



Ab aufs Dach

Photovoltaik 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

Das hören viele seit Monaten: „Gerne bauen wir Ihnen eine Photovoltaikanlage. Aber nicht vor dem vierten Quartal 2023.“ 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 Garagendach von Redakteurin Pina Merkert lockte mit 25 Quadratmeter Zie-

geldach 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 [1], fragten wir uns, ob wir die Garage nicht einfach selbst mit Solarmodulen bestücken könnten. Das Grundprinzip aus

ct kompakt

- Viele Arbeitsschritte beim Aufbau einer Solaranlage kann und darf man selbst ausführen.
- Mit einem Gerüst und dem richtigen Werkzeug setzt man selbst Dachhaken, klinkt Ziegel aus und klemmt Module fest.
- Die Elektrik kann man nur vorbereiten: Solaranlagen über 600 Watt muss ein zertifizierter Elektrobetrieb ans Stromnetz anschließen.

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 × 6,2 Meter), 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 Akkuschauber, 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 deswegen 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.

Kosten

Posten	Preis
Wechselrichter: 2 × Hoymiles HMT2250 6T	973,90 €
Module: 12 × Trina Solar TSM-DE09.08	2.271,60 €
Dachhaken und Profile: Novotegra Klemmsystem top-fix	686,40 €
100 Meter DC-Solkabel 4mm ²	125,44 €
100 MC4-Stecker	44,99 €
AC-Anschlusskabel: NYM 5×2,5mm ² 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 €

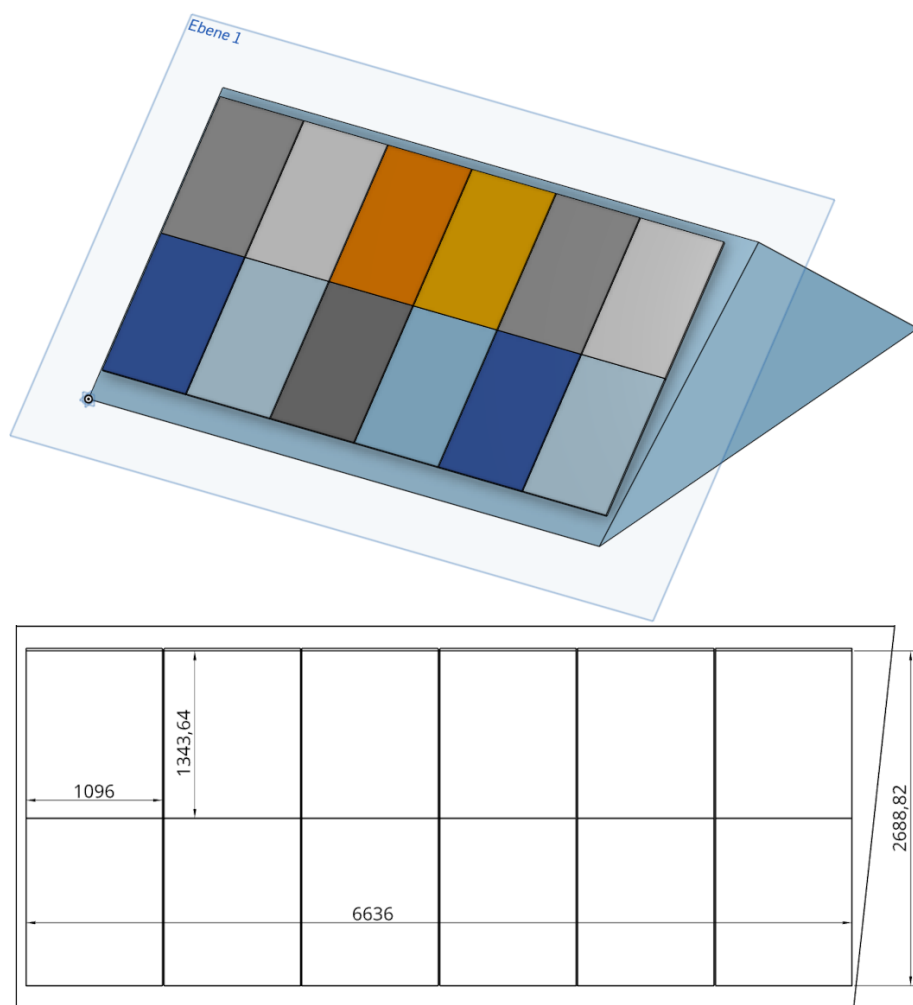
Werkzeugempfehlung

- Winkelschleifer mit Diamantscheibe
- Edding für Markierungen auf den Ziegeln
- Schlagschrauber (Impact Driver) mit Torx T20-Bit
- Metallsäge zum Ablängen der Schienen
- Akkuschauber 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

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 sechs 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 Solarateur an, sodass wir uns hohe Speditionsversandkosten gespart haben. Die gesamte Kalkulation für unser Projekt finden Sie in der Tabelle links.



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 Grundstücksgrenze folgt.

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 [2], das kosten-

los 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/yemv.

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 eingetragener 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 Prüffertifikaten des Herstellers.

Als handwerklich erfahrener Laie kann man selbst die Dachhaken anschrauben, die Ziegel ausklinken, Aluprofile als Unterkonstruktion anbringen, die Module befestigen und die Verkabelung vorbereiten. Auch die Formulare für die Anmeldung kann man selbst ausfüllen. Nur die Verbindung zum Stromnetz stellt der Solarteursbetrieb 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 auf einer Leiter verzweifeln. Der Himmel klarte glücklicherweise etwas auf, als wir von der Gerüstplattform aus die ersten Ziegel ausklinkten und die Sparren freilegten. Auf die schraubten wir mit langen Tellerkopfschrauben die erste Reihe Dachhaken. Der



Die Dachhaken, Profile und Module lieferte uns der Solarteur, mit dem wir handelseinig wurden.



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

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 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.

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



Statt mit dem Zimmermannshammer Nuten zu schlagen, frästen wir Schlitzte mit einer Diamantscheibe. Zwei Ziegel brachen trotzdem, aber erst beim Zurecht-rücken.

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 crimpen und darf sie nicht wechlöten. Drückt ein Stecker auf ein verzinnertes Kabel, weicht das Lötzinn über die Jahre aus und die Verbindung wird instabil oder kann sogar brandgefährlich heiß werden. Zudem liefern normale LötKolben ohnehin nicht genug Wärme, um so dicke Kabel sauber zu verlöten.

Beim dreiphasigen Wechselstromanschluss hatten wir dann aber ein Problem. Wir hatten ein wasserdichtes T-Stück für die Außeninstallation besorgt, um beide Wechselrichter zusammenzuschlie-



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

ßen 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.

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 Ga-

rage läuft über ein $5 \times 2,5$ -mm²-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 3×16A 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 sogenannten 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 von Wechselrichter mit den beiden Enden des Strings, dem Profi überlassen.

Formularkultur

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



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



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

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-Solarleute: 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 abgeschraubt, um drunter zu schauen. Messgeräte prüften alle von uns verlegten

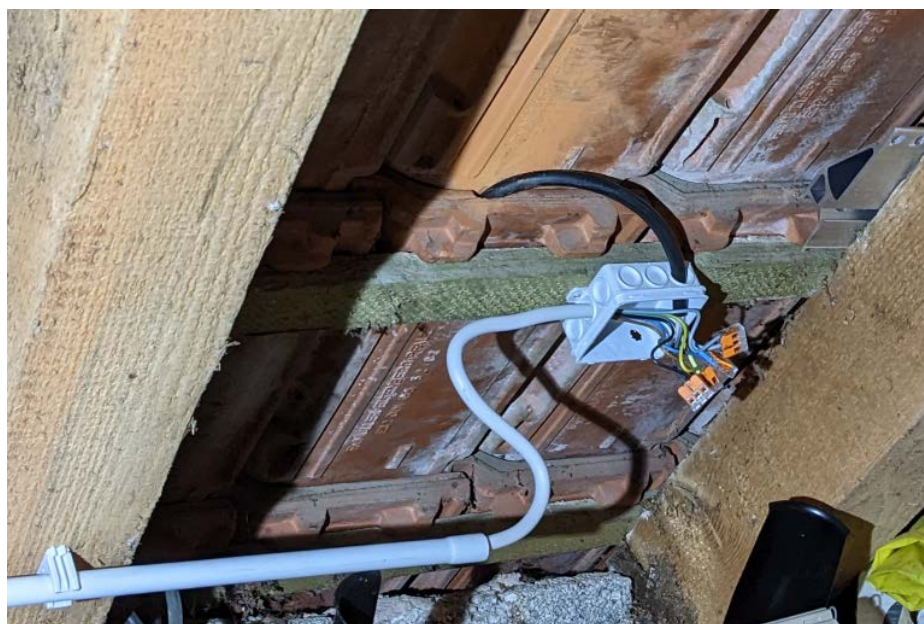
Kabel. Doch dann kam die Bestätigung: Wir haben alles richtig aufgebaut. Die Messwerte sind gut, die Anlage konnte ans Netz gehen.

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: Raketentechnik ist es nicht. Die technische Komplexität ist eher auf dem Niveau einer Waschmaschinenreparatur, nur eben auf einem Gerüst. Trotz unserer Sicherungsurte 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@ct.de) **ct**

Literatur

- [1] Jan Mahn und Andrijan Möcker, Heimkleinkraftwerk, Mit Balkonsolaranlagen die Stromrechnung senken, c't 15/2022, S. 20
- [2] Pina Merkert, Browser Aided Design, Einstieg in Onshape: 3D-Designs im Browser, c't 24/2020, S. 150

CAD-Plan: ct.de/yemv



Die kurzen Anschlusskabel der Mikrowechselrichter konnten wir einfach unter der Ziegel durchführen und innen die drei Phasen verkabeln.