ein. Wählen Sie ein ausschlaggebendes „Base Topic“ – also den Pfad auf dem MQTT-Broker, in dem alle Datenpakete landen – beispielsweise `solar/balkon`. Das „Publish Interval“ sollten Sie auf nicht weniger als 10 Sekunden einstellen. Kürzere Intervalle beschäftigen den Mikrocontroller unnötig und 10-Sekunden-Updates genügen völlig, um das Ansteigen der Leistung zu beobachten, wenn eine Wolke die Sonne freigibt.

Um Node-Red-Dashboard in Node-Red zu installieren, klicken Sie in Node-Red auf das Burgermenü (drei horizontale Striche) oben rechts, wählen „Palette verwalten“ und suchen `node-red-dashboard`. Installieren Sie die Erweiterung und warten Sie, bis oben in der Mitte ein Pop-up meldet, dass die Nodes hinzugefügt wurden.

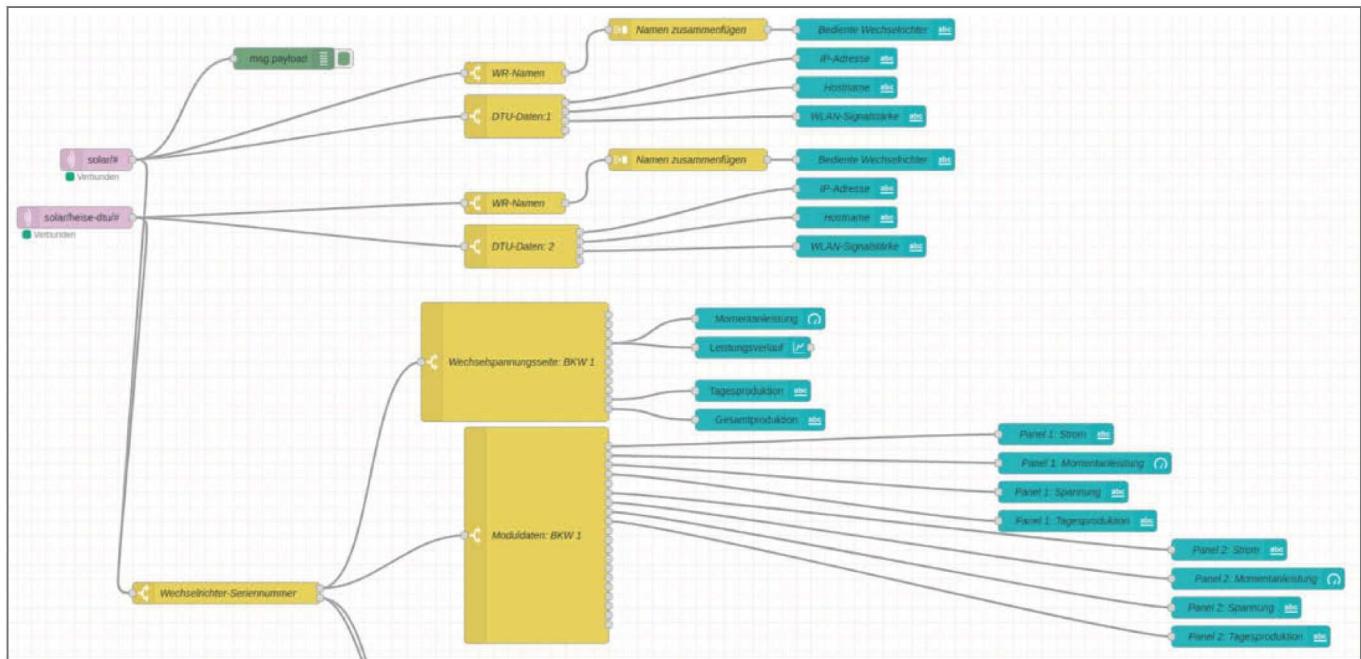
## OpenDTU-Topics

Die OpenDTU-Entwickler haben sich große Mühe gegeben, die MQTT-Topics gut zu strukturieren. For-

mate wie JSON oder XML kommen nicht zum Einsatz; jeder Wert bekommt sein eigenes Topic.

Um das Dashboard später einfach bauen zu können, lohnt es, sich vorab einen Überblick über die Struktur der Topics zu verschaffen: Alle Topics setzen hinter dem in den OpenDTU-MQTT-Einstellungen eingestellten Base-Topic an. Statusinformationen zum System schickt die Firmware an `<base_topic>/dtu/<subtopic>`. Derzeit kennt OpenDTU hier die Subtopics `ip`, `hostname`, `rssi` (Signalstärke), `status` und `uptime` (Systemlaufzeitzähler in Sekunden).

Das eigentlich Spannende, die Solarleistungsdaten, sortiert OpenDTU hinter den Seriennummern der Wechselrichter ein, sodass man keine Schwierigkeiten hat, diese auseinanderzuhalten. Schließlich kann OpenDTU die Daten von bis zu 10 Wechselrichtern einsammeln: `<base_topic>/<Seriennummer>/<subtopic>`. Im Subtopic 0 sowie dessen Subtopics findet man die Daten der Wechselspannungsseite; der zentrale Wert, die Ausgangsleistung, steht in `power` (Watt). Tages- und Gesamtproduktion in Wattstunden beziehungsweise Kilowattstunden stehen in `yieldday` und `yieldtotal`.



Unser vorbereiteter Node-Red-Flow für ein OpenDTU-Dashboard erleichtert den Einstieg. Sie können ihn über [ct.de/w15w](http://ct.de/w15w) importieren.

Wer sich für weitere Wechselspannungsdetails interessiert, abonniert etwa noch `voltage`, `current`, `frequency` oder `efficiency`.

Auch einzelne Panels im Blick zu behalten, kann sinnvoll sein. Weichen die Leistungsdaten bei Panels des gleichen Typs bei gleicher Ausrichtung und Sonneneinstrahlung stark ab, sollten Sie das zum Anlass nehmen, deren Oberfläche und Verkabelung auf Schäden zu untersuchen. OpenDTU funkts die Leistungsdaten der einzelnen Wechselrichtereingänge an die Subtopics 1 bis 4 - je nach Anzahl am jeweiligen Wechselrichtermodell. Auch hier gibt es für jedes Panel einzeln `power`, `voltage`, `current`, `yieldday` und `yieldtotal`.

Mit vollem Namen lauten die Topics beispielsweise `solar/123456789012/0/power` für die Wechselspannungsausgangsleistung oder für die Spannung des Solarmoduls am ersten Eingang `solar/123456789012/1/voltage`.

Damit Sie den gesamten OpenDTU-Output zur Vorbereitung des Dashboards sichten können, erstellen Sie in Node-Red einen Wildcard-MQTT-Node. Ziehen Sie dazu einen MQTT-Node in den Flow und verbinden Sie ihn mit einem Debug-Node. Anschließend stellen Sie im MQTT-Node Ihren MQTT-Broker ein (Server/Neuen MQTT-Broker hinzufügen) und geben Sie das „Base Topic“ gefolgt von `/#` (Wildcard, abonniert alle Topics danach) ein, also zum Beispiel `solar/dtu1/#`. Bestätigen Sie die Einstellungen mit „Übernahme (deploy)“. Dann öffnen Sie rechts in Node-Red den Debug-Tab. Fliegen die Nachrichten etwas zu schnell vorbei, klicken Sie am Debug-Node rechts das grüne Quadrat, um die Ausgabe zu stoppen.

## Dashboardbau

Fühlen Sie sich jetzt von den vielen Topics erschlagen, seien Sie beruhigt: Wir haben da etwas vorbereitet. Über [ct.de/w15w](http://ct.de/w15w) finden Sie einen Link zu dem abgebildeten Node-Red-Flow mit Dashboard-Vorlage. Statt jedes MQTT-Topic mit einem einzelnen MQTT-Node zu abonnieren, nutzen wir Switch-Nodes, um die Nachrichten (`msg.payload`) anhand Ihres Topics (`msg.topic`) in die richtige Richtung zu lotsen.

Öffnen Sie den GitHub-Link, kopieren Sie das JSON-Objekt und öffnen Sie in Node-Red im Burgermenü rechts oben „Import“; kopieren Sie das JSON-Objekt in das Feld und wählen Sie unten aus, ob Sie den Flow in den aktuellen oder einen neuen Flow importieren wollen.

Damit das Beispiel läuft, müssen Sie nur wenige Parameter anpassen: Verbinden Sie zunächst Ihr Wild-



**Die fertige Solaranzeige gibt Überblick über die aktuelle Wechselspannungsleistung des Wechselrichters sowie die jeweilige Leistung der verbundenen Module.**

## 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] Merlin Schumacher, **Rotfront!**, Grafische Oberflächen für Node-Red entwickeln, c't 2/2019, S. 160

[4] Jan Mahn, **Geschichtsschreiber**, InfluxDB: Spezialisierte Datenbank für Messwerte und Logging, c't 5/2019, S. 154

[5] Jan Mahn, **Das Auge administriert mit**, Daten visualisieren mit Grafana, c't 10/2019, S. 152

**OpenDTU-Node-Red-Flow**  
[ct.de/w15w](http://ct.de/w15w)

Dann übernehmen (deploy) Sie die Änderungen und rufen das Dashboard in einem neuen Browser-tab auf; Sie erreichen es, indem Sie an die Adresse Ihres Node-Reds /ui anhängen, beispielsweise <http://192.168.2.10:1880/ui>. Das Dashboard wird sich mit dem ersten Schub Daten von OpenDTU sofort aktualisieren.

Dann können Sie das Dashboard individualisieren: Um die Überschriften der einzelnen Gruppen zu ändern, klicken Sie auf eines der jeweils an den Switch-Nodes angeschlossenen Dashboard-Nodes und dann bei Group auf den Stift, um die Gruppe umzubenennen.

Die Switch-Nodes sind für bis zu vier Panels vorbereitet (für Wechselrichter wie HM-1200 und HM-1500), das Dashboard aber nur für zwei; möchten Sie vier Panels anzeigen, kopieren (Strg+C) Sie eine Anzeigegruppe (Panel 2: Strom, [...], Momentanleistung etc.) und fügen Sie sie unterhalb wieder ein (Strg+V). Sie müssen anschließend mit den korrespondierenden Ausgängen am Switch-Node verbunden und umbenannt werden.

Einen neuen Wechselrichter hinzuzufügen, ist ebenso einfach: Legen Sie die Seriennummer im Seriennummern-Switch-Node an. Kopieren Sie dann die folgenden Switch-Nodes (Wechselspannungsseite, Moduldaten) zusammen mit den angehängten Dashboard-Nodes und fügen Sie sie unterhalb wieder ein. Dann verbinden Sie die beiden Switch-Nodes mit dem passenden Ausgang am Seriennummern-Node. Um alles zu sortieren, muss eine eigene Dashboard-Gruppe her: Öffnen Sie die Dashboard-

Nodes des neuen Wechselrichters, wählen Sie oben bei Group den Menüpunkt „Neuen Typ 'dashboard group' hinzufügen“, klicken Sie den Stift und vergeben Sie einen neuen Namen, etwa „BKW 3: Musterhausen“. Danach öffnen Sie alle anderen Dashboard-Nodes des neuen Wechselrichters und ändern die Gruppe auf den neuen Eintrag. Gleichermassen verfahren Sie mit einer neuen OpenDTU-Instanz. Deploy übernimmt alle Änderungen.

Passt die Sortierung anschließend nicht, klicken Sie in Node-Red auf Höhe der Debug-Registerkarte rechts auf den kleinen Pfeil und im Ausklappmenü auf Dashboard. Sie können die einzelnen Gruppen mittels Ziehen und Halten verschieben und diese wiederum ausklappen, um die Anzeige-Nodes zu sortieren.

## Luft nach oben

Mit Node-Red-Dashboard bauen Sie sich unkompliziert eine Solaranzeige und können sich schnell über das grafisch ansprechende Ergebnis freuen. Weiteres zu Node-Red-Dashboard lesen Sie in [3].

Wollen Sie Ihre Sonnenstromproduktion über einen langen Zeitraum beobachten und anspruchsvoller darstellen, sei statt Node-Red die Kombination aus dem Datenbanksystem InfluxDB und der Visualisierungssoftware Grafana empfohlen [4, 5]. Zusammen mit einem Zähleradapter (siehe Artikel „Ertrag und Verbrauch messen und auswerten“ auf S. 64) bekommen Sie so den perfekten Überblick über Stromverbrauch und Produktion. (amo) 

**Es gibt 10 Arten von Menschen.  
Die, die iX lesen, und die anderen.**





# Grundwissen: Elektrischer Strom

Wer sich mit Photovoltaik beschäftigt, kommt schnell in die Verlegenheit, Geräte nicht nur per Stecker ans Stromnetz anzuschließen. Aber was darf man? Und was kann schiefgehen, wenn man sich als Laie ans Werk macht? Ein Überblick über vermeidbare Fehler, Netzformen, Schutzeinrichtungen und einschlägige Normen.

Von **Jan Mahn**

**A**rtikel und YouTube-Videos, in denen es um elektrischen Strom jenseits von Elektronikbasteleien mit Raspi & Co. geht, beginnen meist mit Haftungsausschlüssen und Warnungen, das Gezeigte keinesfalls nachzumachen. Alternativ mit dem Hinweis, es handele sich um „reine Unterhaltung, nicht um eine Anleitung“. Damit wollen sich

die Autoren absichern, dass sie nicht haftbar gemacht werden können, wenn ein Leser oder Zuschauer zu Schaden kommt. Denn solche Bastelanleitungen richten sich nicht exklusiv an ein Fachpublikum, sondern auch an elektrotechnische Laien.

Was das ist, regelt die Norm DIN VDE 0105-100: Ohne formale Qualifikation ist demnach ein

elektrotechnischer Laie. Als solcher ist die Liste der Dinge, die man laut Norm anstellen darf, extrem kurz: Der Laie darf intakte Geräte in die Steckdose stecken, von außen reinigen, bestimmungsgemäß in Betrieb nehmen und bei Leuchten das gesteckte oder geschraubte Leuchtmittel wechseln, sofern der Hersteller das vorgesehen hat. Das Anschließen von Deckenleuchten oder das Abbauen von Steckdosen- und Lichtschalterabdeckungen etwa beim Tapezieren gehört schon nicht mehr zu den Aufgaben für elektrotechnische Laien. Dafür muss nach Norm eine Elektrofachkraft her, die einen Berufsabschluss oder einen Abschluss als Elektroingenieur nachweisen kann. Mit der Lebenswirklichkeit von Technikinteressierten hat das nicht viel zu tun – eine Lampe haben wohl die meisten schon mal angeschraubt. Und auch die umfangreichen Elektroabteilungen in den Baumärkten sprechen eine deutliche Sprache: Deutsche Heimwerker sind entweder durchweg Elektrofachkräfte oder setzen sich über die Norm hinweg.

Und weil es zur Realität gehört, dass auch Nicht-Fachkräfte zu Seitenschneider und Schraubendreher

greifen, nützen scheinheilige Warnungen wenig. Dieser Artikel liefert daher eine Übersicht über Gefahren (bekannte und unbekannte), die von elektrischem Strom ausgehen, über Schutzmaßnahmen, einschlägige Normen und typische Fehler – ob man sich nach der Lektüre an die Installation einer Deckenleuchte oder eines Balkonkraftwerks macht, muss jeder selbst entscheiden.

## Spannungsbereich

Alltägliche Begegnungen mit Strom finden auf der Niederspannungsebene statt – das ist per Definition der Bereich bis 1000 Volt Wechselspannung. So hoch sind die Spannungen im Haushalt aber nicht: Zunächst gibt es da den Bereich der Kleinspannung, definiert bis 50 Volt Wechsel- und 120 Volt Gleichspannung. Solche Spannungen, so die Annahme, sind bei Berührung für Erwachsene nicht lebensbedrohlich; bei Kindern und Haustieren kann das aber anders aussehen. Nur der Bereich bis 25 Volt Wechsel- und 60 Volt Gleichspannung gilt als gänzlich ungefährlich, auch bei dauerhafter Berührung.

## Die Gefahren

Elektrischer Strom ist ein universeller Energielieferant für viele Geräte vom Computer bis zum Toaster. Aber der menschliche Körper ist von Natur aus nicht auf dieses Phänomen vorbereitet. So haben wir keinerlei Sinne, um von außen zu erkennen, dass irgendwo eine Spannung anliegt.

Eine Spannung allein ist noch kein Problem für uns – gefährlich wird es erst, wenn ein Strom durch den Körper fließt. Das passiert dann, wenn wir Kontakt mit zwei Polen einer Spannungsquelle haben. Nehmen Sie zum Beispiel einen Draht in die linke und einen in die rechte Hand und liegt zwischen beiden Drähten eine Spannung an, fließt ein Strom quer durch Ihren Körper. Viel häufiger im Alltag ist aber das Szenario, dass eine Spannung zwischen einem Leiter und dem Erdpotenzial anliegt. Dann reicht es, diesen einen Leiter zu berühren – der Strom fließt durch den Körper zur Erde.

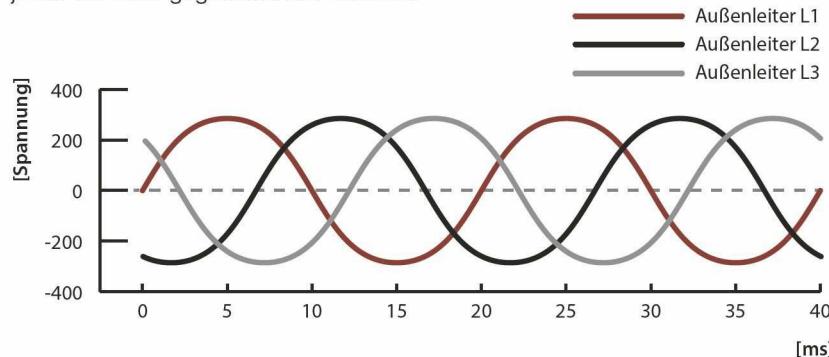
Auf dem Weg durch den Körper richtet der Strom zwei Arten von Schaden an. Auf der einen Seite arbeiten unsere Mus-

keln ganz natürlich mit sehr geringen Steuerspannungen – eine hohe Spannung von außen übersteuert diese und bringt Muskeln zum Kontrahieren. Insbesondere bei Gleichspannungen führt das zu einem problematischen Effekt: Berührt man mit der Hand einen Leiter, können sich die Muskeln so verkrampfen, dass man aus eigener Kraft nicht mehr loslassen kann. Wechselspannung wiederum ist besonders gefährlich, weil sie auch die Steuerspannungen des Herzmuskels übersteuert. Der zuckt dann im Takt der Wechselspannung, die Folge kann tödliches Kammerflimmern sein.

Die zweite Gefahr ist weniger bekannt: Der Strom hat auch eine chemische Wirkung im Körper, die Elektrolyse. Moleküle im Körper werden zersetzt, Eiweiß kann gerinnen. Gefährlich können auch die Verbrennungen an der Eintrittsstelle sein, Blutvergiftungen sind möglich. Besonders tückisch: Manche Folgen treten viel später auf und sind lebensgefährlich – nur ein Arzt kann beurteilen, welche Folgen ein Stromunfall hatte.

## Dreiphasenwechselstrom

Wechselspannung kann man über die Zeit als Sinuswelle darstellen. In einem Dreiphasenwechselspannungssystem sind die drei Sinuswellen der drei Außenleiter je um 120 Grad gegeneinander versetzt.



Wenn ein Kind damit in Kontakt kommt, nimmt es keinen Schaden. Demnach darf auch ein elektrotechnischer Laie mit solchen Spannungen (etwa an Raspi, Arduino oder Modelleisenbahn) basteln und Notebookhersteller dürfen Netzteile mit 19 Volt und nicht berührungsgeschützten Hohlsteckern bauen. Falls der Hund daran leckt, kribbelt es, tötet aber sicher nicht.

Auf der anderen Seite gibt es Strom aus dem öffentlichen Netz – da misst man in mitteleuropäischen Haushalten Wechselspannungen mit 230 und 400 Volt. Schon diese Tatsache bedarf einiger Erklärung: Im Hausanschlusskasten, also dem Ort, an dem der Netzbetreiber den Strom anliefert, kommen in den bei uns üblichen Netzen drei Außenleiter (früher auch Phasen genannt) an, die mit L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> und L<sub>3</sub> abgekürzt werden. Misst man mit einem Spannungsmessgerät die Spannung zwischen einem dieser drei Außenleiter und der Erde, sieht man auf der Anzeige einen Wert von ziemlich genau 230 Volt (die Netzspannung schwankt leicht). Streng genommen ist aber schon diese vermeintliche Wahrheit (die zum Allgemeinwissen gehört) eine Täuschung. Denn die 230 Volt sind lediglich das Ergebnis der Trägheit des Messgeräts, die im Wechselspannungsnetz zum Tragen kommt. Das europäische Netz arbeitet mit einer Frequenz von 50 Hertz – zeichnet man

die Spannung über die Zeit in ein Diagramm ein, erhält man eine Sinuskurve mit Hoch- und Tiefpunkten bei 325 und -325 Volt. Das sind die höchsten Spannungen, die man in einer Momentaufnahme gegen Erde messen könnte. Das Spannungsmessgerät misst die nur kurz anliegenden 325 Volt aber nicht, sondern die Effektivspannung von 230 Volt.

Nun gibt es aber nicht nur einen Außenleiter, sondern gleich drei davon – man spricht von Dreiphasenwechselstrom oder Drehstrom. Erklären kann man dessen Eigenschaften am besten, wenn man sich die großen Energieerzeuger vor Augen führt: Das sind Generatoren mit massiven Wellen, die sich in Atom-, Wind-, Kohle- und Gaskraftwerken bewegen. Die Welle wird etwa von Dampf angetrieben, dreht sich und induziert durch die Bewegung nacheinander Spannung in die Spulen des Generators. Aus diesen Spulen führen (vereinfacht ausgedrückt) die drei Außenleiter heraus ins Netz – das Ergebnis sind drei sinusförmige Wechselspannungen, deren Sinuswellen jeweils um 120 Grad verschoben sind, wie das Diagramm „Dreiphasenwechselstrom“ oben zeigt. Bis der Strom aus dem Kraftwerk im Haushalt ankommt, wird er mehrfach in Transformatoren auf niedrigere Spannungsebenen transformiert. Das Drehfeld, also die Verschiebung der Wellen, bleibt aber bis zur Niederspannungsebene erhalten. Ihr

Haus hängt zusammen mit den Häusern Ihres Viertels an einem Transformatorhäuschen, aus dem die drei Außenleiter herauskommen.

## Dreiphasenwechselstrom

Mit dem Dreiphasenwechselstrom haben Sie zu Hause höchstens an einer Wall-Box fürs Elektroauto oder in einer Werkstatt zu tun – in Form der roten CEE-Steckdosen (umgangssprachlich Drehstromsteckdose) für 16 oder 32 Ampera, an die man große Maschinen anschließt. Eine rote CEE-Steckdose beinhaltet alle drei Außenleiter, die im Haus ankommen, hier kann man (mit einem geeigneten Messgerät) 400 Volt zwischen zwei beliebigen Außenleitern messen. Der mathematische Zusammenhang zwischen 230 und 400 Volt ist nicht ganz offensichtlich, besteht aber:  $230 \text{ Volt} \cdot \sqrt{3}$  ergibt ziemlich genau 400 Volt.

Dass große Maschinen gern mit dreiphasigem CEE-Stecker verkauft werden, hat in der Regel nichts damit zu tun, dass sie 400 Volt zwischen zwei Außenleitern bräuchten. Es geht vielmehr darum, das Drehfeld des Dreiphasenwechselstroms für die eigene Drehung auszunutzen. Ein Dreiphasenmotor ist recht kostengünstig in der Herstellung und läuft sehr effizient.

In Haushaltssteckdosen dagegen findet man immer nur einen einzigen Außenleiter, der in einem der beiden Löcher anliegt. Das andere Loch beherbergt den sogenannten Neutralleiter (N), den man theoretisch (auf keinen Fall ausprobieren!) anfassen könnte, weil er sich auf Erdpotenzial befindet. Das bedeutet genau, was der Name sagt: Das andere Ende des Neutralleiters ist mit dem Erdboden verbunden. Der Neutralleiter hat die Aufgabe, den Stromkreis zum nächsten Transformator zu schließen. Der Strom fließt also über den Außenleiter, durch das Endgerät und über den Neutralleiter zurück.

Den einzelnen Leitern in einem Kabel weist die Norm DIN VDE 0100-510 (mit einem Verweis auf DIN VDE 0293-308) Farben zu, damit man sie sicher erkennen kann. Der Neutralleiter ist demnach blau. Für die drei Außenleiter kommen die Farben Braun, Schwarz und Grau infrage – gibt es nur einen, ist der meist braun. Doch Achtung: In Altbauten, die vor 1973 ausgestattet wurden, können die Außenleiter schwarz oder blau sein, der Neutralleiter grau. Das ist tückisch, weil man einen blauen Draht für den Neutralleiter nach neuer Norm halten kann.

Zusätzlich gibt es noch einen weiteren Leiter, der Schutzleiter oder PE genannt wird (Protective Earth).

Der muss heute immer grün-gelb sein (ganz früher auch mal rot) und der Draht darf unter keinen Umständen anders verwendet werden. Der PE-Leiter hat den Auftrag, Spannungen gegen Erde abzuleiten, die im Fehlerfall irgendwo anliegen können, wo sie nicht hingehören – er liegt außen an den Federkontakten einer Steckdose an und ist mit metallischen Gehäusen von Endgeräten verbunden. Der PE-Leiter erfüllt eine reine Schutzfunktion, dazu später mehr, und verleiht Schutzkontaktsteckdosen (Schuko-Dosen) ihren Namen.

## Netzformen

Als wäre das Dreiphasensystem nicht schon kompliziert genug, gibt es davon auch noch verschiedene Ausprägungen, die Netzformen, die zur Abwechslung mal mit französischen Abkürzungen benannt sind.

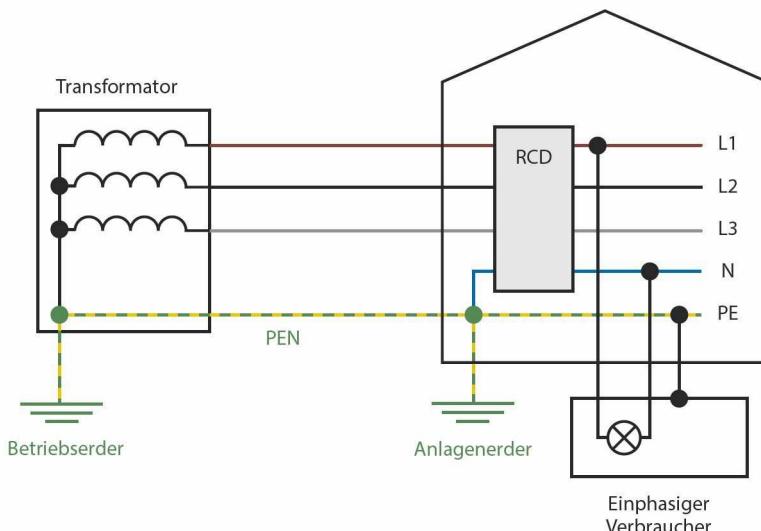
Insbesondere im ländlichen Raum kommt das TT-Netz teilweise vor. TT steht für terre terre (Erde-Erde). In einem solchen System kommen vier Leiter im Haus an: drei Außenleiter und der Neutralleiter. Der Strom, der über den PE-Leiter fließen soll, muss den Weg durch die Erde nehmen. Dafür erdet man den Transformator mit einem Betriebserder und die angeschlossenen Gebäude jeweils mit einem Anlagenerder.

Die häufigste Netzform heißt TN. In einem TN-System (terre neutral) fließt der Strom durch eine Kupferleitung, die direkt mit dem Transformator verbunden ist. Einen Fundamenteerde baut man dennoch ein und auch der Transformator ist zusätzlich geerdet. Von diesem Netz dürfen zwei Varianten errichtet werden: Im TN-S (terre neutre séparé) kommen insgesamt fünf Drähte im Haus an. Drei Außenleiter, Neutralleiter und ein PE-Leiter. Viel häufiger ist das System TN-C-S (terre neutre combiné séparé). Aus der Straße kommt ein kombinierter PEN-Leiter, der in der Verteilung im Haus in PE und N geteilt wird.

Ebenfalls in freier Wildbahn anzutreffen ist das System TN-C, das in Deutschland unter dem Begriff „klassische Nullung“ bekannt ist. Dieses Relikt aus dem letzten Jahrtausend darf seit 1973 nicht mehr in Haushalten errichtet werden, hat trotz massiver Sicherheitsprobleme in Deutschland aber bis heute Bestandsschutz. N und PE kommen als gemeinsamer PEN-Leiter an und werden im Haus nicht getrennt. In der Nachkriegszeit war dieses System populär, weil zwei Drähte (L und PEN) nunmal weniger Kupfer brauchen als drei (L, PE und N). Das Problem: Am Metallgehäuse von Geräten liegt das

## Das TN-C-S-System

Im TN-C-S-Netz, einem in Deutschland sehr verbreiteten System, kommt neben den drei Außenleitern ein kombinierter PEN-Leiter mit Erdpotenzial im Haus an. Dort wird er mit dem Anlagenerder verbunden und in PE und N aufgeteilt.



selbe Potenzial wie am Nullleiter an. Und das beträgt nur in der Theorie null Volt, kann in der Praxis aber gefährlich höher sein. Eine Umrüstung ist teuer, weil neue Leitungen gezogen werden müssen, aber ein deutlicher Gewinn für die Sicherheit.

### FI, RDC, Sicherung, LS

Für die Sicherheit gibt es in elektrischen Anlagen mehrere Sicherheitseinrichtungen. In der Alltags- sprache kommt der Begriff Sicherung vor allem in Kombination mit einem Verb vor: rausfliegen. Wenn „die Sicherung rausgeflogen“ ist, tapert der Laie fluchend zum Sicherungskasten in der Wohnung oder im Keller, sucht die Übeltäterin und schaltet sie wieder ein. Ganz unbedarfe Anwender beschimpfen sie dann auch noch als „blöde Sicherung“, so als wollte sie die Bewohner ärgern. Als „Sicherung“ wird alles tituliert, was in solchen Kästen in Reih und Glied aufgereiht hängt. Und obwohl technisch sehr ungenau, stimmt diese Alltagsbezeichnung auch – all die Geräte kümmern sich irgendwie um die Sicher-

heit von Anlage und Anwender; wenn auch auf sehr unterschiedliche Weise.

Zunächst sind da die Leitungsschutzschalter (LS-Schalter). Ihre Aufgabe steckt im Namen: Sie sollen die Leitung schützen, und zwar vor dem Überhitzen. Warm wird eine Leitung immer dann, wenn ein Strom fließt. Jedes angeschlossene und eingeschaltete Gerät, ob defekt oder intakt, verursacht eine Erwärmung. Das ist Physik, kann auch nicht abgestellt werden und ist auch nicht schädlich. Weil auch ein Kupferdraht einen Widerstand hat, fällt auf dem Weg durch die Leitung etwas Spannung ab und es wird ein Teil der Energie in Wärme umgewandelt. Je höher der Strom, der fließt, desto mehr erwärmt sich ein Leiter.

Damit dabei nicht ständig die Isolierung der Kabel in Flammen aufgeht, hat sich der Errichter der elektrischen Anlage (also die Elektrofachkraft) an den geltenden Normen orientiert und errechnet, wie hoch der fließende Strom maximal sein darf. In die Berechnung fließen viele Faktoren ein: zum Beispiel Querschnitt der Leiter, Leitungslänge, Verlegeart

(unter Putz oder in Dämmung). Am Ende der Berechnung folgt die wohlüberlegte Entscheidung für einen passenden Leitungsschutzschalter. Gängige Nennströme im Haushalt sind 10, 13 und 16 Ampere. In vielen Fällen sind Leitungen mit Kupferadern, die jeweils 1,5 Quadratmillimeter Querschnittsfläche haben, mit bis zu 16 Ampere belastbar. Daher finden Sie im Baumarkt oft Sonderangebote für Leitungen mit  $3 \times 1,5$  oder  $5 \times 1,5$  Quadratmillimeter. Starke Verbraucher wie einen Elektroherd schließt man besser mit dickeren Adern an ( $2,5 \text{ mm}^2$ ), die weniger Widerstand haben.

Mit einer einfachen Berechnung kann man ausrechnen, bis zu welcher Leistung (in Watt) ein so abgesicherter Kreis belastet werden darf – man multipliziert einfach den Strom mit der Spannung und erhält die zugehörige Leistung: Ein 16-Ampere-LS-Schalter verträgt bis zu 16 Ampere  $\cdot$  230 Volt, also 3680 Watt.

Steckt man also zwei Fritteusen mit je 2000 Watt in zwei Steckdosen auf diesem Kreis, wird der LS-Schalter dauerhaft überlastet und im Inneren erwärmt sich langsam ein Bimetallstreifen, der sich dabei verbiegt. Dadurch bewegt er einen Mechanismus, der unter Federspannung steht (die Sie beim Umlegen des Schalters aufgebaut haben), und der Automat löst aus. Eine solche Auslösung dauert ihre Zeit – und das soll auch so sein, denn nicht jede kurzfristige Überlast soll gleich zum Abschalten führen. Daher sind Kennlinien spezifiziert, die angeben, in welcher Zeit der Automat bei einer bestimmten Überlast auslösen soll.

Wenn Sie also ein Gerät eingeschaltet haben und zum Beispiel 10 Minuten später der Automat auslöst, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass es sich um eine deutliche Überlast handelt. Dann ist es keine gute Idee, einfach etwas zu warten und den Automaten wieder einzuschalten. Das funktioniert zwar für kurze Zeit, weil sich das Bimetall abgekühlt hat, löst aber das Problem nicht – stellen Sie zuvor die Ursache ab, indem Sie den zusätzlichen Verbraucher in einem anderen Kreis einstecken.

## Kurzschlussreaktion

Außer dem Bimetallstreifen hat ein LS-Schalter noch eine zweite Auslöseart: die magnetische Kurzschlussauslösung. Ein Kurzschluss tritt auf, wenn im Gerät ein Defekt entstanden ist und der Außenleiter direkten Kontakt mit dem Neutralleiter hat; ganz

praktisch kann sich ein Kabel im Inneren gelockert haben. In dem Fall nimmt der Strom den kürzesten Weg, fließt also am eigentlichen Verbraucher vorbei. Der Widerstand ist demzufolge sehr klein, daraus resultiert ein sehr hoher Fehlerstrom. Nicht 10 oder 16 Ampere, sondern 80, 100 oder mehr; Ströme, die man zu Hause definitiv nicht erleben möchte. In einem solchen Fall ist nichts dadurch gewonnen, dass sich ein Bimetallstreifen gemächlich erwärmt und vielleicht nach 20 Minuten mal ans Auslösen denkt.

Stattdessen löst der LS-Schalter magnetisch aus – der Strom fließt dafür durch eine Spule, das Magnetfeld bewegt einen Stift und der löst innerhalb von Millisekunden den federgespannten Mechanismus aus. Das typische Fehlerbild für eine Kurzschlussauslösung: Sie stecken oder schalten das Gerät ein und sofort ist der Strom aus, möglicherweise knallt und raucht es auch im Inneren des Gehäuses. Auch dann sollten Sie zunächst die Finger vom Sicherungskasten lassen und das Gerät aus der Steckdose ziehen. Bevor es wieder ans Netz darf, muss es unbedingt von einer Elektrofachkraft untersucht werden.

Die schnelle Abschaltung bewahrt Sie und die Kabel vor Schlimmerem und muss zuverlässig funktionieren. Daher muss derjenige, der die Anlage gebaut und geplant hat, sicherstellen, dass die Bedingungen erfüllt sind, unter denen der LS-Schalter bei Kurzschluss schlagartig magnetisch auslöst: Der Strom im Kurzschlussfall muss richtig schön hoch sein, der Widerstand also möglichst gering. Bei der Inbetriebnahme einer Anlage muss die Fachkraft daher den Netzinnenswiderstand messen. Ein dafür gebautes Messgerät misst dabei den gesamten Widerstand über den Außenleiter, durch die Straße, bis zum nächsten Trafo, über den Neutralleiter wieder zurück. Damit der LS-Schalter sicher auslöst, muss das Fünffache des Bemessungsstroms im Fehlerfall fließen. Bei einem 16-Ampere-Automaten also 80 Ampere. Um das zu erreichen, muss der Innenwiderstand (inklusive Sicherheitsmarge) kleiner als 2 Ohm sein. Um exakte Werte geht es bei der Messung aber nicht: Wenn die Messung in einer neuen Anlage in der Nähe von 2 Ohm liegt, ist definitiv etwas faul.

Doch nur weil ein Elektriker eine Steckdose korrekt gemessen hat, heißt das nicht, dass Sie als Anwender garantiert von Überhitzungen geschützt sind. Ein zuverlässiger und gefährlicher Weg, den Innenwiderstand so sehr zu erhöhen, dass ein LS-

**Kennen und anwenden  
muss man in jedem Fall  
die fünf Sicherheitsre-  
geln für Arbeiten an  
elektrischen Anlagen.**

Schalter bei Kurzschluss nicht mehr auslöst, sind zu lange Verlängerungskabel mit zu dünnem Leiterquerschnitt. Wenn Sie also am Ende des Gartens Strom brauchen und dazu 50 oder 100 Meter überbrücken müssen, verwenden Sie besser Kabel mit hohen Leiterquerschnitten ( $2,5 \text{ mm}^2$ ). Kabeltrommeln sollten immer abgerollt werden, damit sich die Wärme nicht staut – die meisten haben einen eingebauten Übertemperaturschutz.

## Sicher dank RCD

Die zweite Schutzeinrichtung hieß in Deutschland Jahrzehntelang FI-Schutzschalter (F für Fehler und I für das Formelzeichen für Strom). Seit einigen Jahren versucht man auch hierzulande, die international übliche Bezeichnung RCD (Residual Current Device) zu etablieren – außerhalb der Fachwelt noch mit mäßigem Erfolg. Das RCD hat einen anderen Schutzauftrag als der LS-Schalter: Es soll erkennen, wenn in einem Stromkreis weniger Strom über den Neutralleiter zurückkommt als über den Außenleiter fließt. Um zu verstehen, warum das ein Problem ist, stellen Sie sich ein Gerät mit Metallgehäuse vor, zum Beispiel das Netzteil eines Desktop-PCs. Löst sich im Netzteil der Draht für den Außenleiter, kann er im ungünstigen Fall das Gehäuse berühren. Dieser Fehler heißt Körperschluss. Und weil das Netzteil im metallischen PC-Gehäuse eingebaut ist, liegt plötzlich eine Spannung von 230 Volt gegen Erdpotenzial an. Ohne PE und RCD passiert aber zunächst nichts, weil der Desktop-PC auf Gummifüßen steht. Der Anwender würde davon nichts sehen oder riechen und das Gehäuse ahnungslos anfassen. Erst jetzt fließt ein potenziell tödlicher Strom durch seinen Körper Richtung Erde.

Dankenswerterweise gibt es den PE-Leiter. Der ist im Inneren des Netzteils mit allen Metallteilen des Gehäuses verbunden und leitet die anliegende Spannung mit einem sehr kleinen Widerstand ab. Weil der Mensch, der das Gehäuse berühren könnte, einen wesentlich höheren Widerstand hat (in Beispielrechnungen nimmt man gern 1 Megaohm an), fließt über ihn nur ein sehr geringer Strom. Ein optimaler Zustand ist es aber nicht, wenn über lange Zeit unentdeckt Strom über den PE-Leiter fließt. Im TN-Netz kann in einem solchen Fall der LS-Schalter eingreifen. Weil es sich beim PE-Leiter um eine durchgängige Kupferleitung handelt, ist der Widerstand sehr niedrig, es fließt also ein sehr hoher Strom und es kommt zur Kurzschlussauslösung des LS-Schalters.

Gibt es keine andere Schutzeinrichtung, muss der Elektriker sicherstellen, dass über den PE-Leiter ein ausreichend hoher Strom fließen kann. Dafür führt er eine mit der Netzinnenswiderstandsmessung verwandte Messung durch, die Schleifenimpedanzmessung. Gemessen wird dabei der Widerstand über einen Außenleiter, durch Straße, Trafo und über den PE-Leiter wieder zurück. Wie beim Netzinnenswiderstand muss der Wert deutlich kleiner als der Grenzwert sein. Im TT-Netz, in dem der Erdboden als Leiter dient, erreicht man keine ausreichend geringe Schleifenimpedanz und der LS-Schalter schützt nicht zuverlässig beim Körperschluss. Aber auch im TN-Netz gibt es gute Gründe, sich nicht allein auf LS-Schalter und einen perfekten PE-Leiter zu verlassen. Eine weitere Schutzeinrichtung muss her.

## Schneller Schalter

Hier kommt das RCD ins Spiel. Dieses Gerät hängt im Sicherungskasten und ist in den Stromkreis eingebunden. Durch das RCD werden Neutralleiter und Außenleiter geführt – es gibt RCDs für einen und für drei Außenleiter. Der PE-Leiter fließt immer am RCD vorbei.

Im Inneren befindet sich wie im LS-Schalter eine durch den Nutzer gespannte Federkonstruktion, die nur darauf wartet, dass sie von einem Elektromag-



**Zwei Schutzeinrichtungen mit unterschiedlichen Aufgaben: Der Leitungsschutzschalter schützt die Leitungen vor Überlastung und Kurzschluss. Das RCD (mit dem gelben Testknopf) schützt vor allem Personen vor versteckten Gefahren durch Spannung an Gehäusen.**

neten, dem Summenstromwandler, ausgelöst wird. Das ist der Fall, wenn über den Neutralleiter weniger Strom zurückfließt als über die Außenleiter rein – das kann nur dann passieren, wenn Strom irgendwo anders abfließt als vorgesehen, zum Beispiel über den PE-Leiter. Der Mechanismus arbeitet sehr schnell (im Millisekundenbereich) und sehr gründlich: Er trennt immer allpolig, also alle Außen- und den Neutralleiter.

Wenn Sie als Anwender beobachten, dass ein RCD auslöst, müssen Sie dem Gerät zunächst dankbar sein. Es hat Sie vor einer unsichtbaren Gefahr geschützt. Bevor Sie es wieder einschalten, müssen Sie unbedingt den Fehler aufspüren. Hat es direkt beim Einsticken eines Geräts geknallt, ist der Fehler lokalisiert – trennen Sie den vermeintlichen Verursacher vom Netz und schalten das RCD wieder ein. Länger dauert die Fehlersuche, wenn das RCD ohne klaren Anlass auslöst: Vor dem erneuten Einschalten stellen Sie sicher, dass andere Haushaltsteilnehmer, vor allem Kinder, sich von sämtlichen elektrischen Geräten fernhalten oder die Wohnung verlassen. Dann gilt es, den Fehler nach und nach einzuziehen: Immer wieder einschalten und nach und nach verdächtige Geräte vom Netz trennen, bis das RCD nicht mehr auslöst. Zu einem RCD können immer mehrere LS-Schalter gehören und in einem gut beschrifteten Kasten findet man leicht heraus, welche das sind. Anstatt gleich alle Stecker zu ziehen, kann man zum Einkreisen des Fehlers auch die LS-Schalter nacheinander ausschalten. Wichtig: Einfach so und ohne Anlass löst ein RCD in der Regel nicht aus, irgendwo wird es ein defektes Gerät geben. Auch Feuchtigkeit in Schaltkästen, Steckdosen und Geräten kann Fehlerströme verursachen. Sind alle Stromkreise aus oder alle Stecker gezogen und das RCD löst immer noch aus, ist es Zeit, den Elektriker zu rufen.

Eine Prüfung kann und soll der Laie alle sechs Monate selbst durchführen: Die Testtaste des RCD betätigen. In seltenen (aber durchaus nicht unmöglichen) Fällen kann es sein, dass das Gerät hängt. Dann muss ein Elektriker sich der Sache annehmen.

Obwohl ein RCD zweifelsfrei Leben rettet, ist er in Deutschland nicht Pflicht in allen Endstromkreisen. Seit 1984 muss er in Badezimmern mit Badewanne oder Dusche installiert sein, seit 2009 in allen Stromkreisen. Das Problem: Auch hier besteht Be standsschutz, solange die Anlage nicht verändert

wird. Auch Vermieter werden nicht gezwungen, ihre Anlagen auf den aktuellen Stand zu bringen.

## Vermeidbare Fehler

Mit diesem Wissen über Gefahren und Schutzeinrichtungen können Sie vor allem einschätzen, welche Fehler es zu vermeiden gilt. Und die Probleme beginnen schon, bevor Sie zum Schraubendreher greifen. In Haushalten geht eine nicht zu unterschätzende Gefahr von Mehrfachsteckdosen aus – und insbesondere von hintereinanderge stöpselten. Die Funktion von LS-Schalter und RCD ist am Ende einer Verlängerungs-Kaskade nicht mehr garantiert. Billige Mehrfachstecker sind oft mit sehr dünnen Leiterquerschnitten angebunden und erwärmen sich bei hohen Lasten, lange bevor die Leitung in der Wand oder der LS-Schalter warm werden. Ins besondere Heißgeräte (wie Fritteusen, Waffeleisen und Bügeleisen) gehören immer direkt in eine fest installierte Steckdose.

Sobald man den Tätigkeitsbereich des Laien ver lässt und etwa eine Lampe anschließt, muss man sich der Gefahren bewusst sein – bevor man irgend eine Abdeckung öffnet. Kennen und anwenden muss man in jedem Fall die fünf Sicherheitsregeln für Arbeiten an elektrischen Anlagen, wobei die ersten drei Regeln bei Arbeiten im Haus ausreichen:

1. freischalten,
2. gegen Wiedereinschalten sichern,
3. Spannungsfreiheit feststellen,
4. erden und kurzschießen,
5. benachbarte, unter Spannung stehende Teile abdecken.

Vor jeder (!) Arbeit an einer Anlage muss die Spannung abgeschaltet werden. Dazu reicht es ausdrücklich nicht aus, zum Beispiel den Lichtschalter umzulegen. Es kommt durchaus vor, dass ein Lichtschalter falsch installiert wurde und dieser statt dem Außenleiter den Neutralleiter schaltet. Dann geht die Lampe zwar auch aus, der Außenleiter ist aber weiter unter Spannung. Als zusätzliche inoffizielle Regel können Sie sich noch merken:

0. niemandem vertrauen.

Nicht nur Lichtschalter können falsch angeklemmt sein, auch die Farbzuordnung muss nicht so sein,

wie die aktuelle Norm verlangt – Idioten (und Sparfüchse), die zum Beispiel den grün-gelben Draht als Außenleiter missbraucht haben, gibt es überall. Besonders vorsichtig müssen Sie in Altbauten sein.

Zum Freischalten legt man den LS-Schalter oder den Schalter des RCD um. Der zweite Schritt ist ebenso wichtig: Sobald die Wahrscheinlichkeit besteht, dass eine andere Person die Schalter wieder umlegen könnte, muss man diese informieren und ein großes Schild über die Sicherungen hängen: „Nicht schalten! Entfernen dieses Schildes nur durch ...“ Eine Vorlage zum Ausdrucken und laminieren finden Sie über [ct.de/wer4](http://ct.de/wer4).

Anschließend wird die Spannungsfreiheit festgestellt – und zwar mit einem zweipoligen Messgerät. Ein einpoliger Spannungsprüfer, der umgangssprachlich Phasenprüfer genannte Schraubendreher mit der Glimmlampe, genügt ausdrücklich nicht. Ihn darf man nur einsetzen, um zum Beispiel in der Steckdose den Außenleiter zu identifizieren. Gründe gegen den Phasenprüfer gibt es mehrere: Das Glimmlicht ist in hellen Räumen schnell übersehen und wer zum Beispiel auf einer Leiter mit Gummifüßen steht, ist möglicherweise so gut isoliert, dass sie nicht glimmt.

Aber auch das zweipolige Messgerät muss man bedienen können: Dessen Funktion muss man unbedingt vorher an einer Spannungsquelle überprüfen. Um ganz sicherzugehen, misst man zum Beispiel die Drähte für den Anschluss einer Deckenlampe einmal vorm Freischalten und einmal danach. Erst wenn man sicher ist, dass wirklich zwischen allen Leitern keine Spannung anliegt, dürfen die Arbeiten beginnen. Die Regeln 4 und 5 muss man in Niederspannungsnetzen nur sehr selten anwenden – als elektrotechnischer Laie hat man es mit solchen Spezialfällen nicht zu tun.

Erst nach diesen Schritten darf man sich ans Anklemmen der Deckenleuchte machen. Und auch da warten diverse Tücken: Laien nehmen zum Beispiel gern fälschlich an, dass es egal sei, wo bei einer Lampe mit Schraubfassung N und L angeklemmt werden – es sei ja schließlich Wechselspannung. Doch nur wenn man die Lampe richtig herum (wie beschriftet) anschließt, ist sichergestellt, dass das Gewinde mit N und der Fußkontakt mit L verbunden ist. Das Gewinde kann man beim Wechseln des Leuchtmittels nämlich durchaus versehentlich berühren – daher darf es nicht unter Spannung stehen.

Der zweite beliebte Fehler: Hängelampen sind meist mit flexiblen Kabeln ausgestattet, die Leiter bestehen also nicht aus einem massiven Kupfer-



**Die Spannungsfreiheit muss man mit einem zweipoligen Spannungsprüfer feststellen. Der Markenname Duspol ist zum Gattungsbegriff für solche Messgeräte geworden.**

strang, sondern aus feinen Drähten. Solche Litzen darf man nicht blank in Lüsterklemmen einsetzen und auch nicht mit Lötzinn verzinnen und dann verschrauben. Damit die Verbindung jahrelang einen niedrigen Widerstand hat und keine Kriecheffekte auftreten, muss vorm Einführen in eine Lüsterklemme eine passende Aderendhülse mit einer Crimpzange aufgepresst werden. Alternativ verwendet man ausdrücklich dafür zugelassene Federklemmen für feindrähtige Leiter, nach einem deutschen Hersteller oft Wago-Klemmen genannt, wohlgerne passend zum jeweiligen Leiterquerschnitt und Spannungsbereich.

## Fazit

Strom, der durch Ihren Körper fließt, kann Sie töten – deshalb hat sich die Menschheit wirksame Schutzeinrichtungen überlegt, die sich über Jahrzehnte bewährt haben. Die Normen, die regeln, wie elektrische Anlagen aussehen sollen, sind also keine Schikane, sondern sollen sicherstellen, dass Schutzeinrichtungen zuverlässig funktionieren. Das sollten Sie stets bedenken, wenn Sie von der Norm abweichen wollen und als Laie Hand anlegen. Niemals und unter keinen Umständen dürfen Sie unter Spannung arbeiten. Das machen auch Fachkräfte nur in sehr seltenen und gut begründeten Ausnahmefällen. (jam) **ct**

**Normen**  
[ct.de/wer4](http://ct.de/wer4)

# Ransomware

Webinar am 3. und 4. Mai 2023  
jeweils 9 bis 13 Uhr



Jetzt  
Tickets  
sichern!

## Angriffe verstehen und erfolgreich abwehren

Wird Ihr System Opfer eines Angriffs, muss Ihre Verteidigung robust aufgestellt sein und Sie müssen besonnen reagieren können. Das gelingt nur, wenn Sie verstanden haben, wie diese Angriffe funktionieren und wie eine Verteidigung aussieht, die nicht beim ersten falschen Klick in sich zusammenfällt.

Erfahren Sie in diesem heise-Security-Webinar alles Wesentliche über Ransomware und Malware und lernen Sie, wie Sie die Risiken von Angriffen minimieren.

Veranstalter

 heise Security

 dpunkt.verlag

# // heise devSec()

16. Mai 2023 – Online

## Thementag – 2FA, Multi-Faktor-Authentifizierung & Beyond

Techniken wie 2FA und WebAuthn gehören zum Pflichtprogramm für Services, denn die reine Kombination aus Name und Passwort ist eine Einladung für Angriffe auf Accounts über Phishing und Co. Der Thementag der heise devSec zeigt die Hintergründe zur Multi-Faktor-Authentifizierung, zu WebAuthn und zum Time-based One-time Password Algorithmus (TOTP).

### Vorträge:

- Quo Vadis 2FA?
- Authentifizierung 2.0: Sicher in die Zukunft mit WebAuthn
- OTP-Methoden, eine Auseinandersetzung
- 2FA richtig implementieren: Risiken und Legacy
- Passwortlos in der Praxis mit WebAuthn und Passkeys
- TOTP in der Praxis: Backend-Implementierung am Beispiel Go

[www.heise-devsec.de/2fa.php](http://www.heise-devsec.de/2fa.php)

Jetzt  
Frühbucher-  
rabatt  
bis 24. April !

Veranstalter

 heise Security

 heise Developer

 dpunkt.verlag



# Batteriespeicher für stabile Netze

Strompreise und Netzfrequenz, Erzeugung und Verbrauch schwanken. Das machen sich Betreiber von Batteriespeichern im Megawattbereich zunutze. Solche Anlagen entstehen überall in Deutschland: Sie sollen Geld verdienen und gleichzeitig das Stromnetz stabiler sowie den Strom günstiger machen. So funktionieren sie technisch und wirtschaftlich.

Von **Jan Mahn**

**D**ie politische Prominenz hat sich eingefunden: Bürgermeister, Landrat, Bundestags- und Landtagsabgeordnete und der stellvertretende bayerische Ministerpräsident sind ins Industriegebiet nach Diespeck in der Nähe von Neustadt an der Aisch gereist und schauen interessiert in sechs flache blaue Betongebäude. Es ist kein Garagenhof, gefeiert wird die Inbetriebnahme von zwei Batterie-

speicheranlagen in Diespeck und Iphofen, die zusammen als „Speicherkette Nordbayern“ geführt werden und in Summe mit 42 Megawatt Leistung und 48 Megawattstunden Kapazität den größten Batteriespeicher in Bayern bilden.

Ein Schalter wird bei dieser Eröffnung nicht umgelegt. An diesem windigen Vormittag Ende Januar 2023 sind die Anlagen technisch schon seit vier Mo-

naten in Betrieb, die feierliche Eröffnung mit Snacks, Festreden und durchgeschnittenen Bändern lassen sich Betreiber, Bauunternehmen und Politiker aber nicht entgehen. Auch internationale Gäste sind angereist: Das Projekt entwickelt und geplant hat die Firma Kyon Energy aus München, gebaut hat die Speicher das deutsch-norwegische Unternehmen Eco Stor und bezahlt und betrieben werden sie von einer deutschen Tochtergesellschaft der österreichischen Verbund AG, die zu 51 Prozent der Republik Österreich gehört. Insgesamt betreibt der Energieversorger in Deutschland sieben Batteriespeicher mit zusammen rund 100 Megawatt Leistung, wie aus dem Marktstammdatenregister der Bundesnetzagentur hervorgeht (siehe [ct.de/w8kk](http://ct.de/w8kk)).

Glaubt man einigen der Festreden, so sind hier gigantische Notstrombatterien entstanden – wenn im Rest der Republik der Strom ausfällt, seien über 20.000 Haushalte im Landkreis „Neustadt. a. d. Aisch-Bad Windsheim“ noch eine Stunde lang versorgt. Und wenn sie nicht gerade den Blackout verhindern, sollen die Akkus Photovoltaik- und Windstrom für die Nacht und die nächste Flaute einspeichern. Doch ganz so einfach wie in den politischen Reden

ist es in der Realität nicht – weder technisch noch wirtschaftlich.

Um zu verstehen, wie solche Batteriespeicher dabei helfen, das Netz zu stabilisieren, ob und wie sie dazu beitragen, die Strompreise zu senken, ist ein tieferer Einblick in den Strommarkt und die Funktionsweise des europäischen Verbundnetzes nötig. Zu welchem Zweck die Speicher wirklich gebaut wurden, konnten wir im Anschluss an die Eröffnung mit Florian Antwerpen besprechen. Er ist Geschäftsführer von Kyon Energy und hat mit der Planung der Anlagen und des Betriebskonzepts begonnen, noch bevor klar war, wer sie mal kaufen und betreiben würde.

## Die Speicher

Vor dem Blick auf den Strommarkt hilft ein Blick auf die Funktionsweise eines solchen Batteriespeichers – die Anlage von Eco Stor steht stellvertretend für Produkte einer Branche, die sich gerade im Aufbau befindet. Die kann aber zumindest auf Komponenten zurückgreifen, die bereits auf dem Markt verfügbar sind, allen voran die aus Notebooks und Smartphones bekannten Lithium-Ionen-Batteriezellen. In den vergangenen Jahren sind die Großspeicher im Kielwasser der Batterieproduktion für Elektroautos geschwommen, denn auch wenn die einzelnen Anlagen groß sind, so sind Großspeicher noch immer nur die Nische und E-Autos der Massenmarkt: Ein Oberklasse-Elektroauto kann rund 90 Kilowattstunden speichern, die Kapazität eines Großspeichers mit 24 Megawattstunden entspricht also der von nur etwa 260 Fahrzeugen. Nicht viel, wenn man es ins Verhältnis setzt: Laut Kraftfahrtbundesamt wurden im Jahr 2022 in Deutschland 470.559 reine Elektroautos zugelassen.

Der Kern der Anlagen von Eco Stor sind Lithium-Ionen-Batteriemodule der Samsung-Batterietochter Samsung SDI. Die knapp 60 Kilogramm schweren 19-Zoll-Module bestehen aus rechteckigen Zellen und sind in Racks übereinander gestapelt. Bei Samsung heißt die Produktsparte „Energy Storage System“ (ESS) und im Verkaufsprospekt gibt der Hersteller an, weltweit bereits Batteriespeicher für über 10 Gigawattstunden (10.000 MWh) verkauft zu haben. Massenware also, die nicht nur Großspeicher bestückt, sondern die zum Beispiel auch Notstrom für Industrieanlagen liefert. Dieser Geschäftsbereich hat längst begonnen, sich von der E-Auto-Batterieproduktion zu emanzipieren – denn die Anforderungsprofile an die Zellen unterscheiden sich doch.



**Florian Antwerpen, Geschäftsführer des Projektplanungsunternehmens Kyon Energy (links) und der bayerische Wirtschaftsminister Hubert Aiwanger (rechts) eröffnen einen Batteriespeicher in Diespeck.**

Batterien in stationären Speichern müssen zum Beispiel nicht im Betrieb über Kopfsteinpflaster rollen, dafür aber während ihrer Laufzeit mehr Ladezyklen ertragen.

Ihr natürlicher Lebensraum sind Betongebäude, die auf festem Untergrund stehen und von außen einer Fertiggarage ähneln. Im Inneren sieht es aus wie im Rechenzentrum – die dicht gepackten Racks auf beiden Seiten werden flankiert von einem Kühl- und Belüftungskonzept, bei dem Klimaaußengeräte die Wärme abführen und Lüfter in den Rack-Modulen einen Luftstrom erzeugen. Weil Lithium-Ionen-Akkus im Fehlerfall durchaus brennen können, steht in der hinteren Ecke der Gebäude eine Gasflasche mit Löschgas für eine Brandunterdrückungsanlage, die im Notfall gezielt einzelne Batteriemodule über eine Lanze löscht. Überwacht werden alle Batterien von einem System, das Anomalien erkennen soll – denn um Brände zu vermeiden, ist es besser, ein schadhaftes Modul rechtzeitig außer Betrieb zu nehmen, bevor es zu einer Überhitzung und einem Brand kommt.

Pro Betongebäude hat Eco Stor Batterien mit einer Kapazität von 4 Megawattstunden in den Racks untergebracht. Verschaltet sind sie zu einer Reihenschaltung, an deren Enden eine Gleichspannung von 1200 Volt anliegt. Mit dieser hohen Gleichspannung kann man im Stromnetz noch wenig anfangen – wie bei einer Photovoltaikanlage muss ein Wechselrichter daraus netzsynchrone Wechselspannung machen. Und weil die Ähnlichkeiten zu PV-Anlagen so groß sind, unterscheiden sich auch die Wechselrichter kaum. Eco Stor hat sich für Geräte mit 3,5 Megawatt Leistung vom Hersteller Sungrow entschieden, der im gleichen Format auch PV-Wechselrichter für große Anlagen baut. Sie stehen außerhalb der Betonkisten in einem schalldämpfenden Gehäuse, denn auch im Gewerbegebiet darf ein Batteriespeicher nicht beliebig laut brummen, wie Kyon-Geschäftsführer Antwerpen im Gespräch erklärt.

Passend fürs Stromnetz ist der Strom nach dem Wechselrichten aber noch immer nicht. Aus dem Wechselrichter kommen 690 Volt – das dritte Glied in der Reihe ist daher ein Transformator, der die Spannung auf Mittelspannung von 20 Kilovolt hebt. Für den Anschluss ans Netz haben sich die Planer in Diespeck einen optimalen Standort ausgesucht – direkt neben dem Grundstück betreibt der örtliche Netzbetreiber „N-Energie Netz“ ein Freiluftschaltwerk, also einen überirdischen Mittelspannungsknotenpunkt. Der Leitungsweg ist daher so kurz wie möglich.



**Wechselrichter (rechts) machen aus der Gleichspannung der Batteriezellen Wechselspannung. Die Mittelspannungstrafos heben diese auf 20 Kilovolt.**

Batterien, Klimaanlagen, Steuerung, Wechselrichter und Mittelspannungstrafos – beim Ein- und Auspeichern von Energie in den Batteriespeichern fällt unweigerlich Verlustleistung in Form von Wärme ab. Wie hoch diese anteilig ausfällt, hängt laut Projektplanern bei Kyon Energy vom Betriebsmodus ab – Bau und Betrieb lohnen sich aber, wie man uns versichert, über die geplanten 15 Jahre Zelllebensdauer, an deren Ende rund 10.000 Zyklen absolviert sind. Denn aus reiner Freude am Stromspeichern haben die Österreicher der Verbund AG die Anlage in Nordbayern nicht gekauft.

## Das Geschäft

Hinter solchen Großspeichern stecken handfeste Geschäftsmodelle. Ihren Ursprung haben sie in der Funktionsweise des europäischen Stromnetzes. Denn das muss stabil funktionieren, obwohl der Verbrauch weitgehend unkoordiniert stattfindet. Bevor Sie zu Hause einen Lichtschalter umlegen oder eine Spülmaschine starten, müssen Sie niemandem Bescheid geben und keinen Antrag auf Netzzugang stellen. Im großen Maßstab führt das dazu, dass ständig und überall in Europa fleißig Lasten kommen und gehen. Technisch muss aber jedem Verbrauch auch eine Erzeugung gegenüberstehen. Schließlich kann man dem Netz nicht mehr Energie entnehmen, als alle Erzeuger zusammen eingespeist haben. Und zum Verbrauch gesellen sich noch Übertragungsverluste und die Verluste durch die Transformation über mehrere Spannungsebenen.

In einem Wechselspannungsnetz gibt es eine gut messbare Größe, an der man dieses Gleichgewicht ablesen kann: die Netzfrequenz. Die soll bei 50 Hertz

liegen, doch jeder Verbraucher zwischen Lissabon und Tiraspol senkt sie theoretisch ab, jeder Erzeuger erhöht sie. Dass die Frequenz nicht bei jedem Schaltvorgang zittert, verdanken wir zunächst einer Trägheit, die aus der Funktionsweise von Kraftwerken resultiert. In solchen drehen sich sehr große Rotoren – und für eine Senkung der Frequenz müssten diese langsamer drehen, für eine Erhöhung schneller. Aber freiwillig ändern Schwungmassen ihre Geschwindigkeit nicht so leicht – ihre Rotationsenergie stützt die Frequenz also ganz natürlich. Weitere Schwungmassen gibt es auch auf Verbrauchsseite bei industriellen Großverbrauchern.

### Volatil und doch stabil

Doch die Trägheit allein reicht nicht, um sämtliche Schwankungen in Erzeugung und Produktion über den Tag immer im Gleichgewicht zu halten. Nicht nur der Verbrauch schwankt über den Tag, auch die Erzeugung – und längst sind nicht mehr alle Erzeuger so gut steuerbar wie Gaskraftwerke. Insbesondere die Ausbeute aus Wind und Sonne kann man zwar mittels Wetterbericht und mathematischen Modellen prognostizieren, eine gewisse Unsicherheit bleibt aber. Alle Beteiligten am Strommarkt, die

Erzeugungsanlagen betreiben oder Strom für ihre Kunden einkaufen (die Bilanzkreisverantwortlichen) erstellen solche Prognosen und müssen sie für den jeweils nächsten Tag im Viertelstundenraster veröffentlichen – im Stromgeschäft heißen diese Prognosen Fahrpläne. Darin geben sie an, was sie zu verbrauchen und zu erzeugen planen.

Einerseits kaufen und verkaufen die Unternehmen auf Basis dieser Prognosen die Stommengen im Day-Ahead-Handel an der Strombörse, andererseits sind die Übertragungsnetzbetreiber auf diese Daten angewiesen. Derer gibt es in Deutschland mit 50Hertz, Amprion, TenneT und TransnetBW vier. Innerhalb ihrer Regelzonen (siehe Grafik „Regelzonen in Deutschland“) betreiben sie Hoch- und Höchstspannungsleitungen und sind auch für die Netzstabilität verantwortlich. In Österreich übernimmt diese Aufgabe die „Austrian Power Grid AG“, die wiederum 100-Prozent-Tochter der Verbund AG ist.

Die Übertragungsnetzbetreiber wissen anhand von eigenen Modellen, wie ihr Netz auf diese erwarteten Stommengen reagiert und müssen dann für den nächsten Tag planen, wie sie bei möglichen Abweichungen von den Fahrplänen ihr Netz stabil halten. Dafür brauchen sie Regelleistung, die sie bei Dienstleistern einkaufen – und hier kommen



**Der Speicher in Diespeck steht direkt neben einem Freiluftschaltwerk und ist ans Mittelspannungsnetz angeschlossen.**

Anbieter wie die Verbund AG mit ihrem Batteriespeicher ins Spiel.

## Stufenplan

Regelleistung gibt es in mehreren Varianten, die unterschiedlich schnell einsatzbereit sein müssen. Die Regelleistungen werden von den Übertragungsnetzbetreibern nacheinander aktiviert und lösen einander ab, wenn die Stufe davor das Netz nicht stabilisieren konnte. In der Tabelle „Stufen von Regelleistung“ sehen Sie die drei Stufen mit ihren deutschen sowie den englischen Bezeichnungen, die auf Ebene des europäischen Netzbetreiberverbands ENTSO-e üblich sind. Batteriespeicher kommen fast ausschließlich in der ersten Stufe zum Einsatz, als Primärregelleistung (PRL). Auf Sekundärregelleistung (SRL) und Minutenreserve (MRL) geht der Artikel daher nicht genauer ein. Dabei handelt es sich um regelbare Erzeuger (Kraftwerke) und große Erzeuger (Industrieanlagen), die auf Befehl aus der Leitstelle der Übertragungsnetzbetreiber

hoch- oder herunterfahren und gravierende Abweichungen ausgleichen.

Die Primärregelleistung dagegen wird nicht auf Befehl gesteuert, sie arbeitet ganz ohne Leitstelle und daher mit wenig Verzögerung. Ein Batteriespeicher, der diese Dienstleistung bereitstellt, überwacht mit einem Frequenzmesser direkt in der Anlage permanent die Frequenz. Solange die sich im Totband um 50 Hertz bewegt, unternimmt der Speicher nichts. Dieses Band geht von 49,99 Hz bis 50,01 Hz. Fällt die Frequenz darunter, beginnt der Speicher mit der Einspeisung ins Netz und steigert seine Leistung, wenn sie weiter fällt. Bei 49,8 Hz (einer eher großen Abweichung) muss er 100 Prozent seiner Leistung abgeben. Bei einer rapiden Schwankung darf er nicht länger als 30 Sekunden brauchen, um auf Vollast zu regeln. Übersteigt die Frequenz das obere Ende des Totbands, werden die Batterien geladen.

Im Laufe seiner Tätigkeit als Primärregelleistungsanbieter wechselt der Batteriespeicher immer wieder und ganz ohne externe Steuerung zwischen Ein- und Ausspeisung und regelt kontinuierlich nach. Weil bei jedem Laden und Entladen Verluste entstehen, muss der Betreiber zusätzlich Nachlademanagement betreiben, um die Verluste zu einem möglichst günstigen Zeitpunkt wieder auszugleichen.

Die Primärregelleistung wird nicht nach eingespeister oder eingespeicherter Strommenge, der Regelerarbeit, in Kilo- oder Megawattstunden bezahlt, sondern nur für die Bereitschaft pro bereitgestelltem Megawatt. Zahlen müssen die Übertragungsnetzbetreiber also auch dann, wenn die Speicher im gebuchten Zeitraum nichts oder fast nichts zu regeln haben. Daher haben sie ein Interesse, nicht zu viel dieser Leistung einzukaufen. Die deutschen Übertragungsnetzbetreiber berechnen zusammen den Bedarf an Primärregelleistung und schreiben den Bedarf über die Plattform regelleistung.net aus. Wer große Batteriespeicher dafür bereitstellen will, kann jeweils für 4-Stunden-Blöcke ein Angebot abgeben. Erhält er den Zuschlag, schaltet er seine Anlage in diesem Zeitraum in den Frequenzerhaltungsmodus und lässt sie arbeiten.

Um an den Auktionen teilzunehmen, muss man seine Anlage beim zuständigen Übertragungsnetzbetreiber präqualifizieren. Die veröffentlichten regelmäßig, wie viel PRL in Deutschland theoretisch bereitsteht: Mit 4,79 GW dominiert laut Auswertung für den Januar 2023 die Wasserkraft diesen Markt. Batteriespeicher liegen mit 0,63 GW aber schon auf Platz 2. Kohle-, Kern- und Gaskraftwerke sind in diesem Segment weniger im Einsatz. Sie bieten ihre Leistung

## Regelzonen in Deutschland

Vier Übertragungsnetzbetreiber teilen das Bundesgebiet in sogenannte Regelzonen.



## Stufen von Regelleistung

Art der Regelleistung	Englische Bezeichnung	Bereitstellung in	Angaben vor allem durch
Primärregelleistung (PRL)	Frequency Containment Reserve (FCR)	30 Sekunden	Großkraftwerke, Batteriespeicher
Sekundärregelleistung (SRL)	automatic Frequency Restoration Reserve (aFRR)	5 Minuten	Gas- und Pumpspeicherkraftwerke, Biogasanlagen
Minutenreserveleistung (MRL)	manual Frequency Restoration Reserve (mFRR)	15 Minuten	Gas- und Pumpspeicherkraftwerke, regelbare Großverbraucher

vorwiegend als SRL und MRL an. Die gesamte Tabelle finden Sie über [ct.de/w8kk](http://ct.de/w8kk) zum Download. Gebraucht wird in ganz Deutschland oft eine Primärregelleistung zwischen 650 und 700 Megawatt.

Was man mit PRL verdienen kann, hängt von Angebot und Nachfrage ab. Wird viel gebraucht, kann man in der Stunde auch mal 25 Euro pro angebotenem Megawatt erzielen. Zu weniger dynamischen Zeiten fällt die Bezahlung auch mal auf unter einen Euro. Wenn Sie sich für die Entwicklung der Preise interessieren, finden Sie im Kasten „Datenquellen zum Strommarkt“ ein paar ergiebige Datenquellen.

Falls Sie einen Batteriespeicher im Keller stehen haben und darüber nachdenken, sich damit für PRL zu qualifizieren, haben wir schlechte Nachrichten: Das Mindestangebot für die Auktion liegt bei einem Megawatt und das müssten Sie auch noch redundant vorhalten. Doch der Markt ist in Bewegung und neue Geschäftsmodelle liegen in den Schubladen – in wenigen Jahren könnte es normal werden, die heimischen Kleinspeicher und das Elektrofahrzeug einem Pool zur Verfügung zu stellen und dafür eine Vergütung zu erhalten. Bisherige Ansätze dazu wie Lichtblick Schwarmbatterie taten sich aber schwer.

## Handel mit Strom

Die Batteriespeicher der Verbund AG laufen nicht den ganzen Tag im PRL-Modus. Die Entscheidung, wann sich eine Teilnahme an der Auktion lohnt, treffen Algorithmen – sie hängt auch davon ab, wie lukrativ ihr zweiter Betriebsmodus ist. Der Betreiber kann mit dem Speicher auch Arbitrage-Geschäfte im Intraday-Handel abwickeln. Ganz vereinfacht bedeutet das: Wenn der Strom billig ist, wird der Speicher vollgemacht, die Energie ein paar Stunden eingelagert und in Phasen mit hohen Preisen wieder ausgespeichert.

Unter einer Arbitrage versteht man das Ausnutzen von Preisschwankungen, um risikolos Gewinne zu erzielen – und diesen Aspekt betonen auch die Betreiber: Es handelt sich ausdrücklich nicht um Spekulation, sondern um sichere Geschäfte. Bei einer

Spekulation würde man den Strom günstig bunkern und hoffen (nicht wissen), dass man ihn irgendwann teurer verkaufen kann. Bei einer Arbitrage weiß man, dass man einen Gewinn erwirtschaftet, weil man zum Beispiel den Kauf um 8:00 und den Verkauf um 13:45 zeitgleich im Vorfeld abschließt. Das einzige Risiko besteht darin, dass der Speicher in der Zwischenzeit kaputtgeht.

Dieser Intraday-Handel findet an der Strombörse statt und hier kommen wieder die Bilanzkreisverantwortlichen (BKV) ins Spiel. Die haben bereits am Vortag ihre Fahrpläne an die Übertragungsnetzbetreiber gemeldet und sind dann dafür verantwortlich, diese Prognose im Viertelstundenraster einzuhalten – sonst müssen sie die Abweichungen in Form von Ausgleichsenergie bezahlen. Ein Bilanzkreisverantwortlicher kann zum Beispiel ein Betreiber von Windparks sein oder die lokalen Stadtwerke. Der Windparkbetreiber hat ein Problem, wenn der Wind wider Erwarten ausbleibt oder stärker bläst, die Stadtwerke, wenn die Kunden weniger oder mehr konsumieren. Beide wollen am Ende einer Viertelstunde ihren Bilanzkreis glattstellen, also jemanden auf dem Markt finden, der die Strommenge an- oder verkauft.

Der Windparkbetreiber ist in der Flaute vielleicht froh, wenn er anderswo in derselben Regelzone jemanden findet, der gerade zu viel Strom auf dem Verrechnungskonto hat. Beide bieten ihre Strommengen im Spotmarkt für einen Viertelstunden-Slot an, die Börse bringt beide zusammen und es findet ein anonymer und virtueller Austausch statt – der Strom wird nicht real transportiert. In diesem Markt können auch die Speicherbetreiber mitmischen und Kontingente an- und verkaufen. Die Entscheidungen, welche Arbitrage-Geschäfte der Speicher macht, treffen aber keine menschlichen Händler, die sich auf dem Börsenparkett Preise und Megawattstunden zubrüllen. Das Geschäft erledigen vielmehr Algorithmen, die von Kennern des Energiemarkts programmiert wurden. Die Speicher hängen je nach Verfügbarkeit per DSL, Glasfaser oder Mobilfunk am

## Datenquellen zum Strommarkt

Wie viel Regelenergie wird am Tag eingesetzt, was kostet Strom an der Börse und wie stark schwankt die Netzfrequenz wirklich? Antworten auf solche Fragen geben verschiedene Datenquellen im Internet. Ein paar nützliche Plattformen haben wir zusammengetragen. Die Links finden Sie auch über [ct.de/w8kk](http://ct.de/w8kk).

Erste Anlaufstelle für Daten zu Strommarktteilnehmern, Erzeugungs- und Verbrauchsanlagen ist das **Marktstammdatenregister der Bundesnetzagentur** ([www.marktstammdatenregister.de](http://www.marktstammdatenregister.de)). Dort müssen nicht nur Betreiber von privaten PV-Anlagen ihre Daten eintragen, auch Kraftwerke und Batteriespeicher sind dort gelistet. Wenn Sie zum Beispiel wissen wollen, wo die anderen Batteriespeicher der Verbund AG stehen, suchen Sie nach Stromerzeugungseinheiten und richten einen Filter auf die „MaStR-Nr. des Anlagenbetreibers“ ein. Die Verbund AG hat die Nummer ABR932212103470. Die Frage, wie viele Großspeicher im Megawattbereich es in Deutschland gibt, kann das Portal leider nicht sehr zuverlässig beantworten. Ein kurzer Blick zeigt: Leider verwechseln viele private Betreiber von Speichern die Einheiten und tragen einen 10.000-kWh-Speicher mit dem Namen „Keller“ als 10-GWh-Speicher ein.

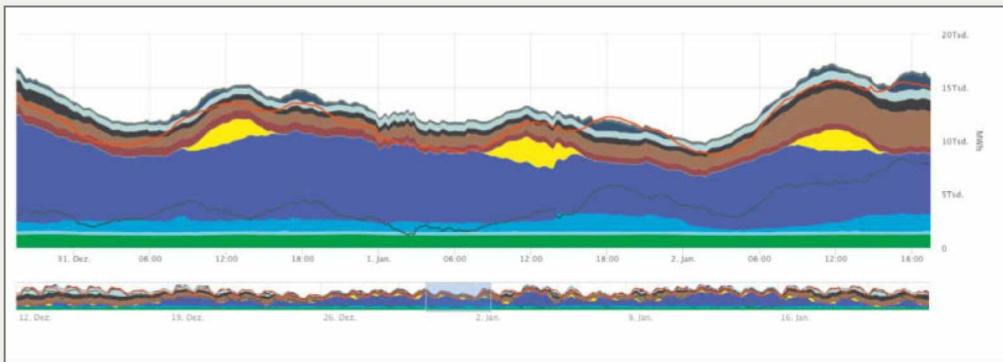
Empfehlenswert für Recherchen ist eine zweite Plattform der Bundesnetzagentur mit dem kreativen Namen SMARD ([smard.de](http://smard.de)). Dort findet man oben den Reiter „Marktdaten visualisieren“. Diese Plattform trägt allerlei Daten zum

Strommarkt zusammen und erzeugt Diagramme. In den Reitern oben muss man Themenbereiche aktivieren, die man aufs Diagramm zeichnen will. Neben Stromerzeugung und Verbrauch gibt es da auch einen Reiter für Systemstabilität, der Informationen zu PRL und anderen Regelleistungen liefert. SMARD beantwortet auch die Frage, wie hoch der Anteil verschiedener Energieträger an der Erzeugung über den Tagesverlauf ist.

Die Ausschreibung von Regelleistung organisieren die Übertragungsnetzbetreiber über ihre Plattform **regelleistung.net**. Für die Recherche ist die Seite aber nicht die erste Anlaufstelle. Besser eignet sich dafür die von einer Privatperson betriebene Internetseite [regelleistung-online.de](http://regelleistung-online.de). Dort findet man neben zusammengetragenen Diagrammen auch lesenswerte Analysen und Berechnungen zu verschiedenen Szenarien.

Ein anderes Privatprojekt mit nützlichen Auswertungen ist **netzfrequenz.info**. Der Betreiber misst selbst die Frequenz und generiert aktuelle und historische Diagramme. Die verraten auch, welche Regelleistung aktuell eingesetzt wird, um die Frequenz wieder auf 50 Hertz zu bringen.

Wenn es ums Geld geht, ist die Börse der richtige Datenlieferant. Unter der Adresse [epexspot.com/de/node/180](http://epexspot.com/de/node/180) findet man das Datenwerkzeug der Strombörse Epex Spot. Um mit den Filtern sinnvolle Auswertungen zu bekommen, ist aber etwas Einarbeitung nötig.



**SMARD, die Datenplattform der Bundesnetzagentur zeichnet Diagramme zu Stromverbrauch, -erzeugung und auch zur Regelleistung. Der breite blaue Balken im Diagramm zeigt, welche Strommenge die Windkraft beisteuert, Photovoltaik ist gelb, Braunkohle hellbraun.**

Internet und setzen die abgeschlossenen Geschäfte auf Kommando in Ein- und Ausspeisung innerhalb der vereinbarten 15-Minutenraster um.

## Was das bringt

Batteriespeicher wie die in Diespeck und Iphofen sind also kein selbstloses Geschenk des österreichischen Betreibers, um Stromausfälle im Landkreis zu verhindern. Sie sollen zunächst die Bau- und Planungskosten wieder einspielen und dann Gewinn abwerfen. Und dennoch haben sie positive Effekte – sowohl auf die Netzstabilität als auch auf die Strompreise, die letztlich jeder Verbraucher zahlen muss. Zunächst auf Seiten der Primärregelleistung: Von der wird im Netz zunehmend mehr gebraucht, je größer der Anteil nicht-regelbarer erneuerbarer Energie ist. Solange das Gesetz von Angebot und Nachfrage gilt, senken mehr Speicher langfristig die Preise für diese Dienstleistung. Und die bezahlen am Ende der Kette nicht die Übertragungsnetzbetreiber selbst, weil sie die Kosten umlegen und in Form von Netznutzungsentgelten von jedem Stromkunden zurückfordern.

Auch das Intraday-Volumen wächst seit Jahren stetig an, die Bilanzkreisverantwortlichen liegen mit ihren Prognosen also tendenziell immer öfter daneben und müssen nachsteuern. Jeder Großspeicher, der am Arbitrage-Handel teilnimmt, verschiebt Energie ja nicht nur virtuell an der Börse, sondern verlagert auch ganz real die Energie und entzerrt so Spitzenzeiten. Mehr große Speicher im System senken die Spitzenpreise also langfristig.

## Einer fehlt

Ein Akteur kam bisher in der Erklärung nicht vor und auch zur Eröffnungsfeier der Verbund AG in Diespeck schickte er keinen Vertreter: der lokale Verteilnetzbetreiber. Verteilnetzbetreiber (VNB) bewirtschaften die Netze auf den unteren Spannungsebenen bis hin zum Hausanschluss, oft sind es die lokalen Stadtwerke. Diespeck liegt im Netzgebiet von N-Energie Netz aus Nürnberg und dieses Unternehmen hat den Speicher an sein Mittelspannungsnetz angeschlossen. Behandelt wird die Anlage aber wie jeder andere Verbraucher oder Erzeuger in dieser Größe. Per Fernwirktechnik kann N-Energie die Anlage im Notfall vom Netz nehmen, so wie es der Netzbetreiber mit einem großen PV- oder Windkraftpark auch tun könnte. Aus Sicht des österreichischen Betreibers lässt sich N-Energie damit aber eine Gelegenheit ent-

gehen: Der Speicher wird nicht netzdienlich eingesetzt, wie es im Strommarkt heißt.

Auch ein Verteilnetzbetreiber ist für Netzstabilität verantwortlich – muss aber etwas andere Probleme lösen als TenneT, Amprion, 50Hertz und TransnetBW. Im lokalen Verteilnetz geht es um Herausforderungen wie Engpassmanagement und nicht um die Frequenz des europäischen Verbundnetzes. Solche Engpässe können entstehen, wenn Trassen überlastet sind und in der Folge in einzelnen Netzbereichen Energie fehlt, in anderen zu viel bereitsteht. Ein Batteriespeicher kann dabei helfen, bei örtlicher Unterversorgung fehlende Energie zu liefern oder Überschüsse schnell abzunehmen, bevor zum Beispiel ein Windrad abgeregelt wird. Der Gesetzgeber hat im Energiewirtschaftsgesetz in den Paragraphen 13 und 14 bereits eine Möglichkeit geschaffen, dass die Verteilnetzbetreiber auf solche Speicher in ihrem Gebiet zugreifen, sie bei Engpässen aus ihren Leitstellen steuern und die Betreiber dafür vergüten. Laut den Projektplanern bei Kyon Energy ist das Interesse an dieser Leistung bei deutschen Netzbetreibern bisher aber gering, obwohl es im Rahmen der Anmeldung immer angeboten wird. „Dabei ist es für Verteilnetzbetreiber viel günstiger, bei wenigen Engpässen im Jahr auf bestehende Speicher zuzugreifen als solche speziell für Engpässe selbst zu betreiben oder das Netz auszubauen“, ergänzt Geschäftsführer Antwerpen.

## Dynamischer Markt

Der Strommarkt ist im Wandel und die Zeiten, in denen der stellvertretende Ministerpräsident zur Eröffnung eines Batteriespeichers anreist, werden bald enden. Großspeicher sind auf dem Weg, gewöhnlich zu werden und nicht nur österreichische Unternehmen investieren aktuell in Deutschland in solche Anlagen. So plant zum Beispiel RWE, im Jahr 2023 mit dem Bau von zwei Speichern in Hamm und Neurath zu beginnen, die zusammen 220 Megawatt leisten und 2024 in Betrieb gehen sollen. Und auch abseits von Lithium-Ionen-Technik gibt es Bewegung und andere Ideen, wie man Großspeicher bauen kann. Gleich mehrere Unternehmen arbeiten an Redox-Flow-Batterien, bei denen die elektrische Energie chemisch in zwei Tanks mit Elektrolyten gespeichert werden soll. Von solchen Forschungen verspricht man sich Speicher, die gut skalierbar und weniger anfällig für Verschleiß sind. Bis die im Megawattbereich mitspielen, ist aber noch Forschungsarbeit nötig. (jam) 



Bild: Stadtwerke Jena / Scheere Photos, Jena

# Für wen sich Smart Meter lohnen

Angesichts der hohen Strompreise interessieren sich immer mehr Menschen für ein Smart Meter beziehungsweise „intelligentes Messsystem“. Doch was können die Geräte eigentlich, für wen lohnen sie sich und wie kommt man an sie heran? Ein Überblick.

Von Christian Wölbert

Die Meinungen über Smart Meter gehen weit auseinander: Einige lehnen die vernetzten Stromzähler vehement ab, weil sie sich davon keine Vorteile versprechen, aber mehr zahlen müssten als für ihren alten Drehscheibenkasten. Manch einer redet gar von „Schnüffelzählern“, mit denen der Staat überwachen könne, welchen TV-Sender man gerade schaut.

Andere hingegen wollen den Energieverbrauch ihres Haushalts im Monats-, Tages- oder Viertelstunden-Raster überwachen und geben dafür gern

ein paar Euro im Monat aus. Oder sie laden mit zeitabhängigen Tarifen ihr E-Auto genau dann, wenn der Strom gerade billig ist. Aus Sicht vieler Experten ist eine derart flexible Steuerung künftig sogar unverzichtbar, weil sonst die vielen Wallboxen das Netz überlasten würden oder der Ausbau viel zu teuer würde.

Bislang bewegt sich diese Debatte auf abstrakter Ebene, weil noch kaum jemand ein Smart Meter hat, also ein „intelligentes Messsystem“, wie es offiziell in Deutschland heißt. Es besteht aus einem elektro-

nischen Stromzähler („moderne Messeinrichtung“) und einem Smart-Meter-Gateway. Nach Schätzungen des Smart-Meter-Herstellers PPC – amtliche Zahlen gibt es nicht – wurden bis Herbst 2022 bundesweit erst rund 300.000 der Systeme installiert.

### Smart Meter werden billiger

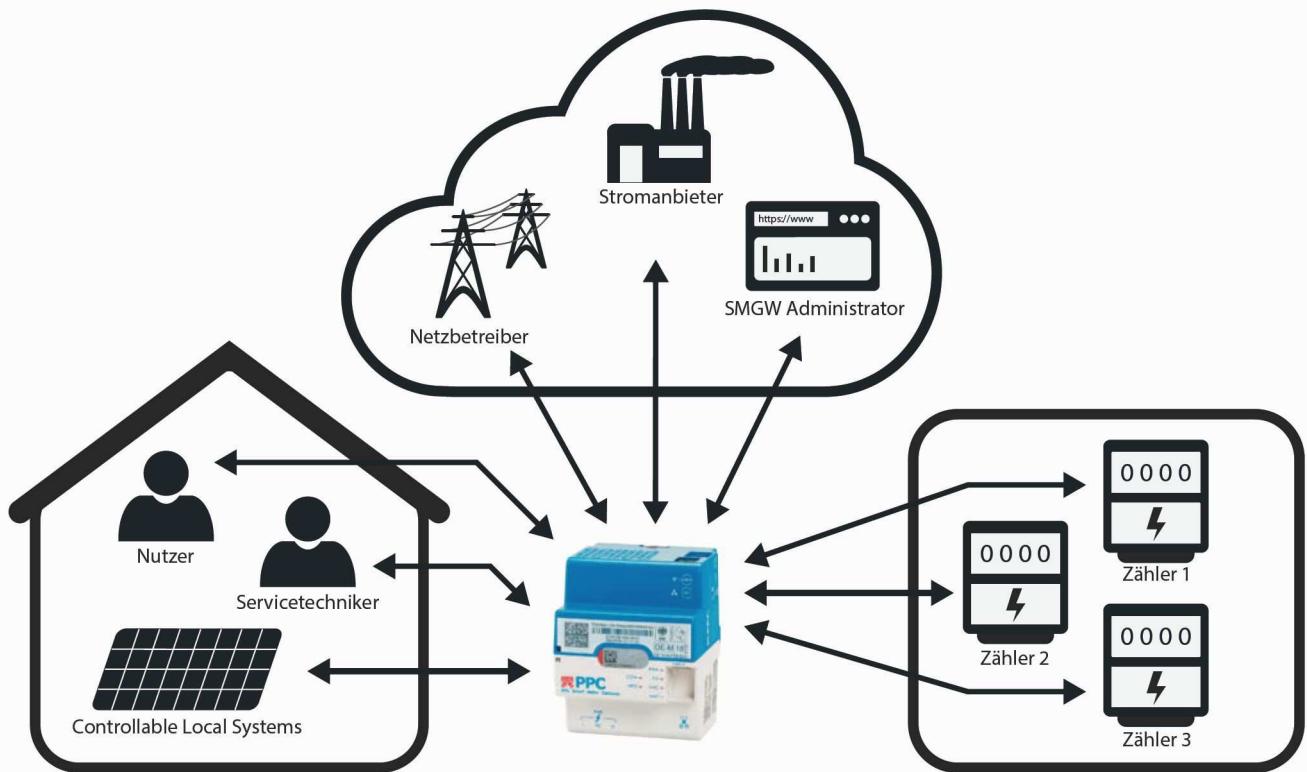
Doch mit den Strompreisen ist in den vergangenen Jahren auch das Interesse an Smart Metern gestiegen. In einer im September 2022 veröffentlichten Bitkom-Umfrage wünschten sich 78 Prozent der Befragten ein solches System. 2018 waren es erst

36 Prozent, die Stimmung hat sich also binnen weniger Jahre gedreht.

Mitte Oktober versprach zudem Bundeswirtschaftsminister Robert Habeck mehr Schwung für Smart Meter: Mit einer Novelle des Messstellenbetriebsgesetzes (Msbg) will er bürokratische Hürden abbauen und so die Installationskosten senken, damit die Stromnetzbetreiber die Geräte schneller und günstiger in die Fläche bringen. Außerdem sollen die Kosten für die Nutzer drastisch sinken – im Normalfall auf 20 Euro im Jahr. Den Großteil der Kosten sollen künftig die Netzbetreiber tragen, wodurch die Netzentgelte für alle Stromkunden steigen dürften.

## Die Kommunikationsbereiche des Smart Meter Gateway

Ein Smart Meter Gateway kommuniziert grundsätzlich mit drei Bereichen: Im Local Metrological Network (LMN) empfängt es Messwerte von angeschlossenen Zählern für Strom, Gas, Wasser oder Wärme. Im Wide Area Network (WAN) überträgt es Messwerte an autorisierte Empfänger, zum Beispiel an den Stromanbieter sowie an den „Smart Meter Gateway Administrator“, der die Daten für den Nutzer anschaulich aufbereitet. Im Home Area Network (HAN) des Nutzers stellt das Gateway Messwerte bereit und soll künftig „Controllable Local Systems“ wie PV Anlagen und Wärmepumpen steuern.





**Smart-Meter-Gateway: Die Geräte übermitteln Zählerdaten verschlüsselt ans Heimnetz des Nutzers und an berechtigte Empfänger im Internet.**

### „Tarifanwendungsfälle“ bei Smart-Meter-Gateways

Bezeichnung laut BSI	Beschreibung
Tarifanwendungsfall (TAF) 1: Datensparsame Tarife	Das Smart-Meter-Gateway (SGW) versendet nur einen Zählerstand pro Abrechnungszeitraum an den Stromlieferanten. Dieser erhält nicht mehr Daten als für die Abrechnung nötig.
TAF 2: Zeitvariable Tarife	Das SGW speichert Energiemengen zeitabhängig in unterschiedlichen Registern und ermöglicht dadurch zeitvariable Tarife. Kunden können zum Beispiel ihr E-Auto dann laden, wenn der Strom gerade günstig ist.
TAF 6: Abruf von Messwerten im Bedarfsfall	Das SGW speichert tagessgenaue Zählerstände der letzten sechs Wochen und versendet diese in begründeten Fällen wie Umzug oder Anbieterwechsel.
TAF 7: Zählerstandsgangmessung	Das SGW erfasst Zählerstände für Energieverbrauch und -erzeugung im Viertelstundentakt. Das ermöglicht unter anderem die Steuerung von Wärmepumpen und Wallboxen sowie eine grafische Aufbereitung der Messdaten für den Stromkunden.
TAF 9: Bereitstellung der Ist-Einspeisung einer Erzeugungsanlage	Das SGW versendet im Bedarfsfall oder periodisch die aktuelle Ist-Einspeiseleistung zum Beispiel einer PV-Anlage an berechtigte Empfänger.
TAF 10: Abruf von Netzzustandsdaten	Das SGW übermittelt periodisch oder auf Verlangen Netzzustandsdaten (z. B. Wirkleistung, Frequenz) an den Netzbetreiber, damit dieser Engpässen vorbeugen kann.
TAF 14: Hochfrequente Messwertbereitstellung für Mehrwertdienste	Das SGW übermittelt auf Wunsch des Stromkunden in kurzen Intervallen (maximal 60 Sekunden) aktuelle Messwerte. Die Daten können Kunden zum Beispiel helfen, Stromfresser im Haushalt zu identifizieren.

Quellen: BSI TR03109-1; MsbG; Verbraucherzentrale Schleswig-Holstein

Wir haben grundlegende Fakten zu Smart Metern zusammengetragen: was die Geräte können und für welche Zielgruppen sie besonders interessant sind. Außerdem erklären wir, wie man an ein Smart Meter herankommt.

### Eierlegende Wollmilch-Meter

Der Begriff Smart Meter führt wie oben angedeutet ein wenig in die Irre, weil es sich eigentlich um eine Kombi aus zwei Geräten handelt (moderne Messeinrichtung plus Gateway). Hinzu kommt: In Deutschland geht es gar nicht nur ums Auslesen von Zählerdaten (Metering), sondern auch ums Steuern. Die Gateways sollen auch Signale von Netzbetreibern empfangen und im Haushalt zum Beispiel an ein Energiemanagementsystem weiterleiten können, das Verbrauchseinrichtungen (wie Wallboxen oder Wärmepumpen), Stromspeicher (wie E-Auto-Akkus) und dezentrale Erzeuger wie PV-Anlagen regelt. So soll die Energie möglichst dann gezapft werden, wenn der Wind pustet oder die Sonne strahlt. Und damit die Stromnetze nicht überlasten, sollen nicht alle E-Autos abends laden, sondern über die Nacht verteilt.

Smart Meter für den deutschen Markt müssen neben dem MsbG ein Konvolut weiterer Vorgaben erfüllen. Das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) diktieren in einer Technischen

Richtlinie (TR-03109) und in einem Schutzprofil haarklein, wie Sicherheit, Datenschutz und Interoperabilität zu gewährleisten sind. Allein die TR-03109 umfasst über 700 Seiten. Auch für die Produktion und die Auslieferung gibt es strenge Sicherheitsvorgaben. Aktuell erfüllen vier Smart-Meter-Gateways die Anforderungen des Schutzprofils, drei sind obendrein gemäß TR-03109 zertifiziert. Letztere stammen von den Herstellern PPC, EMH und Theben.

### LMN, HAN, WAN, TAF

In Deutschland verbindet ein Smart-Meter-Gateway nach der Definition des BSI drei Kommunikationsbereiche miteinander: das lokale metrologische Netz (LMN), das Heimnetz des Nutzers (Home Area Network, HAN) und das Wide Area Network (WAN). Im LMN liest das Gateway die angeschlossenen Zähler aus (für Strom, aber auch für Gas, Wasser oder Wärme), im WAN kommuniziert es unter anderem mit dem Netzbetreiber und dem Stromlieferanten und im HAN liefert es dem Nutzer Daten und soll zum Beispiel auch mit der Wallbox oder der Wärmepumpe sprechen.

Für die Kommunikation mit den Zählern brauchen die Gateways nach den BSI-Vorgaben eine drahtlose (Wireless M-Bus) sowie eine drahtgebundene Schnittstelle (RS-485). Für das HAN ist zumindest eine Ethernet-Buchse Pflicht. Für das WAN gibt es

unter anderem Modelle mit Ethernet, LTE oder der lizenzenfreien IoT-Funktechnik LoRaWAN.

Für die abrechnungsrelevanten Funktionen von Smart-Meter-Gateways hat das BSI sich das schöne Wort Tarifanwendungsfälle (TAF) ausgedacht. Die Tabelle „Funktionsumfang Smart Meter (TAF)“ zeigt alle bisher vom BSI freigegebenen TAF; sämtliche TR-03109-zertifizierten Gateways müssen diese unterstützen.

### Was bringt?

Auf die Frage, ob sich ein Smart Meter lohnt, muss man wie so oft antworten: Es kommt darauf an. Einfach zu beantworten ist nur die Frage, was die Systeme den Anschlussnutzer kosten. Denn die meisten Anbieter – die Messstellenbetreiber, die meistens auch das örtliche Stromnetz betreiben – berechnen exakt so viel, wie sie laut MsbG maximal dürfen. Aktuell liegen die Preisobergrenzen je nach Stromverbrauch noch zwischen 23 und 100 Euro im Jahr. Ein Durchschnittshaushalt mit einem Stromverbrauch von gut 3000 kWh zahlt 40 Euro fürs Smart Meter.

Wenn die von Wirtschaftsminister Robert Habeck versprochenen Gesetzesänderungen wie geplant noch vor dem Sommer in Kraft treten, sinken die Preise für Nutzer erheblich: Haushalte zahlen dann in der Regel nur noch 20 Euro im Jahr. 50 Euro jährlich sollen es sein, wenn man eine „steuerbare Verbrauchseinrichtung“ hat, also zum Beispiel eine

Wärmepumpe im Keller oder eine Wallbox in der Garage (samt einem speziellen Stromtarif mit reduzierten Netzentgelten).

Zum Vergleich: Für einen analogen Ferraris-Zähler verlangen die Betreiber laut den Verbraucherzentralen typischerweise etwa 13 Euro jährlich. Für ein Smart Meter zahlt man also, wenn die Reform wie geplant in Kraft tritt, 7 Euro mehr. Allerdings verichtet grob geschätzt bereits in jedem zweiten Haushalt ein elektronischer Zähler ohne Gateway („moderne Messeinrichtung“) seinen Dienst. Dieser kostet in der Regel 20 Euro im Jahr und ist bis 2023 Pflicht. Das Gateway gibt es also, wenn die Reform wie geplant in Kraft tritt, künftig gratis dazu.

Auf der anderen Seite stellt sich die Frage, was man mit dem Smart Meter überhaupt anfangen will. Manch einer mag einfach aus Neugier seinen Energieverbrauch im Viertelstundenraster verfolgen. Dafür erhält man in der Regel von seinem Stromlieferanten Zugangsdaten für ein Onlineportal, das die Smart-Meter-Daten grafisch aufbereitet. Eventuell motiviert die neue Transparenz den einen oder anderen auch zum Stromsparen. In den meisten Haushalten ohne E-Auto gibt es jedoch kaum große Stromfresser, auf die man gerne verzichtet – weniger Kochen, Backen und Waschen ist selten eine Option.

Hinzu kommt: Nur fürs Messen braucht man nicht unbedingt ein Smart Meter. Einzelne Stromfresser identifiziert man viel einfacher mit einem Zwischenstecker, der nur ein paar Euro kostet (siehe Artikel „Strommesser im Vergleichstest“ ab Seite 114). Den gesamten Haushaltsverbrauch kann man auch mit einem Zwischenzähler oder einem Lesekopf für den elektronischen Zähler überwachen, ohne laufende Kosten (siehe Artikel „Ertrag und Verbrauch messen und auswerten“ ab Seite 64).

## Sicherheit und Datenschutz

Wann ist man zu Hause, wie viele Personen wohnen im Haushalt, welche Geräte nutzen sie wann? Durch sekundengenaue Überwachung des Stromverbrauchs können Smart-Meter-Gateways im Prinzip umfangreiche Persönlichkeitsprofile erstellen. Und theoretisch könnten Hacker in Zukunft versuchen, über die Systeme zum Beispiel Wallboxen zu manipulieren und dadurch Stromnetze zu überlasten.

Das BSI hat deshalb extrem detaillierte Anforderungen an die Geräte formuliert. Aus Sicherheitsgründen kommunizieren Smart-Meter-Gateways nur verschlüsselt, alle Verbindungen müssen von dem Gerät ausgehen. Alle Datenempfänger im Internet benötigen ein Zertifikat aus einer vom BSI überwachten Public-Key-Infrastruktur. Das BSI kontrolliert die Einhaltung der Vorgaben nach eigenen Angaben mit „funktionalen Tests, Quellcode-Analysen und Sicherheitstests“.

## Zeitschaltuhr fürs E-Auto

Bei variablen Stromtarifen wie von Tibber oder Awattar sieht die Rechnung unter Umständen schon anders aus. Weil sich hier der Preis stündlich ändert, kann man versuchen, Strom dann zu verbrauchen, wenn er an der Börse gerade billig ist. Geht es dabei nur um normale Haushaltsgeräte wie Spül- und Waschmaschine, lohnt sich das nicht unbedingt. Für E-Auto-Besitzer rechnen sich die schwankenden Strompreise schon eher.

Bei Awattar brauchen Neukunden für den dynamischen Stromtarif ab sofort ein Smart Meter. Das sei nötig, „damit wir als Stromlieferant im Hintergrund die korrekte Abrechnung erhalten“, erklärte

## Wie Sie an ein Smart Meter kommen

Für die meisten „normalen“ Haushalte ist es derzeit noch schwierig bis unmöglich, ein Smart Meter beziehungsweise intelligentes Messsystem im Sinne des Messstellenbetriebsgesetzes (MsbG) zu erhalten.

Denn die Messtellenbetreiber – üblicherweise ist das der Betreiber des örtlichen Stromnetzes – müssen nur drei Gruppen mit Smart Metern ausstatten (nicht sofort, aber sukzessive): Haushalte mit einem Jahresstromverbrauch von über 6000 kWh, mit einer Solaranlage ab 7 Kilowatt Leistung oder mit einer „steuerbaren Verbrauchseinrichtung“ wie einer Wärmepumpe oder Wallbox. Letzteres gilt nur, wenn der Nutzer gemäß §14a des Energiewirtschaftsgesetzes einen Stromtarif mit reduzierten Netzentgelten gewählt hat, was sich nicht immer lohnt.

Da Haushalte in Deutschland im Schnitt rund 3000 kWh verbrauchen, fallen die meisten nicht unter die Einbaupflicht.

Wer trotzdem gerne ein Smart Meter möchte, muss beim Messstellenbetreiber nachfragen. Das Unternehmen hat dann aktuell noch die Wahl, ob es das System einbaut oder nicht. Entscheidet es sich dafür, darf es laut §33 MsbG ein „angemessenes Entgelt“ verlangen, das über die gesetzlichen Höchstpreise beim Pflichteinbau hinausgeht. Typisch sind einmalige Kosten von 80 bis 150 Euro.

Die von Bundeswirtschaftsminister Robert Habeck geplante Novelle des MsgG soll allerdings die Spielregeln ändern. Laut § 34 Absatz 2 des Gesetzentwurfs müssen Messstellenbetreiber künftig auf Verlangen zum Beispiel des Anschlussnutzers innerhalb von vier Monaten ein Smart Meter installieren. Dafür dürfen sie laut dem Entwurf eine einmalige Gebühr von 30 Euro und eine jährliche Zusatzgebühr von 10 Euro erheben. Verbraucher erhalten also, wenn die Reform wie geplant in Kraft tritt, erstmals ein Recht auf einen Smart-Meter-Einbau.

das Unternehmen auf Anfrage. Bei Tibber hingegen ist ein Smart Meter kein Muss. Dort reicht alternativ ein elektronischer Zähler, auf den der Kunde einen von Tibber angebotenen Lesekopf namens Pulse setzt. Die Wallbox steuern weder Tibber oder Awattar noch der Stromanbieter und Batteriespeicherhersteller Sonnen über das Smart Meter. Awattar zum Beispiel nutzt dafür die Internetverbindung der Wallbox von Go-e [1].

Interessant ist der Einbau für Besitzer von Photovoltaikanlagen. Mit einem Smart Meter können sie ihren Strom direkt vermarkten statt die gesetzliche Einspeisevergütung zu kassieren. Bei neuen PV-Anlagen kann sich das derzeit lohnen: „Sie erhalten dabei aktuell 10 Cent/kWh statt 8,2 Cent/kWh, die sie in der EEG-Vergütung erhalten würden“, rechnet Sonnen vor.

## Ausblick

Aus Verbrauchersicht sind Smart Meter also vor allem für Besitzer eines E-Autos oder einer PV-Anlage interessant oder für Neugierige, die ihren Stromverbrauch genau überwachen wollen. Experten gehen aber davon aus, dass Smart Meter auch generell immer wichtiger werden. Künftig könnte außer dem

Börsenstrompreis auch das Netzentgelt flexibel gestaltet werden, sodass Kunden, die ihren Verbrauch in günstige Zeiten verschieben, noch stärker profitieren. Und die Zahl der E-Autos und Wärmepumpen dürfte weiter schnell steigen. „Deswegen werden die variablen Tarife und die Flexibilisierung von Lasten an Bedeutung gewinnen“, prophezeit Ingo Schönberg, Chef des Smart-Meter-Herstellers PPC, im Gespräch mit c't.

Schönberg betont, dass Netzbetreiber künftig nicht entscheiden, wer wann sein E-Auto laden dürfe. „Das Netz wird technische Leitplanken für Einspeisung und Bezug vorgeben. Solange man diese einhält, wird man dafür finanziell belohnt. Der Endkunde wird zum Partner des sicheren Netzbetriebs“, sagt er.

Auch Johannes Roth, Smart-Meter-Experte bei der Beratungsfirma Q-Perior, geht davon aus, dass künftig viel mehr Stromanbieter flexible Tarife anbieten, auch klassische Stadtwerke: „Das muss kommen, damit für den Endverbraucher ein monetärer Mehrwert entstehen kann.“ Von der besseren Auslastung der Netze würden dann indirekt auch Haushalte ohne E-Auto oder Wärmepumpe profitieren – weil die Netzentgelte stabil bleiben oder zumindest weniger stark steigen. (cwo) **c't**

## Literatur

- [1] Sven Hansen, **Smarter laden und sparen**, E-Autos laden mit Go-e-Charger und stundengenauem Tarif, c't 12/2020, S. 94

**BSI-Richtlinien**  
[ct.de/wma5](http://ct.de/wma5)

# 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](http://www.heise.de)

**Leserbriefe und Fragen zum Heft:**  
[sonderhefte@ct.de](mailto:sonderhefte@ct.de)

Die E-Mail-Adressen der Redakteure haben die Form xx@ct.de oder xxx@ct.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:** Jobst-H. Kehrhahn (keh)  
(verantwortlich für den Textteil)

**Konzeption:** Jan Mahn (jam), Andrijan Möcker (amo)

**Koordination:** Pia Ehrhardt (piae), Angela Meyer (anm)

**Redaktion:** Ernst Ahlers (eal), Jan Mahn (jam),  
Pina Merkert (pmk), Angela Meyer (anm),  
Andrijan Möcker (amo), Georg Schnurer (gs),  
Christian Wölbert (cwo), Sophia Zimmermann (ssi)

**Mitarbeiter dieser Ausgabe:** Luca Zimmermann

**Assistenz:** Susanne Cölle (suc), Tim Rittmeier (tir),  
Christopher Tränkmann (cht), Martin Triadan (mat)

**DTP-Produktion:** Dörte Bluhm, Lara Bögner,  
Beatrix Dedeck, Madlen Grunert, Lisa Hemmerling,  
Cathrin Kapell, Steffi Martens, Marei Stade,  
Matthias Timm, Christiane Tümmeler, Ninett Wagner

**Digitale Produktion:** Christine Kreye (Ltg.),  
Kevin Harte, Thomas Kaltschmidt, Martin Kreft,  
Pascal Wissner

**Fotografie:** Andreas Wodrich, Melissa Ramson

**Illustration:** Rudolf A. Blaha, Frankfurt am Main;  
Thorsten Hübner, Berlin; Andreas Martini, Wettin;  
Moritz Reichartz, Viersen

**Titel:** Steffi Martens, [www.freepik.de](http://www.freepik.de)

## 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](http://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 Anzeigenteil),  
[www.heise.de/mediadaten/ct](http://www.heise.de/mediadaten/ct)

**Anzeigenverkauf:** Verlagsbüro ID GmbH & Co. KG,  
Tel.: 05 11/61 65 95-0, [www.verlagsbuero-id.de](http://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](mailto:info@dermedienvertrieb.de)  
Internet: [dermedienvertrieb.de](http://dermedienvertrieb.de)

**Einzelpreis:** € 19,90; Schweiz CHF 33.50;  
Österreich € 20,90; Luxemburg € 22,90

**Erstverkaufstag: 18.04.2023**

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](http://www.xpublisher.com)

Printed in Germany.

Alle Rechte vorbehalten.

© Copyright 2023 by  
Heise Medien GmbH & Co. KG



Bild: Andreas Martini

# Zwischenzähler zur Verbrauchsmessung

Wer den Energieverbrauch in Haus oder Wohnung dauerhaft im Blick haben will, dem helfen Energiezähler für die 35-mm-Schiene. Es gibt sie in sehr unterschiedlicher Ausprägung. Wir haben uns sechs Exemplare von simpel bis redselig angesehen.

Von **Georg Schnurer**

Um mal eben schnell den Energieverbrauch einzelner Geräte zu messen, eignen sich Zwischenstecker, die wir bereits mehrfach in c't getestet und vorgestellt haben, zuletzt in [1]. Sie helfen, besonders durstige Exemplare zu identifizieren. Will man hingegen wissen, wie viel elektrische

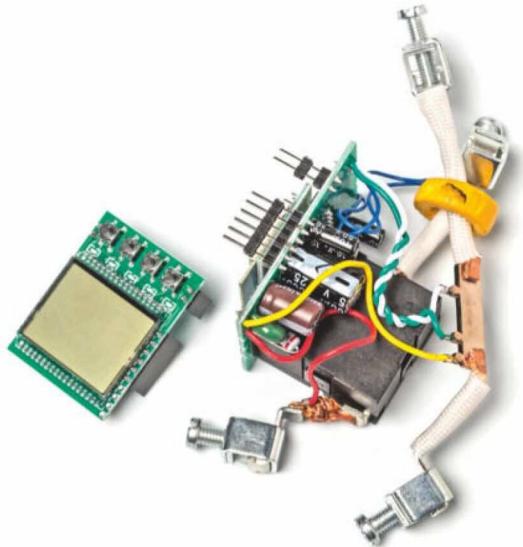
Energie in Bastelwerkstatt, Küche oder andere Räume fließt, schlägt die Stunde der hier vorgestellten Zwischenzähler. Sie kommen in den Verteilerkasten und erfassen als private Messstelle die Energie, die einzeln abgesicherte Bereiche von Haus oder Wohnung verbrauchen.

Wie detailliert das klappt, hängt von der Verkaubelung ab: In modernen Gebäuden gibt es oft für jeden Raum eine eigene Sicherung. Ganz komfortable Installationen trennen auch noch für jeden Raum den Lichtstromkreis von dem für Steckdosen – bei einem Kurzschluss durch ein defektes Gerät in der Steckdose steht man dann nicht sofort im Dunkeln. Hinzu kommen mitunter einzeln abgesicherte Stromkreise für Backofen, Waschmaschine und andere Großverbraucher. Jeden dieser Stromkreise kann man theoretisch mit einem eigenen Zwischenzähler ausstatten. Was in der eigenen Behausung möglich ist, verrät ein Blick in den Zählerkasten: Finden sich dort nur ein oder zwei Sicherungen, lohnen Zwischenzähler kaum. Den Gesamtverbrauch erfasst ja schon der Zähler des Energieversorgers. Je mehr einzeln abgesicherte Stromkreise im Zählerschrank zusammenlaufen, umso detaillierter können Sie die Energieverteilung in Haus oder Wohnung erfassen.

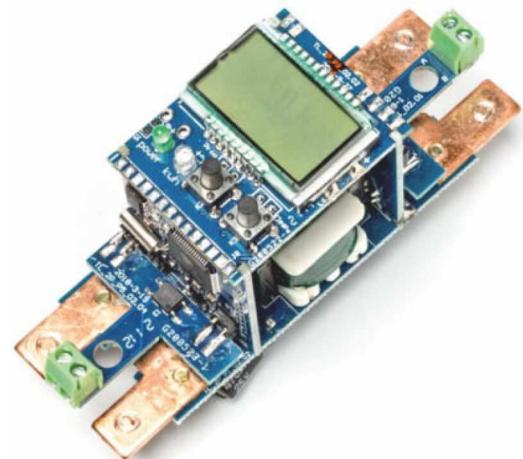
Eine weitere Voraussetzung für den Einbau privater Zwischenzähler ist das Platzangebot im Verteilerkasten. Moderne Zwischenzähler sitzen auf 35-Millimeter-Schienen (Hutschienen) und nehmen je nach Ausprägung unterschiedlich viel Einbaubreite

in Anspruch. Einfache einphasige Modelle kommen mit 32 bis 35 Millimeter aus; das ist beinahe doppelt so viel Platz, wie eine normale Automatisksicherung (18 Millimeter, eine Teilungseinheit, TE) beansprucht. Es gibt aber auch einphasige Zwischenzähler mit großem Display, die stolze 75 Millimeter breit sind. Dreiphasige Zwischenzähler für Elektroherde oder größere Maschinen sind zwischen 72 und 76 Millimeter breit – mehr als ein dreiphasiger Sicherungsblock (54 Millimeter, 3 TE).

Ist im Verteilerschrank genug Platz für einen Zwischenzähler, bleibt die Frage, für welche Stromkreise sich solch ein Zähler überhaupt lohnt. Für Abrechnungszwecke eignen sich die üblicherweise angebotenen privaten Zwischenzähler nicht, da sie in der Regel nicht geeicht sind. Natürlich kann es spannend sein, jeden Raum im Haus mit einem eigenen Zähler zu bestücken. Doch weder gibt es in den meisten Verteilern so viel Platz, noch bietet das einen nennenswerten Erkenntnisgewinn. Klar, in einer Wohngemeinschaft oder einer Familie könnte man so jedem einzelnen Mitbewohner auf die Finger schauen, ob das aber wirklich zum Energiesparen beiträgt, oder nicht den Hausfrieden gefährdet, muss jeder selbst entscheiden.



**Kabelverhau:** Das Innenleben des Ketotek-Zählers wirkt unaufgeräumt. Mit der gelben Spule, die sich um die weißen Leitungen windet, erfasst das Gerät Fehlerströme.



**Schöner:** Das Modell DDS529MR von Sinotimer glänzt mit solidem Aufbau in Form von miteinander verlötzten Platinen.

## Nur für Fachleute

Arbeiten im Zähler- oder Verteilerkasten sind nichts für elektrische Laien! Ein Griff an die falsche Stelle kann schnell zum Tod oder zu schweren Verletzungen führen. Im Verteiler es gibt Bereiche vor den Sicherungen, die dauerhaft unter Spannung stehen. Komplett spannungsfrei schalten lässt sich ein Verteilerkasten nur, wenn es in einem übergeordneten Verteiler noch eine zugehörige und zugängliche Hauptsicherung gibt. Das ist in den wenigsten Installationen der Fall. Meist liegt die entsprechende Vorsicherung im Hausanschlusskasten, und der ist aus gutem Grunde vom Energieversorger verplombt. Die dort verbauten Panzersicherungen lassen sich zudem nur mit einem Spezialwerkzeug sicher entfernen.

Wer einen privaten Zwischenzähler nutzen möchte, muss den Einbau einer geschulten

Elektrofachkraft überlassen. Schließlich besteht neben der Gefahr eines elektrischen Schlags auch noch das Risiko, durch falsche Verdrahtung im Verteiler größeren Schaden anzurichten. Und Obacht: Nur wer einen einschlägigen Berufsabschluss oder einen Abschluss als Elektroingenieur nachweisen kann, ist laut DIN VDE 0105-100 eine Elektrofachkraft. Ohne formale Qualifikation ist demnach jeder ein elektrotechnischer Laie und hat im Verteilerkasten nichts zu suchen. Wer eigenmächtig im Zählerkasten rumfummelt, haftet mit seinem Privatvermögen, wenn anschließend die Wohnung in Flammen aufgeht. Profis haben dafür eine Berufshaftpflichtversicherung. Mehr zu den Gefahren durch elektrischen Strom haben wir im Artikel ("Grundwissen: Elektrischer Strom" ab Seite 80 zusammengetragen).

Spannender ist es da schon, etwa die Hobbywerkstatt mit einem Zähler auszustatten. Je nach Verkabelung ist das mehr oder weniger aufwendig. In meinem Zuhause zum Beispiel führen in den Hobbyraum mehrere Stromkreise: Das Licht ist separat abgesichert, ebenso die Stromkreise für die Steckdosen, den Serverschrank und den Drehstromanschluss für die Fräse und die Metallbandsäge. Natürlich könnte ich jetzt drei Wechselstromzwischenzähler und zwei Drehstromzwischenzähler installieren, um jeden Stromkreis einzeln zu erfassen. Besonders sinnvoll ist das aber nicht. Der Energieverbrauch des ständig laufenden Servers ist durchaus interessant, doch um den zu messen, reicht ein Zwischenzähler direkt im 19"-Rack.

Der verbleibende Energieverbrauch der Werkstatt ist weniger aus Energiespargründen denn aus akademischer Sicht interessant, da keine der großen Maschinen wirklich stunden- oder gar tagelang läuft. Es reicht aus, die Werkstatt mit einem einzelnen Drehstrom-Zwischenzähler vor den Einzelsicherungen des Raumes zu versehen. Das erfordert allerdings einigen Umbau-Aufwand, denn üblicherweise

klemmen die Sicherungen in modernen Verteilern auf der Primärseite an dreiphasigen Verteilerschienen. Diese Verbindung muss also geändert werden, damit der Zwischenzähler alle Stromkreise, die in den Hobbyraum führen, erfassen kann. Beim Zwischenzähler muss es sich um ein Drehstrommodell handeln, dessen maximale Belastbarkeit oberhalb der Summe der dahinterliegenden Stromkreise liegt. Bei mir sind sowohl die Wechselstromkreise (Licht und Steckdosen) als auch der Drehstromkreis (Fräse, Metallbandsäge) mit jeweils 16 Ampere (A) abgesichert. Rechnerisch kommen da 80A zusammen. Auch wenn dieser Wert in der Praxis nie erreicht werden dürfte, sollte der Zwischenzähler passend ausgelegt und natürlich auch verdrahtet werden.

Für welche Belastung ein Zwischenzähler ausgelegt ist, steht üblicherweise auf den Geräten – allerdings in etwas kryptischer Schreibweise. An den beiden von uns getesteten Drehstromzählermodellen findet sich die Angabe „0,5-10(80)A“. Der Maximalstrom, der durch die Geräte fließen darf, beträgt also 80A, der Lastbereich, für den die Zähler kalibriert und ausgelegt wurden, ist hingegen 0,5 bis 10A.

Das ist die Nennlast der Zähler, die die Bezugsgröße für die Kalibrierung und letztlich die Genauigkeit des Zählers bestimmt. Bei den getesteten Wechselspannungszählern schwankt die Maximallast zwischen 63 und 100 A, die Nennlast liegt zwischen 1 und 5 Ampere – siehe Tabelle „Leistungsmessgeräte für die 35-mm-Hutschiene“ auf Seite 113. Auf den Zählern sollte sich neben dem CE-Zeichen auch noch eine Angabe zum Spannungsbereich und zur vorgesehenen Netzfrequenz finden. Zähler für ein 60-Hertz-Stromnetz zeigen im europäischen 50-Hertz-Netz falsche Werte an.

## Gerätevielfalt

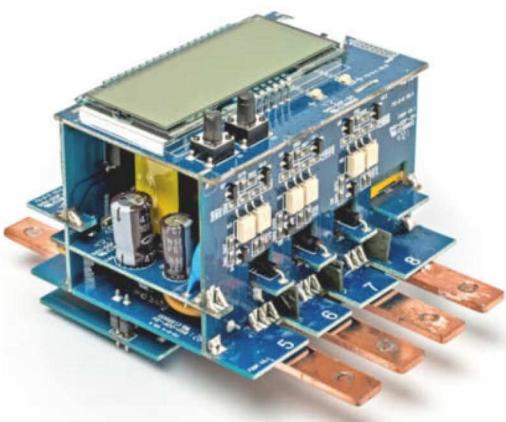
Die am Markt angebotenen Zähler für 35-Millimeter-Hutschienen unterscheiden sich vor allem in der Ausstattung. Wir haben uns sechs sehr verschiedene Modelle herausgepickt, um exemplarisch zu zeigen, was von der jeweiligen Kategorie zu erwarten ist. Zu den „dummen“ Zählern gehört das Modell Earu DDS662. Es kostet grade mal 10 Euro und bietet ausschließlich die bei allen Zählern vorgesehene Blink-LED, über die sich der Gesamtenergieverbrauch auslesen lässt.

Deutlich besser ausgestattet sind die Modelle KTEM07 von Ketotek (ab 37 Euro) und ATP-BW von

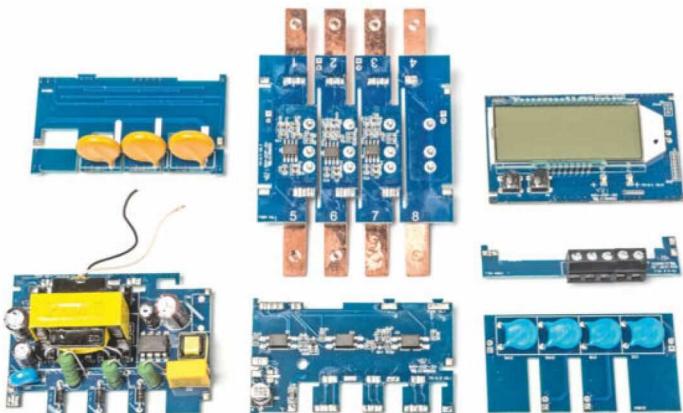
Earu für gut 33 Euro. Beide können den hinter dem Zähler liegenden Stromkreis über ein Relais schalten und lassen sich über ihre WLAN-Schnittstelle beispielsweise mit der Tuya-App von Volcano Technology steuern oder in Smart-Home-Systeme einbinden. Als viertes einphasiges Modell haben wir uns den DDS529MR von Sinotimer (47 Euro) angesehen. Das Gerät kommuniziert statt via WLAN über eine RS485-Schnittstelle mit Modbus-RTU-Protokoll.

Ebenfalls mit RS485-Schnittstelle ist der für knapp 67 Euro erhältliche Drehstromzähler SDM72D-M V2 von Eastron. Wir haben dieses Modell ausgewählt, weil es sehr gut dokumentiert ist und es zudem viele Open-Source-Projekte auf ESP- oder Arduino-Basis unterstützen. In den professionellen Bereich gehört der letzte Drehstromzähler in der Testriege, das Modell OR-WE-517 (71 Euro) des polnischen Herstellers Orno. Auch er besitzt eine RS485-Schnittstelle mit Modbus-Protokoll. Zusätzlich hat der Zähler noch eine integrierte Uhr und kann so den Energieverbrauch für bis zu vier unterschiedliche Tarife separat erfassen.

Wer mehr als einen Stromkreis überwachen will, ist mit den Geräten mit RS485-Interface gut bedient. Dieses garantiert trotz der simplen Zweidrahtverbindung hohe Störsicherheit, die das verwendete Protokoll (Modbus-RTU) noch steigert. Ein Controller



**Fest verlötet:** Auch der Drehstromzähler SDM72D-M V2 von Eastron birgt in seinem Inneren einen sauber verlötzten Elektronikblock.



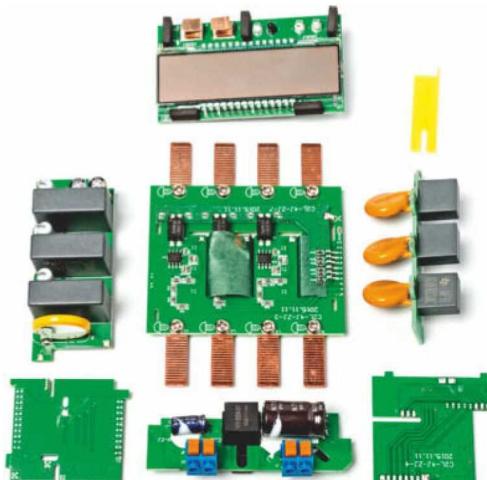
**Zerlegt:** Der Drehstromzähler von Eastron besteht aus sieben einzelnen Platinen. Verlötet bilden sie einen stabilen Block.

liest bis zu 32 Geräte aus und übernimmt die Weitergabe und Verarbeitung der von den Zählern erfassten Daten. Im Netz finden sich viele geeignete Bauvorschläge, aber auch Fertigeräte zum Auslesen von RS485-Schnittstellen mit Modbus-RTU-Protokoll. Wer hier selber basteln will, greift am besten zu einem Zähler, für den es bereits passende Bibliotheken gibt. Andernfalls ist eine gute Dokumentation der vom Zähler verwendeten Register unabdingbar, um eine eigene Bibliothek zu erstellen.

Auch wenn die Verbindung von Zähler und Controller recht simpel vonstatten geht, ist eine saubere Trennung zwischen der Netzspannungsebene und dem Niederspannungsbereich extrem wichtig. Bei den getesteten Zählern mit RS485 ist das durch verschiedene Maßnahmen sichergestellt. Für den Schutz am Controller und beim Verlegen der Signalleitungen ist hingegen der Installateur verantwortlich.

## Im Test

Das wichtigste Kriterium für einen Energiezähler ist seine Genauigkeit. Die Hersteller geben diese zu meist auf dem Gerät mit an. Aktuelle Zähler sollten in der EU einen eingekreisten Buchstaben A, B oder C



**Zählerexplosion: Um genau herauszufinden, welche Komponenten die Hersteller für ihre Geräte verwendet haben, mussten wir die Zähler komplett zerlegen. Hier das Ergebnis beim Orno OR-WE-517.**

tragen, der die Genauigkeitsklasse angibt. Die von uns geprüften Drehstromzähler gehörten beide zur Genauigkeitsklasse B, die eine Abweichung von 2 Prozent bei mehrphasiger Last und 2,5 Prozent bei einphasiger Last erlaubt. Ältere Zähler oder Modelle, die außerhalb der EU vertrieben werden, haben zu meist eine Zahl im Kreis, die die Abweichung in Prozent angibt. Die hier getesteten einphasigen Geräte hatten – so es dazu Angaben gab – stets die Genauigkeitsklasse 1, versprechen also eine maximale Abweichung von einem Prozent. Klingt zunächst gut, doch Vorsicht: Die zulässige Abweichung bezieht sich auf den Nennstrom der Geräte. Deshalb kann der prozentuale Fehler bei kleineren Lastströmen ansteigen.

Um den Geräten auf den Zahn zu fühlen, haben wir uns drei verschiedene Leistungsbereiche angesehen: Zunächst ging es um Lasten zwischen einem und neun Watt. Hier nutzten wir 1-Watt-LEDs als nichtlineare Last, die wir stufenweise zuschalteten. Die von den Zählern angezeigte Leistung verglichen wir mit den Werten, die unser Präzisionsleistungsmessgerät ermittelte. Für die einphasigen Zähler kam ein LMG 610 von ZES zum Einsatz, die Drehstromzähler überprüften wir mit einem LMG 450 aus gleichem Hause. Bei den Messungen bis 10 Watt gab es im unteren Lastbereich Abweichungen von bis zu 100 Prozent, weil so mancher Zähler erst ab einer Mindestlast von zwei bis vier Watt überhaupt etwas anzeigt.

Im zweiten Testintervall von 10 bis 90 Watt nutzten wir ebenfalls LEDs als Last, dieses Mal mit einer Nennleistung von jeweils 9 Watt. Da LEDs immer ein integriertes Netzteil enthalten, mussten die Zähler hier mit nicht sinusförmigem Strom und mit einer Verschiebung zwischen Strom- und Spannungsmaximum zureckkommen. Im oberen Leistungsbereich von 100 bis 1000 Watt kamen klassische Glühlampen zum Einsatz, die im Unterschied zu LEDs eine rein ohmsche Last darstellen. Strom und Spannung liegen hier in Phase, die Leistungsmessung sollte den Geräten hier leichter fallen.

Alle Messungen fanden in unserer EMV-Messkabine und an einem Netzspannungsgenerator statt. Das stellt sicher, dass die Messergebnisse nicht von Störungen beeinflusst werden. Wer ähnliche Messungen zu Hause nachvollziehen will, sollte sich darüber im Klaren sein, dass der Strom am Hausanschluss üblicherweise nicht hundertprozentig sinusförmig ist. Zudem darf die Netzspannung 10 Prozent um ihren Nennwert 230 Volt schwanken (207 bis 253 V) und tut das im Alltag auch. Wirklich präzise

kann ein Vergleich mehrerer Geräte direkt am Stromnetz also nie sein. Um Serienstreuungen zu entdecken, haben wir von allen getesteten Zählern jeweils zwei Exemplare anonym eingekauft. So konnten wir auch sicherstellen, dass wir keine für Tests optimierten Exemplare untergeschoben bekamen.

Neben der Genauigkeit interessierte uns auch der Eigenverbrauch der sechs Zählermodelle. Viele begnügten sich mit einem halben Watt, andere schluckten aber auch mehr als zwei Watt. Da so ein Zähler ständig Energie verbraucht, sollte man diesen Wert im Auge behalten. Das halbe Watt ergibt übers Jahr gerechnet immerhin 4,38 kWh, was beim aktuellen Strompreis (40 Cent/kWh) 1,75 Euro entspricht. Ein Zähler mit gut 2 Watt Leistungsaufnahme schlägt sich hingegen mit 7 Euro pro Jahr auf der Stromrechnung nieder.

## Innenleben

Nach Abschluss aller Messungen sahen wir uns auch das Innenleben der sechs Zähler an. Prinzipiell arbeiten alle Geräte nach dem gleichen Prinzip: Im Stromkreis – meistens im Phasenstrang – sitzt ein Shunt, also ein hochbelastbarer Widerstand, über den der Strom als Spannungsabfall gemessen wird. Die momentane Netzspannung messen die Geräte üblicherweise über einen Spannungsteiler zwischen L (Phase) und N (Neutralleiter).

Der Shunt besteht stets aus einem in eine breite Kupferbahn eingelöteten Metallstück mit definiertem Widerstand – leicht zu erkennen am etwas helleren Farbton. Die meisten Hersteller belassen es bei dieser Konstruktion und kalibrieren ihre Zähler über Korrekturkurven. Nur bei Sinotimer entdeckten wir Anzeichen dafür, dass der Shunt angeschliffen



**Im AT4PW von Atorch steckt ein Relais im Strompfad. Der Messwiderstand für den Strom liegt im Kupferstrang, der zum Relais führt.**

## Literatur

[1] Sven Hansen, **Spardosen mit Zählwerk**, Sechs Zwischenstecker für das Energie-Monitoring, c't 22/2022, S. 24

## Weitere Infos

[ct.de/w7xj](http://ct.de/w7xj)

wurde, um so den Querschnitt leicht zu verringern und damit den Widerstandswert etwas zu erhöhen. Drehstromzähler haben drei Shunts und drei Spannungsmesspfade.

Die Verarbeitung der verschiedenen Modelle war recht unterschiedlich: Während der Ketotek KTEM07 eher den Eindruck eines Drahtverhaus hinterließ, wirkten die Konstruktionen vieler anderer Hersteller auf uns solider: Miteinander verlötete Platinen bildeten klar definierte Blöcke. Besonders gut verarbeitet waren die beiden Drehstrom-Modelle von Orno und Eastron. Aber auch das einphasige Sinotimer-Modell machte einen ordentlichen Eindruck. Festzuhalten bleibt aber: Alle geprüften Geräte entsprachen auch intern den gängigen elektrischen Anforderungen etwa in Bezug auf Luft- und Kriechstrecken zwischen den netzspannungsführenden Komponenten.

# Richtig entschieden!

Meine neue Homepage kommt von Heise RegioConcept!



Heise Homepages sind handmade in Germany und immer am Puls der Zeit. Natürlich sind sie auch Smartphone tauglich, Google optimiert und überzeugen mit modernster Technik. Auf Wunsch sogar mit Shopsystem.

Wechseln Sie jetzt zu Heise Homepages: Wir bieten Ihnen eine bezahlbare Homepage mit Rundum-sorglos-Service.

Rufen Sie uns an: 0511 / 80 90 89 43.  
Wir freuen uns auf Sie!

[www.heise-homepages.de](http://www.heise-homepages.de)

 **Heise** RegioConcept



## Earu DDS662

Das einfachste Energiemessgerät in diesem Test ist das Modell DDS662 des chinesischen Herstellers Earu. Es wird auf Aliexpress und anderen Handelsplattformen für Preise um die fünf Euro angeboten. Inklusive Zoll und Versand kostet das Gerät gut 10 Euro. Der Zähler zeigt Spannung, Strom, Leistung und Energie an.

Zum Lieferumfang des kleinen Kästchens gehören vier Stopfen für die Löcher der Anschluss schrauben und eine englischsprachige Bedienungsanleitung. Gefahr: Die dort angegebene Anschlussbelegung stimmt nicht. Der Sitz auf der 35-mm-Hutschiene ist trotz Verriegelung sehr locker – das DDS662 lässt sich ohne Kraftaufwand verschieben.

Intern besteht das Gerät aus zwei aufeinandergesteckten Platinen. Die untere trägt das Einfachst-Netzteil (Powerfaktor 0,067). Die Spannung wird über einen Teiler und einen Optokoppler abgegriffen. Den Strom übersetzt ein in die L-Leitung integrierter Shunt in eine Spannung. Beide Signale verarbeitet der auf der zweiten Platine sitzende Controller (V9401). Das DDS662 zeigt die gesamte umgesetzte Energie, die momentane Wirkleistung sowie Strom und Spannung an. Bis zu einer Last von 4 Watt bleibt die Anzeige auf „0 Watt“, darüber nähert sie sich langsam der real anliegenden Last. Ab etwa 50 Watt wird die Anzeige präzise.

⊕ **günstig**

⊕ **gute Genauigkeit ab etwa 50 Watt**

⊖ **Fehler in der Bedienungsanleitung**

⊖ **wackeliger Sitz auf der Hutschiene**

**Preis: 10 Euro**



## Ketotek KTEM07 WiFi

Beim Ketotek KTEM07 handelt es sich um einen Schalt-Aktor für das Tuya-Smart-Home-System für 37 (Aliexpress) bis 55 Euro (Amazon).

Die Smart Living App von Volcano Tech schaltet den am Gerät angeschlossenen Stromkreis wahlweise ein oder aus. Darüber hinaus bietet das KTEM07 eine Fehlerstrom-Überwachung. Fließt der Strom nicht zwischen L und N, wird das erkannt und das Gerät schaltet bei einem einstellbaren Fehlerstrom, Über- oder Unterspannung und Überstrom ab. Als Sicherungs- oder Fl-Ersatz ist es nicht zu gebrauchen, dafür ist es nicht flink genug.

Über die App sind Spannung, Strom, Leistung, Fehlerstrom und Gesamtenergie auslesbar. Ausgerechnet die aktuelle Leistung zeigt das Gerät aber lokal nicht an. Generell weichen die Messwerte in der App etwas von den Werten auf dem Display ab. Für die Genauigkeitsermittlung haben wir uns auf die App gestützt.

Nach dem Anschließen des Geräts ist der Ausgang abgeschaltet. Es folgt ein 30-Sekunden-Countdown, dann schaltet es ein. Das KTEM07 sitzt recht locker auf der Hutschiene. Ab einer Last von etwas über zwei Watt gibt das Gerät Werte aus, aber mit geringer Genauigkeit: Nur zwischen 10 und 100 Watt lieferte das KTEM07 halbwegs passende Ergebnisse. Oberhalb von 100 Watt ließ die Genauigkeit signifikant nach.

⊕ **viele zusätzliche Funktionen**

⊖ **fliegender Aufbau im Geräteinneren**

⊖ **sehr ungenau bei größeren Lasten**

⊖ **wackeliger Sitz auf der Hutschiene**

**Preis: ab 37 Euro**

ten und dem Niederspannungsteil der Elektronik zur digitalen Verarbeitung der Messwerte.

Die meisten Hersteller nutzten in den Zählern hochintegrierte, speziell für Energiezähler entwickelte Chips (siehe Tabelle „Leistungsmessgeräte für die 35-mm-Hutschiene“ auf S. 113). Nur das Modell von Atorch mit dem bunten Display setzt auf einen

RISC-V-Chip mit integriertem AD-Wandler, den MCU CH573 des chinesischen Herstellers WCH.

## Fazit

Fünf der sechs überprüften Leistungsmessgeräte für die Hutschiene lieferten bei haushaltssüblichen Lasten



## Atorch AT4PW

Das AT4PW wird in einer Bluetooth- und einer WLAN-Version angeboten. Wir entschieden uns für das WLAN-Modell, das als einphasiges Energiemessgerät mit 75 Millimeter Breite viel Platz im Verteilerkasten einnimmt. Dafür hat es ein großes buntes Display. Beim Start bootet das Gerät wie ein PC – es laufen Statusmeldungen durch, danach ist es betriebsbereit und schaltet die Phase durch. Wie das Modell von Ketotek nutzt auch das AT4PW intern das Tuya-IoT-Modul CB3S. Der Energie-monitor-Chip BL0942 von Shanghai Belling erfasst Strom, Spannung und Frequenz. Die Auswertung übernimmt ein RISC-V-Chip (CH573F).

Nach der Inbetriebnahme tanzten die angezeigten Werte wild durcheinander. Die App zeigte an, dass es Updates für das Gerät gab, die wir in zwei Schritten einspielten. Das dauerte auch bei guter WLAN-Verbindung mehrere Stunden und brachte eine leichte Beruhigung der angezeigten Werte. Wirklich stabil ablesbar waren diese aber nicht, also nutzten wir für unseren Test die stabileren Werte aus der App.

Unter den einphasigen Zählern war das AT4PW das einzige Modell, das auch bei einer Last von knapp über einem Watt schon einen Messwert anzeigen. Insgesamt war die Genauigkeit im niedrigsten Lastbereich (1-9 Watt) mit einer mittleren Abweichung von -10 Prozent recht gut. Im mittleren Lastbereich (10-90 Watt) lag die Abweichung bei gut einem Prozent.

⬆️ viele Funktionen

⬆️ großes Farbdisplay

⬇️ Geringe Genauigkeit bei mittlerer Last

⬇️ Display-Werte schwanken stark

Preis: 33 Euro



## Sinotimer DDS529MR

Ein Zähler mit RS485-Interface, Modbus-Protokoll und Impulsausgang ist der DDS529MR von Sinotimer. Seine Ausstattung konzentriert sich aufs Wesentliche; Annehmlichkeiten wie eine Schaltfunktion hat er ebenso wenig zu bieten wie WLAN oder Bluetooth. Nach dem Start zeigt er zunächst die Betriebsparameter für die RS485-Schnittstelle (Adresse, Bitrate, Parität) und die aktuelle Datenrate für den Impulsausgang an. Alle Parameter lassen sich über die Bedienelemente am Gerät und über das RS485-Interface verändern. Bis zu einer Last von etwas über 3 Watt zeigt das Display keinen Leistungswert an. Zwischen 1 und 9 Watt erreicht es eine mittlere Abweichung von 18 Prozent. Bis 90 Watt sind es 1,38 Prozent, ab 100 Watt ist die Genauigkeit der Leistungsanzeige sehr gut.

Der Sinotimer DDS529 ist sehr solide aufgebaut: Mehrere fest miteinander verlötete Platinen bilden einen starren Gerätekörper. Kern des Geräts ist sein System-on-Chip von Vango Technologies (V9811A), die RS485-Schnittstelle bedient ein MAX3085, das Display steuert ein BL55028. Das EEPROM (BL24C04) beherbergt vermutlich die Kalibrierungskurve.

Der Eigenverbrauch des Geräts liegt mit 0,5 Watt erfreulich niedrig. Ein stabiler Federmechanismus hält den Zähler zuverlässig auf der Hutschiene fest.

⬆️ solider Aufbau

⬆️ unkomplizierte Inbetriebnahme

⬆️ sehr genau ab 100 Watt Last

⬇️ keine Anzeige unter 3 Watt

Preis: 47 Euro

durchweg plausible und den angegebenen Genauigkeitsklassen entsprechende Ergebnisse. Der so ermittelte Energieumsatz taugt also, um den Verbrauch einzelner Stromkreise in Haus und Wohnung zu überwachen. Einzig das Atorch-Modell fiel aus der Reihe. Zum einen nennt der Hersteller auf dem Gerät keine Genauigkeitsklasse, zum anderen

schwankten die angezeigten Werte für den aktuellen Verbrauch auch bei eigentlich recht simpel zu erfassender rein ohmscher Last recht stark. Die große Kiste ist so eher ein Smart-Home-Schaltelelement mit Messfunktion denn ein präzises Leistungsmessgerät. Man fragt sich zudem, wozu man im Verteilerkasten ein bunt leuchtendes großes Display



## Eastron SDM72D-M V2 MID

Gilt es, den Drehstromverbrauch zu erfassen, ist das Modell SDM72D-M von Eastron in seinem Element. Das Gerät misst den Leistungsfluss in beide Richtungen, erfasst also auch separat die eingespeiste Energie. Verschiedene Anbieter verkaufen es als kalibrierte (SDM72D-M V2 MID) und unkalibrierte Version (SDM72D-M V2).

Gut gelöst ist bei diesem Zähler die Trennung von Netz- und Niederspannungsseite. Die Kontakte für den Impulsausgang und die RS485-Schnittstelle liegen oberhalb der Netzspannungsklemmen und sind durch einen zusätzlichen Berührungsschutz abgetrennt.

Den Kern des Drehstromzählers bildet ein Microcontroller (HT6017) mit Cortex-M0-Kern von HiTrend Tech aus Shanghai. Die Messelektronik besteht aus vier V9240-Chips von Vango. Eastron stellt auf seiner Webseite ein Konfigurations- und Auslesetool für die RS485-Schnittstelle zur Verfügung.

Der Eigenverbrauch war mit 0,5 Watt für ein Gerät dieser Bauart erfreulich gering. Ab einer Last von etwa 4 Watt zeigt das Display des SDM72D-M Leistungswerte an. Das verhagelte dem Zähler dann auch die Bewertung im Bereich von 1 bis 9 Watt Leistung (mittlere Abweichung -39 %). Ab etwa 25 Watt ist an der Genauigkeit nichts mehr auszusetzen: Die Abweichung vom Präzisionsmesssystem lag durchweg unter einem Prozent.

- ⊕ **solider Aufbau**
- ⊕ **sehr gute Genauigkeit ab 25 Watt**
- ⊕ **gute Community-Unterstützung**
- ⊖ **keine Anzeige unter 4 Watt**

**Preis: 67 Euro (kalibriertes Modell)**



## Orno OR-WE-517 MID

Wer elektrische Energie zu verschiedenen Tarifen bezieht, greift auf Zähler wie den OR-WE-517 des polnischen Herstellers Orno zurück. Das Gerät mit RS485-Schnittstelle und Impuls-Ausgang bietet aber noch mehr. An der Gehäusefront gibt es gleich drei optische Ausgänge: Eine LED gibt die Wirkleistung und eine weitere die Blindleistung aus. Zusätzlich hat der Prüfling eine bidirektionale optische Schnittstelle.

Bei der Montage punktet der OR-WE-517 mit soliden Klemmen, die jede mit zwei Schrauben ausgestattet sind. Die Anschlüsse für den Impulsausgang und die RS485-Schnittstelle sind mit Federklemmen ausgeführt. Die Bedienung erfolgt über zwei Touchelemente. Im Geräteinneren kommt ein Chipsatz von Silergy (71M6543G und 71M6103) zum Einsatz. Orno stellt eine Konfigurations- und Auslesesoftware für die RS485-Schnittstelle sowie umfangreiche Registerdokumentationen bereit.

Bei unseren Tests stützten wir, weil der Zähler einen Eigenverbrauch von stattlichen 2,2 Watt aufwies – im Datenblatt spricht der Hersteller von 0,4 Watt. Das Gerät zeigt Leistungen ab einem Watt an und wies im unteren Leistungsbereich (1-9 Watt) eine mittlere Abweichung von knapp -10 Prozent auf. Im Bereich von 10 bis 90 Watt ermittelten wir gut -1,5 Prozent mittlere Abweichung. Jenseits von 100 Watt sank die Abweichung dann auf deutlich unter einem Prozent.

- ⊕ **solider Aufbau**
- ⊕ **gute Genauigkeit ab 100 Watt**
- ⊖ **hoher Eigenverbrauch**
- ⊖ **befriedigende Genauigkeit**

**Preis: 71 Euro (kalibrierte Version)**

braucht – üblicherweise hängen solche Schränke ja im Keller und sind verschlossen.

Zu welchem der fünf anderen Zähler man greift, hängt von den individuellen Anforderungen ab. Geht es einzig und allein um die separate Leistungserfassung eines einzelnen Stromkreises, ist das günstige EARU-Modell DDS662 eine gute Wahl:

Es kostet mit Versand und Zoll rund 10 Euro, ist nicht übermäßig groß und bietet eine passable Genauigkeit.

Möchte man die erfassten Messwerte auch an- dernorts sichtbar machen, bieten sich Zähler mit WLAN- oder RS485-Schnittstelle an. Geht es nur um einen Strang, den man möglicherweise auch noch

## Leistungsmessgeräte für die 35-mm-Hutschiene

Modell	DD5662	KTEM07 WiFi	AT4PW	DD5529MR	SDM72D-M V2 MID	OR-WE-517
Hersteller, URL	EARU, u.a. bei Aliexpress erhältlich	Ketotek, cnketotek.com	Atorch, atorch.cn	Sinotimer, www.sinotimer.com	Eastron, eastroneurope.com	Orno, orno.pl/de
Maße (B × L × T)	36 mm × 78 mm × 65 mm	36 mm × 85 mm × 65 mm	75 mm × 96 mm × 75 mm	35 mm × 99 mm × 65 mm	72 mm × 100 mm × 66 mm	76 mm × 102 mm × 65 mm
Controller-Chip	V9401	HLW8032, CB3S	CH573F, BL0942, CB3S	V9811A, MAX3085, BL55028	HT6017, V9240	71M6543G, 71M6103
Nennstrom / Frequenzbereich	5(80) A / 50 Hz	1(63) A / 50/60 Hz	k.A. / 50/60 Hz	5(80) A / 50 Hz	0,5-10(80) A / 50 Hz	0,5-10(80) A / 50 Hz
Genaugkeitsklasse	1	1	k. A.	1	B	B
<b>Ausstattung</b>						
LED-Impulsgeber	✓	✓	✓	✓	✓ <sup>1</sup>	✓ <sup>1</sup>
Impulsausgang	—	—	—	✓	✓	✓
RS485 Modbus/RTU	—	—	—	✓	✓	✓
Bluetooth	—	✓	✓	—	—	—
WLAN (2,4 GHz)	—	✓	✓	—	—	—
plombierbar	—	—	✓	✓	✓	✓
Reset für Gesamtenergiezählung	—	✓	✓	—	✓	✓
Schaltfunktion	—	✓	✓	—	—	—
sonstiges	—	Fehlerstromerkennung, Über-/Unterspannung, Strombegrenzung	Temperaturmessung, Anzeige CO2-Einsparung	—	Zweir-Richtungszähler	Zweir-Richtungszähler, verschiedene Tarifzonen, Datum, Uhrzeit
<b>Erfasste/angezeigte Werte</b>						
Gesamtenergie Wh / varh / VAh	✓ / — / —	✓ / — / —	✓ / — / —	✓ / ✓ / —	✓ / ✓ / —	✓ / ✓ / ✓
Leistung W / var / VA / Power Factor (PF)	✓ / — / — / —	— / — / — / —	✓ / — / — / ✓	✓ / ✓ / — / ✓	✓ / ✓ / — / ✓	✓ / ✓ / ✓ / ✓
Spannung (U) / Strom (I) / Frequenz (Hz)	✓ / ✓ / —	✓ / ✓ / —	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓
Energiekosten	—	✓ (in der App)	✓ (Display und App)	—	—	—
Fehlerstrom (mA)	—	✓	—	—	—	—
<b>Messwerte</b>						
Eigenverbrauch	0,5 W	0,5 W	1,2 W	0,5 W	0,5 W	2,2 W
Mindestlast	5 W	2 W	1 W	3 W	4 W	1 W
Abweichung 1–9 Watt	-33%	-16%	-10%	-18%	-39%	-10%
Abweichung 10–90 Watt	<1%	<1%	-1%	1%	<1%	-2%
Abweichung 100–1000 Watt	<1%	3%	<1%	<1%	<1%	<1%
<b>Bewertung</b>						
Genauigkeit 1–9 Watt	⊖⊖	⊖	○	⊖	⊖⊖	○
Genauigkeit 10–90 Watt	⊕⊕	⊕⊕	⊕	○	⊕⊕	○
Genauigkeit 100–1000 Watt	⊕⊕	⊖⊖	⊕⊕	⊕⊕	⊕⊕	⊕⊕
Ausstattung	⊖	⊕	⊕	○	⊕	⊕
Preis	ab 10 € <sup>3</sup>	ab 37 €	33 €	47 €	67 €	71 €

<sup>1</sup> drei für Leistung, Blindleistung und Fernabfrage, siehe Text <sup>2</sup> zwei für importierte und exportierte Leistung <sup>3</sup> mit Versand und Zoll

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

fern schalten will, ist das Kistchen von Ketotek durchaus eine passende Wahl – vorausgesetzt, im Verteilerkasten ist der WLAN-Empfang ausreichend gut.

Wer mehr als einen Stromkreis überwachen will, ist mit den Geräten mit RS485-Interface wie dem Sinotimer DDS529MR besser bedient. Geht es um

den Verbrauch in Drehstrom-Installationen, machen beide getesteten Dreiphasen-Zähler eine gute Figur. Das Eastron-Modell SDM72D-M punktet mit der guten Software-Unterstützung in der ESP- und Arduino-Community. Ornos OR-WE-517 richtet sich hingegen eher an Unternehmen und Nutzer mit unterschiedlichen Stromtarifen. (gs) 



Bild: Rudolf A. Blaha

# Stommesser im Vergleichstest

Energiekostenmessgeräte erfassen, wie viel Leistung Verbraucher aus der Steckdose ziehen. So helfen sie, Stromverschwender im Haushalt aufzuspüren. Dazu taugen schon 10-Euro-Modelle, wie unser Vergleichstest zeigt.

Von **Ernst Ahlers**

Will man jene elektrischen Verbraucher im Haushalt finden, die am meisten schlucken, helfen Energiekostenmessgeräte, kurz EKM: Zwischen Steckdose und Verbraucher gesetzt, erfassen sie die durchfließende Energie. Anhand der angezeigten Wirkleistung (Watt) sieht man, was ein Gerät aktuell aus dem Stromnetz zieht. Das wird bei einem Verbraucher mit schwankender Last wie einem Kühlschrank die meiste Zeit recht wenig sein, vielleicht ein halbes Watt. Doch wenn er seinen Kältemittelkompressor anwirft, schnellt die Leistung hoch

auf ein paar Dutzend Watt, um nach einigen Minuten wieder abzufallen. Ähnlich verhalten sich andere, vergleichsweise selten gebrauchte Haushaltsgeräte wie Waschmaschine oder Wäschetrockner.

Was im Mittel fällig wird, erfährt man mit einer längeren Messung: Über die Betriebszeit integriert ergibt sich aus der Wirkleistung die bezahlte Energie (Wattsekunden, umgerechnet Kilowattstunden). Die Zeit ist elektronisch dank preisgünstiger Quarze beziehungsweise Quarzoszillatoren um mehrere Größenordnungen genauer messbar als die Wirkleis-



## Alecto EM-17

Dafür, dass der Hersteller für das EM-17 keinen maximalen Messfehlerspezifiziert, traut sich das Gerät einiges zu und zeigt die Wirkleistung mit zwei Nachkommastellen an. Im Test lagen beide Exemplare tatsächlich nah an unserer Referenz, aber runden sollte man diesen Anzeigewert dennoch. Laut Verpackung lässt sich die Schwelle für die Überlastanzeige einstellen. Doch wie das geht, verrät uns die beiliegende niederländisch/englische Anleitung nicht.

⬆ korrekte Leistungsmessung

⬇ unzureichende Anleitung

Preis: 20 Euro



## AVM Fritz!DECT 200

AVMs per DECT-Funk an den Router gekoppelte Schaltsteckdose ist mittlerweile ein Urgestein im Smart-Home-Markt, wird aber weiter produziert und mit Firmware-Updates gepflegt. Sie ist deutlich teurer als die anderen Geräte, aber für Fritzbox-Nutzer erste Wahl, weil perfekt in AVMs Router-Firmware eingebunden. Das Kästchen misst sehr genau, braucht aber etwas mehr Energieleistung als die anderen. Auch ist Geduld gefragt: Nach Lastsprüngen erscheint der aktuelle Messwert um 10 bis 30 Sekunden verzögert.

⬆ verlässlich genau

⬇ nur mit Fritzboxen nutzbar

Preis: 49 Euro

tung am Stromnetz. Deshalb bestimmt letztere Messung über die Güte der EKM und steht im Fokus unseres Tests.

## Kleinviehs Mist

Dabei ist das Messen kleiner Leistungen unter 10 Watt besonders interessant. Denn bei selten laufenden Schwergewichten lässt sich wenig sparen: Reinigen Sie beispielsweise mit einem 1000-Watt-Staubsauger die Auslegeware an 40 Stunden im Jahr, dann fallen bei 40 ct/kWh insgesamt 16 Euro an. Ein gleich saugstarkes 800-Watt-Modell würde nur 3,20 Euro einsparen.

Das Ersetzen eines noch funktionierenden Altgerätes wäre also nicht nur eine Umweltsünde, sondern auch finanziell fragwürdig. Denn der Neukauf amortisiert sich schon bei solch einem vergleichsweise preiswerten Helfer erst nach vielen Jahren. Bei teureren Geräten wie Waschmaschinen oder Trocknern lohnt sich der vorzeitige Austausch wegen etwas weniger Stromverbrauch gewiss ebenso selten.

Bei den kleinen, unauffälligen Stromschweinchen, die ständig an der Steckdose nuckeln, ist viel mehr zu holen: Manche Halogen-Leseleuchte aus dem letzten Jahrhundert, aber auch ältere Kompakt-Hi-Fi-Anlagen gönnen sich mal eben 5 bis 10 Watt für einen ständig am Stromnetz hängenden Trafo. Das macht pro Gerät allein 18 bis 35 Euro jährlich für den Standby-Betrieb, denn mit 8766 Stunden pro Jahr und 40 ct/kWh kostet jedes dauerlaufende Watt 3,50 Euro. Hier rentiert es sich schnell, bei Nichtgebrauch den Stecker zu ziehen oder die Verschwendeter per Schalt-Zwischenstecker für ein paar Euro vom Netz zu trennen. Der Nachteil: Es wird etwas unbequemer.

Wenn Sie schon messen wollen, dann messen Sie auch bei jedem Verbraucher mit Netzkabel nach: Ein moderner Wasserkocher mit Temperaturvorwahl und LED-Lichtspiel zieht im Standby im guten Fall unter 0,5 Watt, ein schlecht konstruierter aber womöglich 2 Watt.

Bezogen auf PCs ist das Messen kleiner Leistungen beim Idle-Betrieb – das Betriebssystem wartet auf Benutzereingaben – interessant: Zeigt ein EKM



## Basetech EM-3000

Sein Design – voluminöses Gehäuse, großes, gut ablesbares Display, Tastenanordnung – teilt das Basetech EM-3000 mit den Dayhome- und Logi-Link-Modellen. Doch die drei verwenden unterschiedliche Messelektroniken, was sich in unterschiedlicher Genauigkeit manifestiert. Hier liegt das EM-3000 minimal hinter seiner Verwandtschaft. Außerdem muss man eventuell Batterien wechseln, wo die anderen integrierte Akkus für den Messwertspeicher haben.

⬆️ **gut ablesbar**

⬇️ **Batterien für Wertespeicher**

**Preis: 18 Euro**



## Chilitec CTM-807

Mit gerade mal 14 Euro ist Chilitecs CTM-807 ein gutes Angebot: Das kleine Kästchen leistete sich beim Vergleich mit der Laborreferenz LMG95 nur kleine Ausrutscher, vor allem bei Lasten unter 5 Watt. Es ist dank seiner großen Ziffern auch ohne Beleuchtung bequem ablesbar. Indes sollte der Hersteller bei der Wirkleistungsanzeige auf die zweite Nachkommastelle verzichten, denn bei kleinen Lasten am Stromnetz ist nicht mal das vielfach teurere Laborgerät auf 10 Milliwatt genau.

⬆️ **sehr genau**

⬆️ **preisgünstig**

**Preis: 14 Euro**

in diesem Bereich zuverlässig an, dann kann man leicht erkennen, welche praktische Wirkung Eingriffe an den Energiesparoptionen haben. Beispielsweise maßen wir durch Aktivieren des SATA-Energieparens pro genutztem Port bis zu einem Watt weniger Leistungsaufnahme. Doch auch nach Aktivieren aller Sparmöglichkeiten ist es sinnvoll, den Rechner bei längerem Nichtgebrauch ins Standby schlafen zu legen oder lieber ganz herunterzufahren.

Tipps und weiterführende Hinweise zum Energiesparen im Haushalt, nicht nur beim Strom, liefert zum Beispiel die Deutsche Energie-Agentur (siehe [ct.de/w7fx](http://ct.de/w7fx)). So bieten beispielsweise auch die Verbraucherzentralen Beratungstermine an.

## Ausgemessen

Wir haben acht Energiekostenmessgeräte der Taschengeldklasse bis 20 Euro online geordert, um abzubilden, was zurzeit am Markt gängig ist. Dazu kommen zwei etwas teurere Geräte mit Schaltfunk-

tion für den angeschlossenen Verbraucher und Funkanbindung an Router oder Smartphone. Von allen Modellen haben wir zwei Exemplare durchgemessen, um einen Hinweis auf Serienstreuungen zu finden. Mit einer Ausnahme (PeakTech 9035) lagen die Geräte nah beieinander.

Als Referenz für den Vergleich mit sechs unterschiedlichen Lasten diente ein Präzisionsleistungsmessgerät LMG95. Es misst um zwei Größenordnungen genauer als die Prüflinge. Die c't-Redaktion nutzt davon insgesamt sechs Exemplare ([ct.de/w7fx](http://ct.de/w7fx)), die regelmäßig beim Hersteller auf Einhalten ihrer Spezifikation überprüft und nötigenfalls justiert werden.

Mit der 60-Watt-Glühlampe hatten alle EKM leichtes Spiel, ist sie doch der klassische Fall eines ohmschen Verbrauchers, bei dem der gezogene Strom der Momentanspannung linear folgt. Viel schwieriger ist eine genaue Messung bei modernen Leuchtmitteln, die entweder stark kapazitive Lasten darstellen (Energiesparleuchten) oder nichtlineare (LED), bei denen die Stromform sehr deutlich vom idealen



## Dayhome PM1

Das bessere Exemplar des Dayhome PM1 vom Elektronikversender Pollin schaffte das Kunststück, in fast allen Lastfällen denselben Wert anzuzeigen wie unser Laborgerät LMG95. Beim USB-Netzteil ohne Last (0,1 Watt) schlug die Anzeigeschwelle zu. Der zweite Prüfling lag auch nur bei wenigen Prüflasten mal ein oder zwei Prozent daneben. Mit seinem niedrigen Preis wird das PM1 so zum Geheimtipp. Gut ablesbar ist es dank ausreichender Ziffernhöhe auch; besser wäre es noch mit beleuchtetem Display.

⊕ präzise

⊕ gut ablesbar

Preis: 10 Euro



## Hama 00137289

Hat man Hamas Energiekostenmessgerät aus seiner Blisterverpackung befreit, ist der Rest leicht: einstecken, warten, ablesen. Das Gerät braucht wenig Leistung, maß aber verglichen mit dem restlichen Testfeld weniger genau, auch wenn es für daheim noch reicht. Bei der unkritischen ohmschen Last (Glühlampe) hielt es seine Spezifikation gerade so ein. Lesebrillenträger werden am kleinen Display wenig Freude haben und sollten fürs Ablesen in dunklen Ecken eine Taschenlampe mitnehmen.

⊕ geringe Eigenleistung

⊖ höchste Abweichung im Test

Preis: 14 Euro

Sinus abweicht. Das ist auch bei den PC-Netzteilen und dem USB-Ladegerät der Fall. Besonders Letzteres wird im Idle-Zustand, also ohne zu ladendes Gerät, zur Herausforderung.

Sinnvollerweise zeigen die meisten EKM erst beim Überschreiten einer bestimmten Mindestlast, typisch 0,2 bis 0,6 Watt, überhaupt einen Wert an. Deshalb steht in der Tabelle als relativer Messfehler mit dem leerlaufenden USB-Ladegerät bei den meisten Geräten „-100 %“. Diesen Fall haben wir bei der Berechnung der „Abweichung gegen Referenz“ ausgeschlossen. Ebenso gewichten wir die relativen Fehler bei kleinen Prüflasten unter 5 Watt nur mit einem Viertel. Denn die Kirche soll im Dorf bleiben: Die getesteten Messgeräte sind ja keine Präzisionsgeräte fürs Elektroniklabor, sondern für den Haushaltseinsatz gedacht. Lagen die Prüflinge gemittelt um höchstens zwei Prozent neben unserer Referenz, war das ein „sehr gut“ wert. Ab zehn Prozent gab es eine zufriedenstellende Note, mehr als 20 Prozent hätten wir als „schlecht“ angesehen.

## Schlau gemessen

Um vergleichbare und reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, versorgten wir die Energiekostenmessgeräte und die angeschlossenen Prüflasten aus einer AC-Source mit einer sauberen Netzspannung von 230 Volt bei 50 Hertz. Diesen Idealfall trifft man im Haushalt selten. Die Netzspannung darf um 10 Prozent schwanken und tut das in der Praxis auch. Deswegen genügt es nicht, nur den Strom zu messen, um zur Wirkleistung zu kommen. Die EKM berücksichtigen das: Sie messen beide wichtigen Größen Momentanspannung und -strom simultan und separat mehrere tausendmal pro Sekunde. Das Produkt – die Wirkleistung – mitteln sie dann über die Netzperiode. Diese Methode kompensiert nicht nur die im Hausnetz typischerweise leicht verzerrte Sinusform der Spannung, sondern ebenso die Phasenverschiebung bei reaktiven Lasten.

Die meisten Prüflinge zeigen zwar auch die Netzfrequenz an, aber sie erfassen sie nur grob, um fest-



## LogiLink EM0003 v.2

Das EM0003 v.2 ist zum zweiten Mal in solch einem Test dabei, weil wir wissen wollten, ob sich zwischenzeitlich etwas an seinem Aufbau und der Präzision geändert hat. Kurze Antwort: nein. Lange Antwort: Die Abweichungen der aktuellen Geräte lagen auf demselben Niveau wie die Ende 2019 getesteten [1]. Damit taugt das EM0003 v.2 weiterhin als preiswertes und dank hoher Ziffern auf dem großen Display gut ablesbares Energiekostenmessgerät. Allerdings gilt wie damals: Der Mess-Chip könnte mit besserer Werkskalibrierung mehr.

⬆️ **bequem ablesbar**

⬇️ **Mess-Chip könnte mehr**

**Preis: 15 Euro**



## PeakTech 9035

Laut Handbüchlein soll das 9035 auf  $\pm 0,5$  Prozent genau messen, doch beide Prüflinge lagen im Test auch oberhalb der genannten Messschwelle von 1 Watt oft über dieser selbst gesetzten Marke. Während das bessere Exemplar mit gemittelt einem Prozent kaum von unserer Referenz abwich, lag der zweite Prüfling mit acht Prozent stärker daneben. Für den Hausgebrauch reicht das noch aus, aber zum verlässlichen Messen kleiner Leistungen gibt es bessere Alternativen.

⬆️ **kleiner Eigenleistungsbedarf**

⬇️ **auffällige Serienstreuung**

**Preis: 17 Euro**

zustellen, ob sie in einem 50- oder einem 60-Hertz-Netz laufen. Zwei Modelle (Alecto EM-17 und Voltcraft SEM6000) melden sogar aufs einzelne Hertz aufgelöste Werte. Aber das ist für die Praxis irrelevant: Schon wenn die Frequenz nur um zwei Zehntel Hertz vom 50-Hz-Ideal abweicht, liegt der Energiefluss im europäischen Verbundnetz so schief, dass eine Netzauf trennung und lokale Blackouts wahrscheinlich werden.

## Rückwärtsgang

Für die Messung der Produktion von Balkonkraftwerken ist interessant, ob Energiekostenmessgeräte auch einen Leistungsfluss in Gegenrichtung erfassen (Vierquadrantenmessung). Solche Einspeisung zeigten alle untersuchten Geräte an, wenn auch ohne Minus-Vorzeichen, das die umgekehrte

Energierichtung kennzeichnen würde. Dabei liefern moderne Mess-Chips diese Information durchaus. Beispielsweise meldet der RN8209D im SEM6000 negative Wirkleistung mit einem gesetzten REVP-Bit.

Beim Messen von eingespeister Energie ist der angezeigte Wert prinzipiell zu hoch: Weil sie keine separate Spannungsversorgung haben, müssen die EKM ihre Betriebsleistung aus dem Messkreis holen. Der Messwiderstand für den Verbraucherstrom sitzt hinter dem Abzweig für das interne Netzteil. So geht der Eigenverbrauch im regulären Betrieb nicht ein. Doch im Einspeisefall ist es andersrum. Da Balkonkraftwerke bei günstigen Bedingungen aber einige Dutzend bis mehrere Hundert Watt liefern, ist der zusätzliche Fehler dann glücklicherweise klein.

Apropos Eigenverbrauch: Die getesteten Geräte zogen mit 0,3 bis 1,1 Watt selbst erfreulich wenig Leistung aus dem Stromnetz. Dabei lagen die zwei



## Trotec BX09

Trotecs BX09 hat uns überrascht: Für einen Zehner bekommt man ein sehr genau arbeitendes Energiekostenmessgerät. Zwar ist sein Display noch etwas kleiner als das des Hama-Produktes, aber es ist wegen der höheren Ziffern der einzeiligen Anzeige dennoch besser ablesbar. Die letzte Stelle der Wirkleistung sollte man weglassen, auf 10 Milliwatt genau misst das BX09 nicht. Im Dauerbetrieb verursacht das Gerät mit 0,3 Watt Eigenleistung auch kaum Stromkosten.

- ⬆ sehr genau
- ⬆ kompakt
- Preis: 10 Euro



## Voltcraft SEM6000

Das Voltcraft SEM6000 von Conrad Electronic misst durchfließende Energie und schaltet angeschlossene Verbraucher. Zum Bedienen und Abfragen koppelt man das Gerät per Bluetooth ans iOS- oder Android-Smartphone. Die Hardware ist außergewöhnlich kompakt und misst verglichen mit unserer Referenz sehr genau. Die zugehörige, übersichtliche App übertreibt aber bei den Nachkommastellen enorm. Kleine Leistungen zeigt sie gleichwohl mit geringer Abweichung an.

- ⬆ sehr klein
- ⬆ Schaltfunktion
- Preis: 28 Euro

## Literatur

[1] Ernst Ahlers,  
**Stromkostenwächter**,  
Acht Energiekosten-  
Messgeräte für den  
Hausgebrauch,  
c't 1/2020, S. 110

**dena-Energiepartipps,**  
**LMG95**  
[ct.de/w7fx](http://ct.de/w7fx)

# Mehr Futter für Ihre Festplatte



[shop.heise.de/ct-linuxguide22](http://shop.heise.de/ct-linuxguide22)



[shop.heise.de/ct-energietipps22](http://shop.heise.de/ct-energietipps22)

Kleinsolaranlagen  
für den Balkon



[shop.heise.de/ct-netzsichheit22](http://shop.heise.de/ct-netzsichheit22)

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

**heise Shop**

## Energiekostenmessgeräte

Marke	Alecto	AVM	Basetech	Chilitec	Dayhome	Hama
Typ	EM-17	Fritz!DECT 200	EM-3000	CTM-807	PM1	00137289
Bezeichnung	Energiekostenmessgerät	intelligente Steckdose	Energiekostenmessgerät	Energiemeter	Energiekosten-Messgerät	Energiekosten-Messgerät
<b>Bedienelemente</b>						
Tasten	Func, Set, Up, Reset	Ein/Aus, DECT	Set, Energy, Cost, Up, Reset	Mode, Up, Reset	Function, Cost, Up, Down, Reset	Up, Set, Func, Reset
Ziffernhöhe Hauptanzeige	14 mm	—	11 mm	15 mm	13 mm	8 mm
Speicherbatterie	✓ (3 × LR44)	—	✓ (2 × LR44)	—	interner Akku	interner Akku
erhöhter Berührschutz	✓	—	✓	✓	✓	✓
<b>Angezeigte Größen</b>						
Spannung (U) / Strom (I)	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / —	✓ / ✓	✓ / ✓
Wirkleistung (P) / Minimum / Maximum	✓ / — / —	✓ / ✓ / ✓	✓ / — / —	✓ / — / —	✓ / ✓ / ✓	✓ / — / ✓
Anzeigeauflösung P / Latenz	0,01 W / 3 s	0,01 W / 20 s <sup>1</sup>	0,1 W / 2 s	0,01 W / 3 s	0,1 W / 4 s	0,1 W / 3 s
Scheinleistung (S) / Leistungsfaktor (PF) / Frequenz	— / ✓ / ✓	— / — / —	— / ✓ / ✓	— / — / —	— / ✓ / ✓	— / ✓ / ✓
Arbeit (E) / Laufzeit / Uhrzeit	✓ / ✓ / ✓	✓ / — / —	✓ / ✓ / —	✓ / — / —	✓ / ✓ / —	✓ / ✓ / ✓
Kosten: Gesamt / pro Tag / Monat / Jahr	✓ / — / — / —	✓ / ✓ / ✓ / ✓	✓ / — / — / —	✓ / — / — / —	✓ / — / — / —	✓ / — / — / —
Überlast / sonstiges	✓ / —	— / CO <sub>2</sub> -Äquivalent	✓ / CO <sub>2</sub> -Äquivalent, Wochentag	— / —	— / —	✓ / —
miss Einspeisung / korrektes Vorzeichen	✓ / —	✓ / —	✓ / —	✓ / —	✓ / —	✓ / —
Besonderes	Tag/Nacht-Tarif	Kostenprognose, Temperaturmessung, Schalten nach Zeitplan/Geräusch, Standby-Abschaltung	—	—	—	Tag/Nacht-Tarif, Gerät wird laut Hersteller nicht mehr produziert
spezifizierter Messfehler U / I	k. A. / k. A.	k. A. / k. A.	±1,5 % / ±2 %	k. A. / k. A.	k. A. / k. A.	±1,5 % / ±1,5 %
spezifizierter Messfehler P	k. A.	± 0,1 W (bis 5 W), darüber ± 2 %	± (2 % + 2 W)	k. A.	k. A.	±1,5 %
Mess-Chip	CS5463	PL8331	CL2208	unbeschriftet	BL65230X	CS5460A
<b>Gemessener Wirkleistungfehler (relativ)</b>						
PC-Netzteil Suspend-to-RAM (2 Watt)	1 %	0 %	0 %	5 %	0 %	40 %
PC-Netzteil idle (20 Watt)	0 %	0 %	3 %	1 %	0 %	3 %
NUC-Netzteil Suspend-to-RAM (2 Watt)	3 %	0 %	5 %	0 %	0 %	45 %
NUC-Netzteil idle (20 Watt)	0 %	1 %	3 %	1 %	0 %	3 %
USB-Ladegerät idle (0,1 Watt)	—100 %	0 %	—100 %	—100 %	—100 %	—100 %
USB-Ladegerät Last (10 Watt)	1 %	0 %	3 %	1 %	0 %	8 %
Glühlampe (60 Watt)	0 %	0 %	4 %	0 %	0 %	2 %
Energiesparleuchte (7 Watt)	1 %	0 %	3 %	2 %	0 %	16 %
LED-Leuchte (2,5 Watt)	2 %	0 %	0 %	4 %	0 %	36 %
Abweichung gegen Referenz <sup>2</sup>	1 %	0 %	3 %	1 %	0 %	11 %
Eigenleistungsaufnahme <sup>3</sup>	0,3	1,1 W <sup>b</sup>	0,5 W	0,5 W	0,5 W	0,4 W
<b>Bewertung</b>						
Genauigkeit	⊕⊕	⊕⊕	⊕	⊕⊕	⊕⊕	○
Ablesekomfort	⊕	⊕⊕	○	⊕	⊕	○
Eigenverbrauch	⊕⊕	○	⊕	⊕	⊕	⊕⊕
Preis	20 €	70 €	20 €	15 €	15 €	15 €

<sup>1</sup> unterschiedlich bei Browser und App, siehe Text <sup>2</sup> gewichtetes Mittel der Beträge, ohne leerlaufendes USB-Ladegerät <sup>3</sup> bei schaltbaren Steckdosen im Ein-Zustand, aus: 0,5 W (AVM), 0,2 W (Voltcraft SEM6000)

✓ vorhanden — nicht vorhanden k. A. keine Angabe ⊕⊕ sehr gut ⊕ gut ○ zufriedenstellend ⊖ schlecht ⊖⊖ sehr schlecht

## Technische Daten und Testergebnisse

LogiLink	PeakTech	Trotec	Voltcraft
EM0003 v.2	9035	BX09	SEM6000
Energiekostenmessgerät „Premium“	Digital Energy Meter	Energiekosten-Messgerät	Bluetooth Energiekosten-Messgerät
Function, Cost, Up, Down, Reset	Up, Set, Mode, Reset	Set, Mode, Up	Ein/Reset
12 mm	11 mm	10 mm	–
interner Akku	interner Akku	–	–
✓	✓	✓	✓
✓/✓	✓/✓	–/–	✓/✓
✓/✓/✓	✓/–/✓	✓/–/–	✓/–/–
0,1W/2s	0,1W/2s	0,01W/3s	0,001W/2s
–/✓/✓	–/✓/✓	–/–/–	✓/✓/✓
✓/✓/–	✓/✓/✓	✓/–/–	✓/–/–
✓/–/–/–	✓/–/–/–	✓/–/–/–	✓/✓/✓/✓
✓/–	✓/CO <sub>2</sub> -Äquivalent, Wochentag	–/–	–/CO <sub>2</sub> -Äquivalent
✓/–	✓/–	✓/–	✓/–
–	Tag/Nacht-Tarif	–	konfigurierbare Überlastabschaltung, Timer und Zeitplan per App
±2 % / ±2 %	±0,5 % / ±0,5 %	k. A. / k. A.	k. A. / k. A.
±2 %	±0,5 %	±2 % oder ±2 Watt (<100 Watt), sonst ±2 %	±0,23 W (bis 1W), ±10 % (bis 5 W), ±2 % (bis 10 W), dann ±1 %
CS5460A	CS5460A	vergessen	RN8209D
5 %	0 %	0 %	–10 %
3 %	1 %	1 %	–2 %
0 %	0 %	0 %	–1 %
3 %	2 %	1 %	0 %
–100 %	–100 %	0 %	–100 %
2 %	1 %	0 %	0 %
2 %	1 %	0 %	0 %
2 %	2 %	0 %	0 %
4 %	0 %	0 %	–1 %
2 %	1 %	0 %	1 %
0,5W	0,4W	0,3W	0,7W <sup>3</sup>
⊕⊕	⊕⊕	⊕⊕	⊕⊕
⊕	⊕	○	⊕⊕
⊕	⊕⊕	⊕⊕	⊕
15 €	20 €	15 €	30 €



**Alle Energiekostenmessgeräte im Test zeigten einen umgekehrten Leistungsfluss – etwa Einspeisung aus einem Balkonkraftwerk – an, aber anders als unser Laborgerät LMG95 ohne Minus-Vorzeichen.**

Modelle mit Schaltfunktion – AVM Fritz-DECT 200 und Voltcraft SEM6000 – bei aktivem Relais etwas über dem Durchschnitt. Doch auch wer diese Geräte einsetzt, zahlt kein Vermögen für eine länger dauernde Energiemessung an Verbrauchern mit fluktuierender Leistungsaufnahme. Bis ein Watt Eigenleistungsbedarf werten wir als „gut“, unter 0,5 Watt ergeben eine sehr gute Note.

## Fazit

Als Auslese der diesjährigen EKM-Ernte entpuppten sich die Geräte von Pollin Electronic (Dayhome PM1) und Trotec (BX09). Sie kosten gerade mal einen Zehner, wichen im Test aber kaum von unserer mehrere Tausend Euro teuren Referenz LMG95 ab. Chilitecs CTM-807 folgt dicht auf den Fersen. Es ist mit 14 Euro ebenso teuer wie Hamas Produkt Nr. 00137289, zeigte aber kleine Lasten weit präziser an als jenes.

Auch der Rest muss sich nicht verstecken: Die von uns gemessenen Abweichungen gegen die Laborreferenz sind niedrig genug für den Hausgebrauch, besonders bei höheren Lasten ab 20 Watt. Die teureren Zwischenstecker von AVM und Voltcraft spielen in einer eigenen Liga: Beim Fritz!DECT 200 ist die Energiemessung eine Dreingabe zur Smart-Home-Komfortfunktion Fernschalten, beim SEM6000 ist es anders herum.

(ea)

# Vorschau: c't ChatGPT & Co.

## Generative KI effektiv einsetzen

Generative KI-Anwendungen revolutionieren den Alltag. Sprachbots wie ChatGPT erzeugen auf Zuruf Texte der verschiedensten Gattungen, von der Zusammenfassung des Faust über Werbemails bis hin zu Gedichten. Suchmaschinenbetreiber bauen solche Text-KIs ein, um Fragen direkt zu beantworten. Bildgeneratoren entwerfen innerhalb von Minuten Werke im Stile beliebiger Künstler, Grafiken und sogar fotorealistische Bilder. Und auch wenn Sie einen Rap-Song

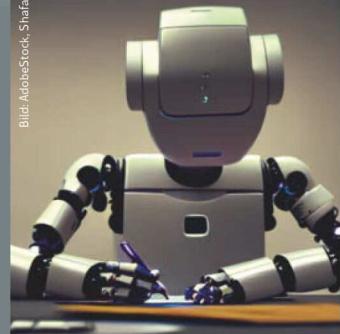
Ab 23. Mai im Handel  
und auf [ct.de](http://ct.de)

inklusive der Musik kreieren wollen, greift Ihnen KI unter die Arme.

Dieses c't-Sonderheft zeigt Ihnen mit ausführlichen Test- und Praxisartikeln, wie Sie die neuen KI-Tools effektiv einsetzen. Neben den Chancen der neuen Technik diskutiert es auch seine Risiken ausführlich.

Eine aktuelle Videoproduktion der heise Academy wird das Thema ergänzen. Die Käufer des KI-Specials erhalten diese mit Rabatt.

Bild: AdobeStock, Shalay



Weitere Infos: [ct.de/wy4g](http://ct.de/wy4g)

## Themenschwerpunkte

### Arbeiten mit KI

- Was Sprachmodelle verändern können
- Rechtsfragen bei KI-generierten Werken
- Wie KI das Klima beeinflusst

### Kunst mit KI

- KI-Bilder mit Stable Diffusion erzeugen
- Grafikkartenberatung für die Bilder-KI

### Schreiben mit KI

- ChatGPT mit Erweiterungen ausreizen
- Textgeneratoren und Textverbesserer
- KI-Texte erkennen

### Musik mit KI

- Kommerzielle KI-Komponisten im Test
- Rap-Songs mit KI-Tools produzieren

### Suchen mit KI

- KI-Suchmaschinen im Vergleich
- Schutz vor KI-Crawlern

### Hacken mit KI

- ChatGPT als Hacking-Tool
- Gefahren durch manipulierte Prompts



## KI und Machine Learning: Lerne von den Profis

- Videokurs-Serie **Machine Learning mit TensorFlow**
- 20+ Videokurse und Webinare zum Thema Machine Learning und Data Science
- On-Demand oder Live: Bestimme selbst, wann, was und wie du lernst



**Jetzt ausprobieren: [heise-academy.de](http://heise-academy.de)**



# Stärken Sie Ihre Abwehrkräfte!



**ct** **WINDOWS-GUIDE**  
System absichern • einrichten • reparieren

**ACTION**  
Videokurs mit über 90% Leserrabatt

heise Academy

VIDEOKURS

Holger Voges

**Windows-Sicherheit**  
Der Praxiskurs

Windows-Systeme mit Bordmitteln absichern – aktuell für die Versionen 10 und 11

Wie Sie die integrierten Schutzfunktionen in Windows in privaten und Firmennetzwerken richtig einsetzen

Anschaulich erklärt in 82 Lektionen  
Laufzeit 8:43 Stunden  
Machen Sie mit bei praktischen Übungen

**Windows gegen Angriffe absichern**  
So gehen Angreifer vor  
Sicherheit mit wenigen Handgriffen  
Neue Windows-Schutzfunktion nutzen

**Hilfe für Notfälle vorbereiten**  
ct-Notfall-Windows 2023: Überarbeiteter Bausatz mit besserer Bedienung  
Update-Stress vermeiden  
Den richtigen Imager fürs Backup wählen

**Windows-Probleme effektiv lösen**  
Troubleshooting mit dem Notfallsystem  
Viren jagen, Laufwerke klonen  
Notfall-Windows per PowerShell

**+ Videokurs „Windows-Sicherheit“ mit über 90 % Leserrabatt**

Welche Schutzfunktionen bietet Windows und wie aktiviere ich Sie? Wie halte ich mir unerwünschte Updates vom Leib und wie kann ich nicht vertrauenswürdige Programme in einer abgeschotteten Umgebung testen? Diese Fragen und noch mehr klären wir im neuen ct-Sonderheft:

- ▶ Windows gegen Angriffe absichern
- ▶ Hilfe für Notfälle vorbereiten
- ▶ Windows-Probleme effektiv lösen
- ▶ **Inklusive ct-Notfall-Windows 2023**
- ▶ Auch als Angebots-Paket Heft + PDF + Buch „Sichere Windows-Infrastrukturen“ erhältlich!

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



[shop.heise.de/ct-windowsguide23](http://shop.heise.de/ct-windowsguide23)

# Wir schreiben Zukunft.



35 %  
Rabatt

2 Ausgaben MIT Technology Review  
als Heft oder digital  
inklusive Prämie nach Wahl

[mit-tr.de/testen](http://mit-tr.de/testen)



[mit-tr.de/testen](http://mit-tr.de/testen)



[leserservice@heise.de](mailto:leserservice@heise.de)



+49 541/80 009 120