

optimisation des centrales solaires sur balcon

Considérations, faits intéressants et calculs

Thomas Scherer (Allemagne)

Le battage médiatique autour de la technologie solaire en général et des centrales sur balcon en particulier s'est poursuivi sans relâche depuis le début de la guerre en Ukraine (et l'incertitude qui en découle quant à l'approvisionnement en énergie en Europe centrale). Depuis notre dernier article en 2021, l'offre et les ventes dans ce secteur ont connu une croissance considérable et les prix sont plus bas que jamais. Les informations présentées dans cet article vous permettront de vous lancer plus facilement !

Une guerre fait rage depuis le 24 février 2022, qui a provoqué des pénuries et une hausse des prix de l'énergie en dehors de l'Ukraine également. La réduction de l'approvisionnement en gaz en provenance de Russie a clairement montré, notamment en Europe centrale, que la protection de l'environnement n'est pas gratuite. En Allemagne et au Danemark, le coût d'un kWh d'électricité a parfois dépassé 0,40 €, ce qui a pesé non seulement sur les industries à forte consommation d'énergie, mais aussi sur Monsieur et Madame Tout-le-monde.

En réponse, le gouvernement allemand a renoncé à toute TVA sur les produits solaires (y compris les coûts d'installation des systèmes solaires) à partir de 2023. En conséquence, les petites et grandes installations solaires, également appelées centrales sur balcon, ont connu un essor incroyable, ce qui a entraîné une forte baisse des prix. En 2023, tous les magazines scientifiques, les grands magazines d'information et les quotidiens ont publié des articles sur les centrales sur balcon. Elektor avait déjà publié un article en 2021 [1] ; récemment, il y a même eu un numéro spécial entier consacré à ce sujet [2]. Il est donc évident que l'intérêt et le besoin d'information sont toujours aussi importants.

Qu'est-ce qu'une centrale solaire sur balcon ?

Une centrale solaire sur balcon est un petit générateur photovoltaïque. Comme son nom l'indique, elle est si petite que vous pouvez l'installer sur un balcon. Mais cette définition n'est pas exhaustive.

Il s'agit d'un système solaire de faible puissance. Dans l'Union européenne, les installations dont la puissance de crête est inférieure

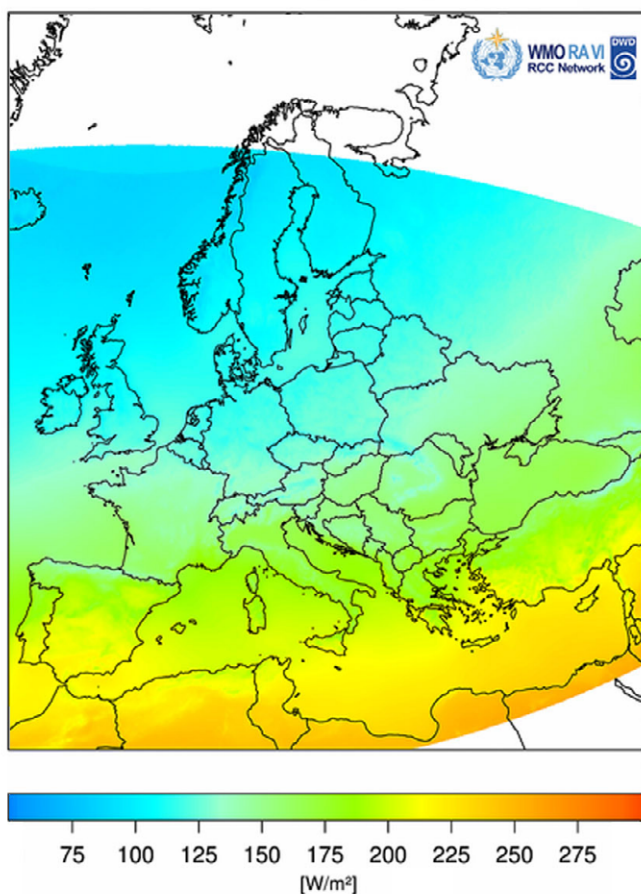
à 800 Wc se situent en dessous du seuil à partir duquel la bureaucratie s'en mêle, avec sa paperasse et ses frais. C'est votre droit d'installer un tel système et personne ne peut vous en empêcher (tant que l'installation est sûre) ou l'écraser sous le poids de la bureaucratie. En Allemagne, cependant, les choses ne sont pas aussi simples, car la puissance est limitée à un maximum de 600 W (à partir de fin 2023) et, en raison de la structure fédérale, chaque État fédéral a ses propres conditions d'approbation par les opérateurs de réseau respectifs. Cependant, la démarche bureaucratique reste bien simple que pour les "vrais" systèmes solaires d'une puissance supérieure à 600 W. En outre, la bureaucratie devrait bientôt être encore réduite et la limite de 600 W devrait être portée à la limite européenne de 800 W.

L'objectif est également important : une centrale sur balcon n'est pas destinée à injecter de l'électricité sur le réseau public et à être rémunérée pour cela. Les revenus escomptés n'auraient aucun sens du point de vue économique, compte tenu des frais qui y sont liés. La centrale sur balcon est plutôt censée produire juste assez d'énergie électrique pour alimenter vos appareils domestique lors du temps de repos, qui est causée par exemple par la pompe de circulation du chauffage, le réfrigérateur, le routeur Internet et d'innombrables adaptateurs de courant enfichables. Tout surplus est injecté au réseau de l'opérateur afin que le petit système reste simple et peu coûteux. Cela a des conséquences en termes de dimensionnement.

Une centrale sur balcon se compose d'un ou de plusieurs modules solaires et d'un onduleur approprié pour convertir la tension continue en tension alternative de 230 V compatible avec le réseau, afin de l'injecter sur le réseau électrique public. Cela soulève des questions concernant la conception appropriée du système, les coûts, la qualité des composants et d'autres facteurs.

Global Radiation Europe

Reference Mean (1983 - 2005)



Global Radiation Germany

Based on satellite data and ground measurements of the DWD network
Mean of Years (1981 -2010)

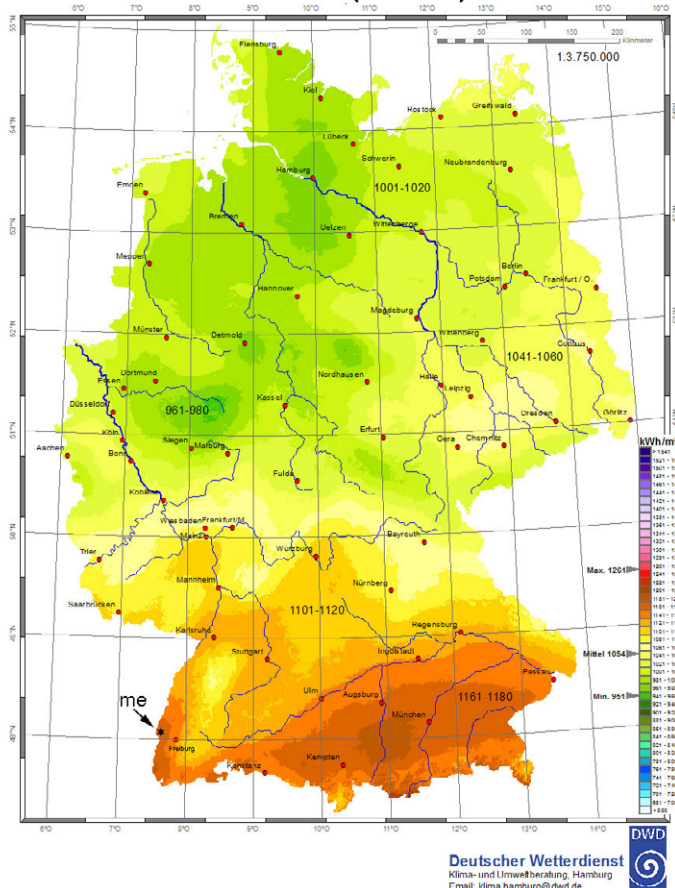


Figure 1. Cartes de rayonnement solaire du service météorologique allemand (DWD) (Source : [3]).

Efficacité économique

Outre les avantages écologiques incontestables de l'autoproduction d'énergie électrique, il est certainement important de savoir dans quelle mesure l'achat et l'installation d'une centrale sur balcon sont économiquement viables. De nombreux chiffres circulent sur Internet, qui sont parfois exagérés ou du moins très optimistes. Il est toutefois possible de déterminer avec une fiabilité raisonnable le rendement escompté d'une installation solaire. Les paragraphes suivants décrivent la marche à suivre.

Tout d'abord, la hauteur est importante car elle détermine non seulement l'angle sous lequel les rayons du soleil atteignent la surface de la terre, mais aussi la valeur cumulée de l'énergie solaire que l'on peut attendre d'une zone donnée au cours d'une année. On peut compenser la hauteur en ajustant l'angle d'installation des modules solaires, mais il faut accepter les conséquences liées à l'emplacement du bâtiment. Le service météorologique allemand fournit des cartes de rayonnement [3], à partir desquelles il est possible de se renseigner sur l'énergie solaire moyenne par an (figure 1) et d'obtenir bien d'autres informations. Vous pouvez même trouver sur Internet des calculateurs de rendement solaire très utiles. Des cartes et des outils de calcul pour d'autres pays sont également disponibles en ligne. Que vous installiez votre centrale sur balcon sur la côte de la mer du Nord ou dans le sud de l'Allemagne, que vous viviez en Scandinavie, en Afrique du Nord ou même au Mexique.

En Allemagne, on peut s'attendre à une moyenne d'environ 1 MWh/m² par an. Cela va de ma maison dans le sud de Bade avec environ 1,2 MWh/m² à environ 900 kWh/m² entre Flensburg et Kiel. Outre ce rayonnement solaire "général", le climat local doit également être pris en compte. Le fait de vivre sur le versant d'une montagne ou d'une chaîne de montagnes face à la direction principale du vent (au vent) ou à la direction opposée (sous le vent) fait une grande différence. Il pleut plus et plus fort dans les endroits exposés au vent, ce qui signifie qu'il y a plus de nuages que dans les endroits exposés au vent. Même la pollution atmosphérique (surtout en hiver) a une influence. Il faut donc prévoir au moins 10 % de variance supplémentaire. Selon ces critères, j'ai de la chance : je vis dans le sud de Bade, dans la plaine du Rhin, du côté sous le vent des grandes montagnes des Vosges. Au moins en été, je peux clairement obtenir des rendements plus élevés que dans la ville voisine de Fribourg, par exemple, car il faut s'attendre à plus de nuages dans cette ville à cause du vent, bien que la latitude géographique soit la même. Avec ma première centrale sur balcon, dont les deux panneaux de 330 Wc mesurent au total 3,2 m² (voir **figure 2**), j'ai calculé une production journalière brute maximale de 1,2 MWh/m² × 3,2 m² = 3,84 MWh par an, en fonction de ma situation géographique. Malheureusement, les cellules solaires n'ont pas un rendement de 100 %. Les panneaux que j'ai utilisés ont atteint un peu moins de 20 %, ce qui se traduirait par une récolte annuelle de 770 kWh/an. En raison de l'orientation non optimale vers le sud et



Figure 2. Les deux panneaux de 330 Wc de ma première centrale sur balcon installés sur un auvent.

d'un angle d'installation trop plat, j'ai calculé avec seulement 75 % de la valeur optimale, ce qui donnerait tout de même 580 kWh/an. Cependant, l'alimentation maximale de 600 W de l'onduleur installé à l'époque n'a pas pu être pleinement utilisée. Une partie de l'énergie produite finit généralement sur le réseau comme cadeau pour le grand public. Dans mon cas, la charge de base est un peu plus élevée que la moyenne à cause de deux réfrigérateurs, d'un grand congélateur, d'un chauffage central avec deux pompes, de tous les équipements électroniques habituels, y compris un PC avec moniteur dans mon bureau, et une télévision allumée plusieurs heures par jour. J'ai donc supposé que j'utiliserais moi-même environ 75 % de l'électricité, ce qui signifiait que je pouvais espérer économiser un peu moins de 430 kWh en termes réels, ce qui aurait représenté environ 125 €/an au prix de l'électricité de 0,30 €/kWh à l'époque. La centrale sur balcon a coûté environ 600 € et aurait été amortie en quatre ans.

Cependant, le rendement était en fait plus élevé après un an et deux ans. J'ai atteint un apport brut de 630 puis 670 kWh/an (voir **figure 3**), ce qui peut probablement s'expliquer par ma localisation idéale en termes d'énergie solaire avec peu de nuages. Cela s'est également reflété de manière adéquate sur le compteur d'électricité, puisque la consommation d'électricité était inférieure d'environ 500 kWh/an à celle des années précédentes.

Si vous habitez plus au nord et que vous devez vivre avec un rayonnement global d'environ 1 MWh/m² par an, vous pourriez donc vous attendre à une récolte d'environ 460 kWh/an avec un système par ailleurs identique. En revanche, la proportion d'autoconsommation devrait être plus élevée, de sorte que vous pouvez finalement vous attendre à une facture d'électricité réduite de 350 à 400 kWh. Cependant, ce calcul s'applique à la situation il y a 2,5 ans.

Aujourd'hui, le rendement des cellules solaires s'est légèrement amélioré pour atteindre 21 à 22 % et, en outre, des panneaux plus grands sont désormais utilisés à moindre coût. Aujourd'hui, grâce aux progrès techniques et aux nouvelles réglementations, on peut s'attendre à des économies supérieures de 25 % à celles de ma première centrale sur balcon.

Plus de puissance

Legal changes are currently underway in Germany that will finally allow the 800 W permitted in many other EU countries for balcony power plants. This was not only reason enough for a hardware update on my part, but should also be reason enough for you to opt for an output of more than 600 W if you are now planning a balcony power station. If you buy a solar inverter with 800 W or more today, you can normally still use it immediately, because you can either throttle many of these models to 600 W yourself or even buy them already throttled. Once the 600 W limit has been waived, you can simply switch the inverter back to 800 W. Even

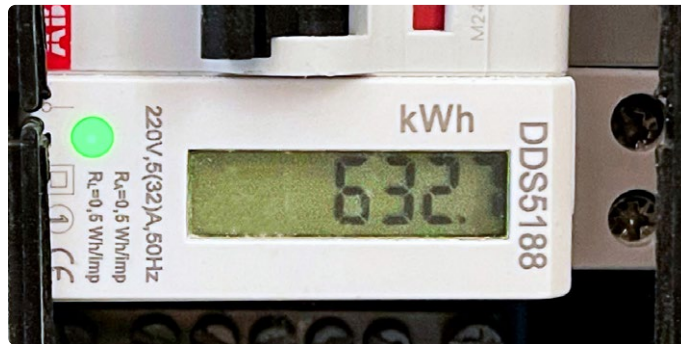


Figure 3. Énergie récoltée après un an d'exploitation de la première centrale sur balcon.

larger inverters can make sense, but more on that later.

En plus, les prix des panneaux ont chuté de façon spectaculaire depuis le début de l'année 2023, et pas seulement à cause de la TVA qui est actuellement supprimée en Allemagne. Il est actuellement possible d'acheter des panneaux d'une puissance maximale de 425 Wc ("c" correspond à "crête") pour moins de 100 €. Les panneaux plus puissants sont également un peu plus grands, car l'augmentation du rendement d'un peu moins de 20 % à plus de 21 % n'est pas suffisante pour atteindre cette augmentation de puissance. Mes panneaux ont une taille standard de 176,2×113,4 cm (voir **figure 4**). Les frais de transport sont importants car on ne peut plus transporter les modules dans une voiture normale – pas même dans un break (contrairement aux anciens modèles 330 Wp). Les commandes groupées sont intéressantes ici si vous pouvez trouver des acheteurs parmi vos amis ou les membres de votre famille.

En Allemagne, les panneaux de grande taille se heurtent encore à un obstacle juridique : les modules solaires d'une surface de plus de 2 m² ne sont pas approuvés pour une installation sur le toit. J'ai eu de la chance car mes panneaux font exactement 1,998108 m². En réponse à une demande adressée au ministère fédéral allemand des Affaires économiques et du Plan climat, on m'a dit que la limite de surface sera portée à 3 m² dans le cadre de la législation proposée "Solarpaket II" [4], ce qui permettra alors d'avoir des panneaux de plus de 550 Wc.

Pour une centrale sur balcon moderne, vous devriez donc opter pour des panneaux de plus de 400 Wc et bientôt probablement pour ceux de plus de 500 Wc. Si vous envisagez un système avec un seul module pour des raisons d'encombrement, vous devriez acheter un onduleur de 400 W auquel un seul module peut être raccordé. Les prédécesseurs de 300 W sont donc déjà obsolètes et ne peuvent être vendus qu'à un prix très réduit. Il en va de même pour un système à deux panneaux : si nécessaire, achetez un onduleur d'une puissance de 800 W qui peut être limité à 600 W et connectez-y deux panneaux de plus de 400 Wp. Malheureusement, les panneaux de plus de 2 m² sont encore un rêve du futur et ne seront probablement pas légaux avant un certain temps en 2024.

Toutefois, avant de cliquer sur "Acheter", nous vous recommandons de lire cet article dans son intégralité, car il y a quelques points à prendre en compte.

Dimensionnement

Comme nous l'avons déjà mentionné, l'objectif d'une centrale sur balcon est de couvrir l'"autoconsommation" de votre maison ou appartement. Dans presque tous les cas, la puissance de base requise restera bien en dessous de 600 W et tendra à se situer entre 100 et 200 W. Si votre centrale sur balcon fournit plus de puissance que nécessaire, une plus grande partie du surplus sera simplement injectée sur le réseau, ce qui est économiquement inutile pour

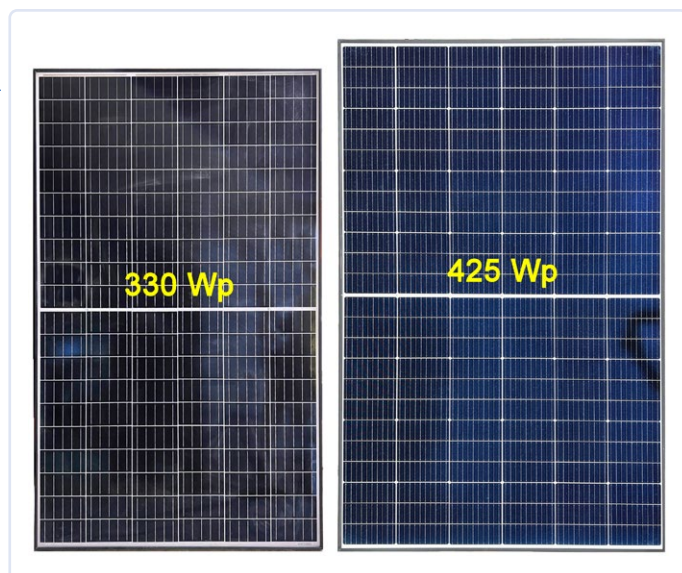


Figure 4. Comparaison de dimensions entre mes anciens panneaux de 330 Wc et les nouveaux panneaux de 425 Wc.

vous. Alors pourquoi un dimensionnement plus ambitieux a-t-il encore du sens ?

Comme vous le savez, un système solaire ne fournit pas d'énergie la nuit, même au clair de lune. Supposons que vos besoins en énergie électrique soient de 100 W. Cela correspond à un besoin énergétique annuel de 876 kWh. Pour un ménage typique de deux personnes, cela représente près d'un tiers du besoin total. En moyenne, la nuit dure 12 h/j - la moitié de cette consommation de base = 438 kWh/an est donc inévitable, à moins vous n'ayez recours à une batterie comme tampon. Cependant, toute l'autre moitié ne peut pas être couverte par une centrale sur balcon, car à l'aube et au crépuscule, même deux panneaux de 425 Wc ne produisent que moins de 100 W. Sous les latitudes septentrionales où les périodes crépusculaires sont plus longues, il n'est donc certainement pas possible de dépasser 100 W pendant plus de 10 h/j en moyenne. Il y a aussi du mauvais temps - surtout pendant les mois d'hiver. La figure 5 montre que même ma nouvelle centrale sur balcon, plus puissante, n'a pas atteint 100 W à 16h fin octobre sous un ciel nuageux.

Que faire ? La première mesure consiste probablement à installer des panneaux aussi grands que possible. L'important n'est pas d'atteindre les valeurs de crête les plus élevées possibles, mais de fournir plus d'énergie au crépuscule ou par mauvais temps et de couvrir ainsi la plus grande partie possible de la charge de base pendant une plus grande partie de la journée. La puissance de crête de l'onduleur n'a d'intérêt que si vous exploitez par beau temps de gros consommateurs tels que des machines à laver, des sèche-linge ou des cuisinières électriques et que vous compensez ainsi une plus grande partie de cette consommation. Pour ma part, la centrale sur balcon m'a permis de faire attention à ces périodes. D'ailleurs, lorsque vous utilisez un système de climatisation en été, vous pouvez supposer que sa consommation électrique est presque entièrement couverte par une centrale sur balcon de 800 W.

Vous pouvez améliorer encore les choses en utilisant un onduleur plus puissant avec quatre entrées et quatre panneaux. Il existe dans le commerce des modèles de 1 200 à 1 500 W adaptés à ce type d'utilisation. En règle générale, ces onduleurs peuvent également être réduits à 600 ou 800 W et sont donc formellement conformes à la loi - si l'opérateur de réseau ne soulève pas de problèmes. Cependant, cela devrait devenir plus facile pour les clients allemands avec la législation "Solarpaket II". Le doublement de la puissance

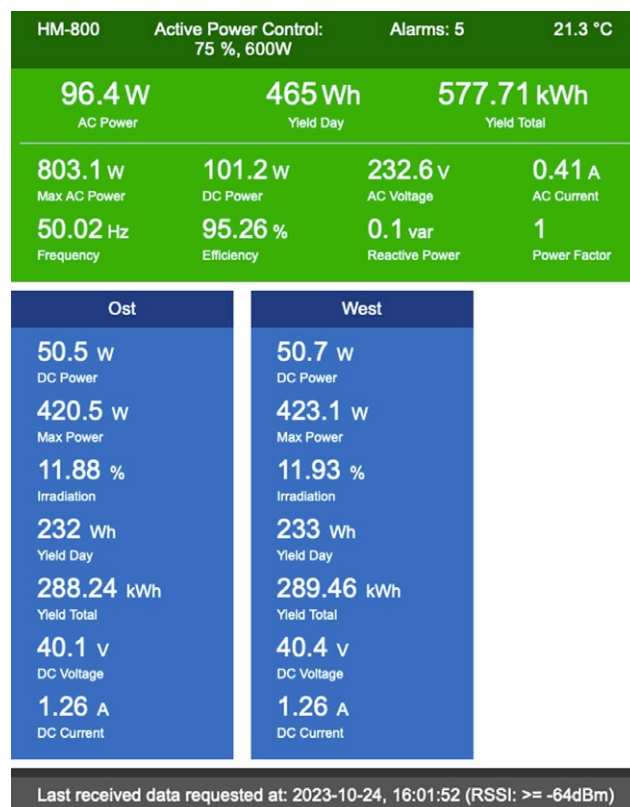


Figure 5. Fin octobre, ma nouvelle centrale sur balcon a produit moins de 100 W sous un ciel nuageux.

maximale présente le grand avantage de dépasser plus rapidement le seuil de charge de base et de permettre de récolter deux fois plus d'énergie, même par mauvais temps. Les économies réalisées sont donc plus importantes, mais malheureusement, comme on pouvait s'y attendre, elles ne sont pas linéaires et le retour sur investissement est donc plus faible à cause du rapport prix/performance moins avantageux. Mais si vous voulez réaliser des économies d'énergie maximales, vous devez emprunter cette voie.

Cependant, il y a un petit problème avec les onduleurs pour quatre panneaux : ils n'ont normalement pas plus de contrôleurs MPPT que les onduleurs pour deux panneaux seulement. Avec les onduleurs quadruples, deux panneaux sont donc souvent connectés en série en interne, avec un tracker MPP disponible pour chaque paire. Ce n'est pas un problème majeur si vous alignez les quatre panneaux ou au moins deux panneaux de la même manière.

L'alignement des panneaux est également important pour un rendement optimal. Si vous installez deux panneaux sur un balcon comme solution standard, vous n'avez pas le choix. Mais si vous avez de l'espace, c'est-à-dire un toit plat ou un auvent, vous pouvez également orienter un panneau plus à l'est et le second plus à l'ouest. Le sud-est et le sud-ouest seraient un bon choix, permettant au dépassement du seuil supposé de 100 W de commencer plus tôt le matin et de se terminer plus tard le soir, ce qui compense la charge de base pendant plus longtemps (au détriment de la puissance de crête). Vous pouvez économiser encore plus d'énergie en alignant deux panneaux d'un système à quatre panneaux au sud-est et deux au sud-ouest. Si vous souhaitez réaliser quatre orientations différentes avec quatre panneaux, il est recommandé d'acheter deux onduleurs de 800 W au lieu d'un onduleur quadruple, car vous aurez besoin de quatre trackers MPP (voir **figure 6**). En général, l'installation est considérée comme une seule "centrale électrique" ou

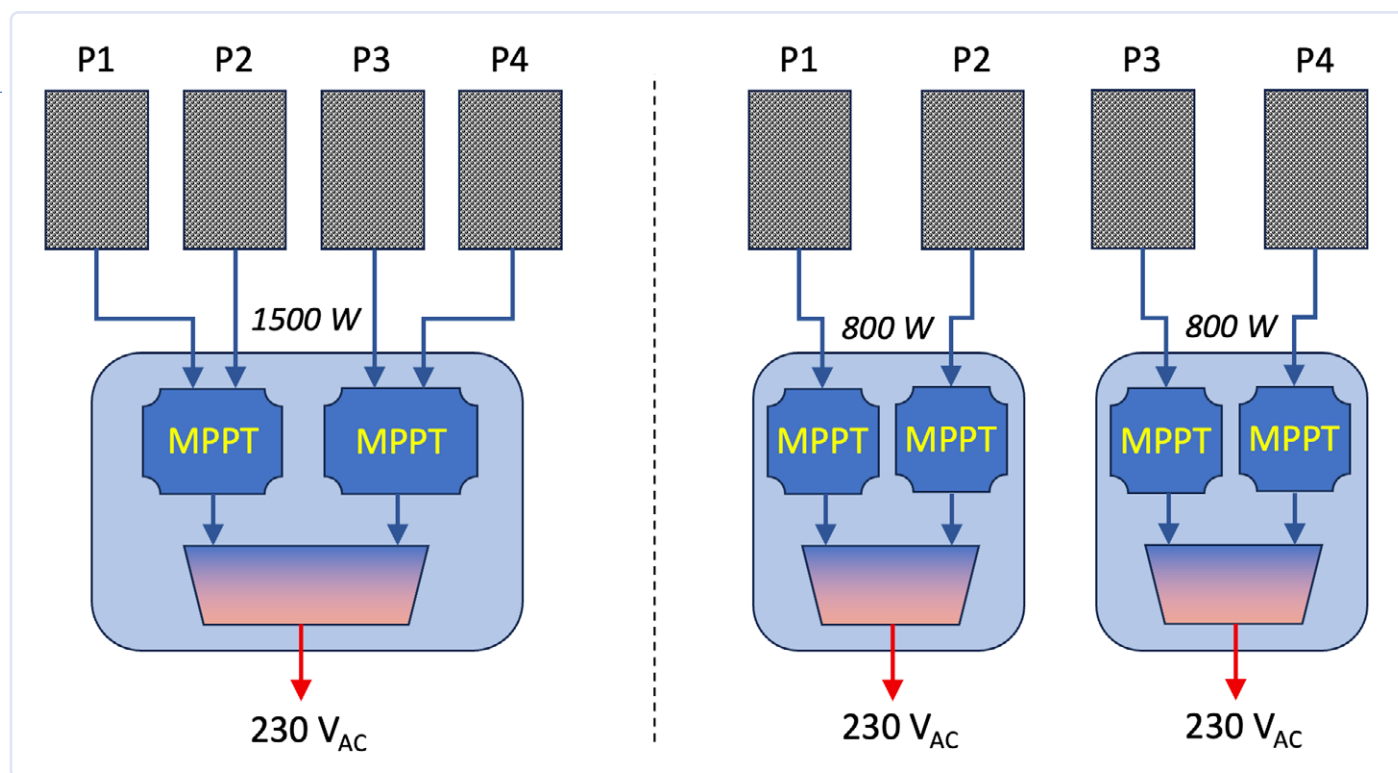


Figure 6. Deux solutions avec quatre panneaux : un onduleur avec deux trackers MPP à gauche et deux onduleurs avec un total de quatre trackers MPP à droite.

un seul système, même si deux onduleurs fonctionnent en même temps, car les dispositions légales n'indiquent rien sur la structure spécifique ou le nombre de panneaux, mais seulement sur la puissance maximale. La solution avec deux onduleurs n'est que légèrement plus chère et est également préférable si l'on choisit un emplacement différent pour chaque paire de panneaux. Un câble d'alimentation plus long est moins cher et plus facile à poser que quatre câbles solaires plus longs.

Bien entendu, un tracker MPP par panneau a également des avantages en cas d'ombrage, car chaque panneau est alors géré individuellement. Pour cette raison, il y a même des personnes qui installent des systèmes solaires plus grands avec plus de 10 kWc de puissance solaire installée en utilisant de nombreux panneaux avec de nombreux micro-onduleurs doubles de faible puissance (au lieu d'un grand onduleur). En général, il est possible de raccorder ces petits onduleurs au réseau en une chaîne de six unités maximum.

Choix des panneaux

Comme nous l'avons déjà mentionné, il n'est plus judicieux d'acheter des panneaux plus petits dont la puissance de crête est inférieure à 400 Wc. Toutefois, si vous souhaitez utiliser des panneaux vraiment grands en prévision de la nouvelle législation, vous devez veiller tout particulièrement à ne pas dépasser le courant maximal ni la tension maximale aux entrées de l'onduleur. Ces deux paramètres dépendent de la taille des panneaux et de leur conception. Par exemple, l'onduleur HM-800 de Hoymiles, très répandu, peut par exemple supporter un maximum de 60 V et 12,5 A à ses entrées. Tous les panneaux ne peuvent pas être raccordés à cet onduleur. Plus le nombre de cellules augmente, plus la tension maximale est élevée pour une puissance donnée et plus le courant de court-circuit est faible. À cause des pertes ohmiques plus faibles, les panneaux modernes sont toujours équipés de cellules solaires divisées en deux au lieu de cellules carrées complètes. Par conséquent, lorsque nous parlons de "cellules", nous entendons généralement des demi-cellules. La **figure 7** présente la structure interne d'un module solaire

courant JKM420-54 de Jinko Solar [5]. Son total de 108 demi-cellules est divisé en trois blocs de deux circuits en série montés en parallèle de 18 demi-cellules chacun. La connexion série équivalente est donc de 54 demi-cellules, et deux séries de ce type sont connectées en parallèle. Une cellule délivre, sous charge, un peu moins de 0,6 V. Dans ce module solaire, les 54 cellules efficaces atteignent une tension de 31,5 V à la sortie maximale. À un peu plus de 38 V, la tension maximale en circuit ouvert se situe dans la plage de sécurité de pratiquement tous les onduleurs adaptés aux centrales sur balcon. Cependant, avec seulement 108 demi-cellules pour un panneau aussi puissant, la surface des cellules – et donc le courant délivrable – est relativement élevée. La fiche technique révèle que le courant de fonctionnement maximal d'un peu plus de 13,3 A dépasse déjà la spécification maximale de 12,5 A pour l'onduleur HM-800. Cependant, certains modèles d'autres fabricants supportent un courant maximal allant jusqu'à 15 A, ce qui est suffisamment élevé.

Pour la majorité des micro-onduleurs actuellement disponibles, vous devriez cependant éviter les modules solaires avec seulement 108 demi-cellules. En choisissant des panneaux avec 120 cellules ou plus dans la gamme allant jusqu'à 435 Wc, vous êtes en sécurité en ce qui concerne le courant. J'ai choisi des panneaux avec 144 cellules et ceux-ci délivrent un maximum d'un peu plus de 10 A. En hiver, cependant, ils peuvent atteindre bien plus de 50 V de tension en circuit ouvert à des températures inférieures à zéro, au soleil et sans charge. La limite de 60 V du HM-800 est suffisante ici, mais il est important de vérifier si l'onduleur que vous choisissez peut supporter la tension maximale en circuit ouvert de vos panneaux. Pour les grands panneaux de la classe supérieure à 500 W, il faut s'attendre à des courants et/ou des tensions considérablement plus élevés, en fonction du nombre de cellules. En général, seuls les onduleurs les plus récents peuvent les supporter. La vérification des données techniques des modules solaires et des onduleurs est obligatoire si vous ne voulez pas risquer une défaillance. Les nouveaux onduleurs de la classe HMS de Hoymiles peuvent déjà supporter 14 A aux entrées.

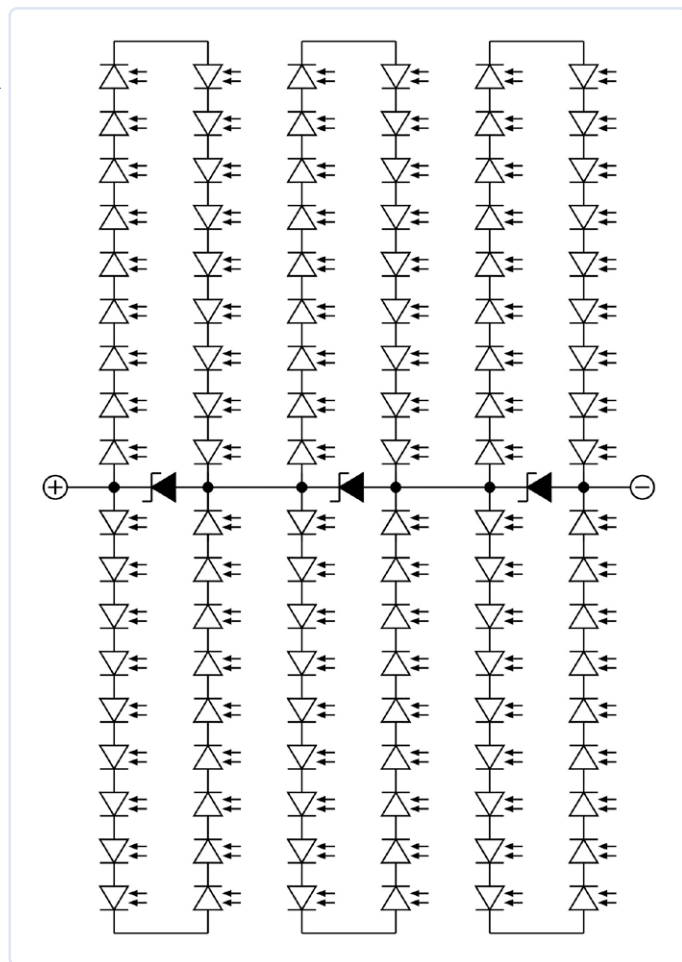


Figure 7. Circuit interne d'un module solaire moderne composé de 108 demi-cellules.

Installation

En fonction de l'emplacement de l'installation, vous devez utiliser différentes stratégies pour fixer les panneaux. Vous pouvez être créatif si vous aimez le travail du métal. Toutefois, il existe également des systèmes de montage adaptés à chaque variante d'installation, que l'on peut se procurer à des prix raisonnables. Il n'est donc pas toujours utile de réaliser soi-même le montage avec des profilés en acier galvanisé ou en aluminium.

Il convient bien sûr de réfléchir à l'orientation. Le sud est optimal, au moins dans l'hémisphère nord. Aux antipodes, les panneaux doivent être orientés vers le nord et, à l'équateur, ils peuvent même théoriquement être à plat et pointer directement vers le ciel. C'est là que les effets de l'angle d'inclinaison entrent en jeu. D'une part, les angles plats ne sont pas vraiment favorables, même à l'équateur, car la poussière, la saleté et les fientes d'oiseaux s'accumulent et sont difficilement éliminées par la pluie. En outre, le rayonnement solaire au-delà des tropiques n'est jamais perpendiculaire à la surface de la terre, mais présente un angle plus ou moins aigu. Par conséquent, si vous ne consacrez pas beaucoup d'efforts techniques à suivre la position du soleil avec les panneaux, vous devez réfléchir à l'angle d'installation optimal [6][7].

Avant tout : il n'existe pas d'angle d'installation optimal universel, car l'optimum dépend non seulement du lieu d'installation ou de sa latitude géographique, mais aussi de vos exigences personnelles. Il existe sur Internet des calculateurs ou des tableaux qui permettent de déterminer le rendement maximal en fonction de l'endroit où l'on vit. Selon eux, l'angle optimal en Allemagne par rapport à l'horizontale se situerait entre 38° (extrême nord) et environ 32° pour moi dans le sud. Il s'agit toutefois du rendement optimal cumulé

sur toute l'année, ce qui n'est un critère raisonnable et judicieux que pour les grandes installations solaires dont l'énergie injectée sur le réseau rapporte de l'argent. Or, comme nous le savons tous, le soleil est nettement plus bas en hiver qu'en été. Par conséquent, avec des angles plats, on obtient plus d'énergie en été et moins en hiver que ce qui serait possible. L'inverse est vrai pour les angles aigus. Pour les centrales sur balcon, cependant, la valeur de crête est moins importante que les rendements moyens et faibles obtenus au fil du temps. Dans ce cas, les angles plus aigus sont plus judicieux, car les rendements plus élevés sont obtenus en hiver au détriment de l'été et du rendement global.

J'ai donc monté mes panneaux à un angle de 45°. Je suis convaincu que c'est ce qui me permet d'économiser le plus. Les premières projections basées sur trois mois avec ma nouvelle centrale sur balcon de 800 W avec un meilleur angle d'installation confirment que je peux effectivement m'attendre à une augmentation des économies d'électricité de plus de 25 % par rapport à l'ancienne version de 600 W.

Heureusement, l'angle d'installation est loin d'être aussi critique qu'on pourrait le penser. Les courbes d'intensité de l'éclairage durant l'année évoluent plus ou moins sinusoïdalement entre l'hiver et l'été, plutôt que linéairement. Il en va de même pour la courbe entre le lever et le coucher du soleil. L'intensité du soleil lorsqu'il se déplace d'est en ouest ressemble également à une onde sinusoïdale tronquée en bas. Un écart par rapport à l'orientation idéale vers le sud et à l'angle d'installation idéal de 10°, par exemple, n'entraîne qu'une réduction du rendement de 0,5 à 2 %. Un écart de $\pm 45^\circ$ par rapport au sud ne réduit la récolte solaire que de 5,1 %. Même une erreur d'angle d'installation de 20° représente moins de -4 %. Toutefois, ces valeurs ne s'appliquent qu'à la récolte maximale d'énergie. Dans le cas d'une centrale sur balcon, il s'agit simplement de dépasser le plus souvent et le plus longtemps possible le seuil de la consommation électrique continue d'une maison, d'où la nécessité d'accorder un peu plus d'importance à un bon alignement et à des angles d'installation plus inclinés.

Sur un toit plat, au lieu de percer des trous et de risquer des fuites, vous pouvez simplement utiliser des poids. Ainsi, les panneaux restent en place même en cas de vents violents. Chez une amie en Israël, par exemple, j'ai simplement utilisé des margelles en béton bon marché sur le toit de son bungalow et j'y ai vissé les panneaux avec une construction faite de supports en acier galvanisé (**figure 8**). Chaque pierre pèse 45 kg. Cela devrait suffire, mais le toit doit aussi pouvoir supporter le poids.

Si vous avez un balcon avec des tuyaux en acier, il est intéressant d'utiliser des supports prêts à l'emploi qui vous permettent de visser les panneaux directement à la verticale sur la balustrade. La fixation verticale est toutefois loin d'être idéale. Il faut tenir compte de pertes pouvant aller jusqu'à 30 % par rapport à des angles plus optimaux. Dans le cas des centrales sur balcon, la charge obtenue sera inférieure au seuil de base pendant une période particulièrement longue, ce qui est bien dommage. Avec d'autres systèmes qui permettent de régler l'angle, les panneaux peuvent être fixés à des balustrades en bois, en métal ou en béton à des angles considérablement meilleurs. La **figure 9** montre l'installation avec un tel système sur des planches de bois sur le parapet d'un balcon ; et dans la **figure 10**, vous pouvez voir le même système de fixation sur un auvent. Le coût par panneau commence à environ 20 €.



Figure 8. Installation d'une centrale sur balcon sur un toit plat avec des pierres en béton.



Figure 9. Les panneaux ont été vissés aux planches d'un balcon avec des fixations prêtes à l'emploi en aluminium anodisé noir.



Figure 10. Avec le même système de fixation que dans la figure 9 (ici en aluminium naturel), les modules solaires peuvent également être montés de manière stable sur des toits plats avec un angle réglable.

Autres considérations

Outre les critères d'efficacité et de prix, d'autres aspects jouent également un rôle dans le choix des modules solaires, de l'onduleur associé et du matériel. Pour les modules solaires, il convient de réfléchir à la meilleure installation possible, surtout s'il faut s'attendre à ce que d'autres maisons, des structures de toit ou des arbres fassent de l'ombre. La logique derrière cela et la direction dans laquelle il faut moter les panneaux solaires (verticalement plutôt qu'horizontalement, par exemple), et beaucoup d'autres choses peuvent être abordées dans un article plus complet sur les modules solaires dans le numéro spécial d'Elektor sur la technologie solaire [2].

Comme nous l'avons déjà mentionné, si vous souhaitez utiliser quatre modules solaires, vous devez réduire la puissance de l'onduleur ou des onduleurs pour produire au maximum 600 W (en Allemagne) ou 800 W. Ce n'est pas le cas de tous les onduleurs. De même, vous ne pouvez pas intégrer directement tous les onduleurs dans votre propre réseau local sans fil et les contrôler. En particulier pour les modèles HM de Hoymiles, très répandus, vous devez soit acheter un DTU (unité de transfert de données), soit en construire une vous-même. Il existe déjà une solution avec le logiciel open-source OpenDTU, publiée par Elektor[8], et l'équivalent avec le logiciel AhoyDTU se trouve dans le numéro spécial [2]. La **figure 11** montre le DTU que j'ai construit moi-même.

Si vous souhaitez consulter l'historique de la récolte de votre propre centrale sur balcon, il existe des solutions proposées par les fabricants d'onduleurs. Toutefois, lorsque vous les utilisez, vous devez être conscient que vos données sont hébergées dans des clouds chinois et qu'elles seront perdues si le fabricant décide d'arrêter ces services dans quelques années. Il existe également des solutions à code source ouvert, notamment le logiciel de domotique Home Assistant. Ce sujet sera abordé plus en détail dans l'un des prochains numéros d'Elektor. Ce logiciel pourrait également être utilisé pour l'autoconsommation, dans laquelle la puissance de l'onduleur est réajustée pour minimiser le courant injecté sur le réseau.

Comme nous l'avons déjà mentionné, il existe aujourd'hui de bons modules solaires de plus de 400 Wc pour moins de 100 € chacun. Un peu plus chers sont les modules bifaces, qui ont une deuxième couche de verre sur la face inférieure (comme celle de la face supérieure) au lieu d'un film plastique blanc. Cela permet au rayonnement (diffus) de l'arrière d'augmenter le pourcentage du rendement. Toutefois, cela ne vaut pas la peine pour les panneaux posés à plat sur un toit ou un mur, car il n'y a pratiquement pas de rayonnement vers l'arrière. Un autre avantage des panneaux bifaces est que la couche en verre est beaucoup plus stable et plus dense qu'une couche en plastique. Par conséquent, ces modules ont une durée de vie plus longue et se dégradent probablement moins au fil du temps. Le coût supplémentaire pour cette valeur ajoutée est relativement faible.

Dans le cadre de la législation allemande "Solarpaket II", l'obligation de se connecter au réseau avec une prise Wieland, qui coûte entre 35 et 40 € supplémentaires, est censée être supprimée. Certaines personnes utilisent déjà une fiche normale pour une prise de courant normale en prévision de cela, ce qui n'est cependant pas encore autorisé en Allemagne – seulement dans d'autres pays. Pour ma part, j'ai branché ma centrale sur balcon directement avec son propre câble et son propre fusible afin d'évi-

ter de tels problèmes. En outre, avec les 800 W autorisés à l'avenir, il faut s'attendre à un courant maximal de 3,5 A injecté sur le réseau 230 V. Si les prises sont protégées par un fusible de 16 A, un courant jusqu'à 19,5 A peut circuler sur une autre prise du même circuit avant que le fusible ne saute. Cette situation n'est toutefois pas autorisée. Lors d'un raccordement via une prise, la valeur du courant du fusible correspondant dans la boîte à fusibles doit donc être réduit à ≤ 12 A. Ce travail est réservé à un électricien agréé par la compagnie d'électricité.

Selon certains rapports, des sociétés locales allemandes d'approvisionnement en énergie soulèvent actuellement des problèmes lors de l'enregistrement de centrales sur balcon d'une puissance de 600 W avec des onduleurs de 800 W. Ce problème devrait bientôt être résolu grâce à la législation "Solarpaket II", car seul l'enregistrement simplifié auprès du "Marktstammdatenregister" sera alors nécessaire en Allemagne.

En ce qui concerne l'évolution des prix : vous pouvez actuellement acheter des centrales sur balcon complètes de 800 W pour moins de 400 € (hors frais de port et matériel d'installation). Pour vous donner une idée, un tel investissement devrait être amorti en moins de trois ans grâce aux économies d'énergie faites. Avec un bon système, plus grand, composé de quatre panneaux et de deux onduleurs 800 W, vous pouvez rapidement atteindre les 1 000 €. Comme vous n'économiserez pas deux fois plus, vous devez calculer sur la base de quatre à cinq ans pour un amortissement complet. De nombreux petits systèmes à batteries d'une capacité de 1 à 2 kWh, conçus spécifiquement pour les centrales sur balcon, sont récemment apparus sur le marché. Il est possible de les connecter simplement entre les panneaux solaires et l'onduleur pour utiliser une partie de l'énergie pendant la journée pour charger la batterie. La nuit, la batterie fournit une quantité réglable de courant à l'onduleur, de sorte que la consommation continue d'une maison pendant la nuit peut également être (partiellement) compensée. Il s'agit d'une excellente idée. Cependant, le coût d'une telle solution s'élève à 1 500 à 2 500 €. L'amortissement est très discutable car, en l'absence de contrôle intelligent, une puissance constante est simplement injectée indépendamment de la consommation. Si l'on calcule de manière très optimiste sur une moyenne de 10 h/j et 100 W, environ 365 kWh/an pourraient être économisés, ce qui correspond à environ 110 €/an. L'amortissement prendrait donc de 14 à 23 ans.

Enfin, certaines autorités locales offrent des subventions pour les centrales sur balcon. Cela signifie qu'un tel investissement peut être rentabilisé au bout d'un an seulement. ◀

230660-04



Figure 11. Mon DTU que j'ai construit moi-même avec un écran OLED de 2.42 pouces.

Questions ou commentaires ?

Contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

À propos de l'auteur

Thomas Scherer a d'abord suivi une formation de technicien en électronique de télécommunication avant de travailler à la rédaction d'Elektor à partir de 1980. Après avoir étudié la psychologie et passé plusieurs années dans la recherche fondamentale, il est rédacteur indépendant pour Elektor depuis des décennies. Il a un grand labo d'électronique et, outre les neurones, il s'intéresse beaucoup aux électrons, c'est-à-dire à tout ce qui a trait à l'électricité.



Produits

➤ **Multimètre PeakTech 3350 (SKU 19986)**
www.elektor.fr/19986

LIENS

- [1] T. Scherer, "centrale solaire sur balcon", Elektor 9-10/2021 : <https://www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-184/59877>
- [2] Numéro spécial d'Elektor "Solaranlagen und Photovoltaik" [en allemand] : <https://elektor.de/20596>
- [3] DWD, solar radiation maps [en allemand] : <https://tinyurl.com/strahlungsklimatologie>
- [4] German Federal Ministry of Economics press release: <https://tinyurl.com/derenewables>
- [5] Fiche technique du module solaire [PDF] : <https://tinyurl.com/solarpanels>
- [6] Photovoltaic tilt angle table [en allemand] : <https://solar.red/photovoltaik-neigungswinkel>
- [7] Calculateur d'angle d'inclinaison des panneaux solaires : <https://footprinthero.com/solar-panel-tilt-angle-calculator>
- [8] T. Scherer, "ESP32 avec OpenDTU pour les centrales solaire sur balcon", Elektor 2023 : <https://elektormagazine.fr/230500-04>