

# dossier.

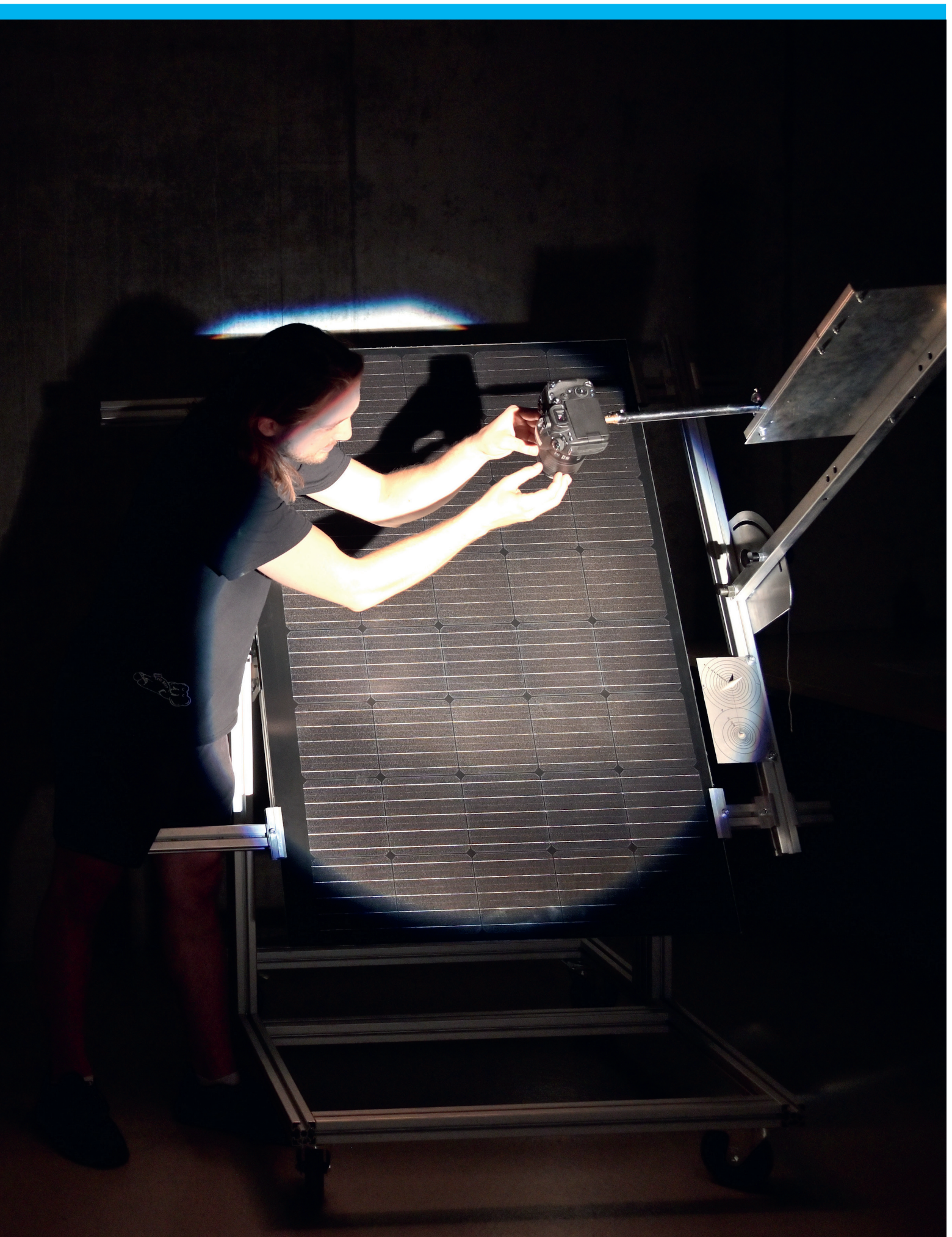
---

## Offene Fragen der Photovoltaik

**Forschung** | Schon in diesem Jahr wird Solarstrom über einen Zehntel des jährlichen Stromverbrauchs der Schweiz abdecken. Künftig wird er eine grosse Rolle spielen. Ist damit alles geklärt? Nicht ganz. Ein Blick auf aktuelle Forschungsfragen.

## Les questions en suspens du PV

**Recherche** | Le courant solaire couvrira dès cette année plus d'un dixième de la consommation annuelle d'électricité en Suisse. Il jouera aussi un rôle important à l'avenir. Quelques questions restent toutefois en suspens. Aperçu actuel de la recherche.



CHRISTOF BUCHER

**J**ährlich legen die Wirkungsgrade von PV-Modulen etwa um einen halben Prozentpunkt zu und die Modulkosten sinken. Dies erhöht das Potenzial der Photovoltaik. Auf diese positive Entwicklung haben die meisten Akteure der Schweizer PV-Branche zwar kaum einen Einfluss, dafür aber auf zahlreiche andere Aspekte, die künftig im PV-Bereich eine Rolle spielen dürften.

### Netzintegration

Bereits heute ist es wichtig, sich mit der künftig sehr relevanten Frage auseinanderzusetzen, wie die von den Energieperspektiven 2050+ propagierten grossen Solarstrommengen ins Netz integriert werden sollen. Denn für eine PV-Produktionsleistung, die den maximalen Landesverbrauch um das Vierfache übersteigt, werden sich weder Abnehmer am Markt finden, noch ist unser Netz dafür konzipiert. Eigenverbrauch, Zusammenschluss zum Eigenverbrauch (ZEV) oder lokale Elektrizitätsgemeinschaften (LEG) lösen das Problem nicht wirklich, denn sie haben keine Anreize dafür. Die gute Nachricht ist aber, dass sie es technisch problemlos tun könnten: Leistungsregler, die bei einem Überschuss die PV-Anlagen abregeln, nachdem sie alle möglichen Verbraucher zugeschaltet haben, um den Ertragsverlust möglichst gering zu halten, sind schon vielfach verbaut. Sie werden künftig zum Standard gehören. Da das Zusammenspiel mit dem Netz erst wenig erprobt ist, wird es in diversen Pilotprojekten untersucht. Das an der Berner Fachhochschule in Burgdorf entstehende «Smart Grid Lab» widmet sich diesen Fragen. Es soll sicherstellen, dass solche Systeme nicht nur auf dem Papier, sondern auch in der Realität wunschgemäss funktionieren.

### Alpine PV-Anlagen

Ein Thema, das die gesellschaftliche Diskussion im Kontext der drohenden Winterstromlücke zurzeit stärker dominiert, sind alpine PV-Anlagen. Zwar werden auf dem Jungfrauoch seit über 30 Jahren PV-Module getestet, aber da sie dort an einer Fassade angebracht sind und somit vom Gebäude geschützt werden, sind sie nicht den gleichen enormen Naturgewalten ausgesetzt wie alpine Freiflächenanlagen. Um die Erfahrungen mit den Freiflächenanlagen zu sammeln, haben sich die vier Fachhochschulen BFH, OST, Supsi und ZHAW zusammengeschlossen und die Plattform «alpine-pv.ch» gegründet. Diese Plattform stellt die Erfahrungen rund um die Forschung, Planung und den Betrieb solcher Anlagen der Gesellschaft zur Verfügung.

### Agri-Photovoltaik

Eine Intensivierung der Aktivitäten lässt sich auch im Bereich der Agri-PV-Anlagen beobachten. Bei ihnen ist der Material- und Kapitalaufwand deutlich geringer als bei alpinen PV-Anlagen. Zudem können sie mehrheitlich von den Landwirten selbst aufgebaut werden. Die künftigen Möglichkeiten des virtuellen ZEV und der LEV eröffnen zudem neue Vermarktungsmöglichkeiten. Das neue Raumplanungsgesetz erlaubt entsprechende Anlagen, wenn sie Vorteile für die landwirtschaftliche Produktion mit sich bringen. Was das konkret bedeutet, muss sich aber erst noch zeigen.

**C**haque année, les rendements des modules photovoltaïques (PV) augmentent d'environ un demi-point de pourcentage et les coûts des modules baissent, ce qui fait croître le potentiel du photovoltaïque. Si la plupart des acteurs de la branche photovoltaïque suisse n'ont guère d'influence sur cette évolution positive, ils en ont en revanche sur de nombreux autres aspects qui devraient jouer un rôle dans le domaine du PV à l'avenir.

### Intégration au réseau

Il est d'ores et déjà important de se pencher sur la question, très pertinente à l'avenir, de l'intégration au réseau des grandes quantités de courant photovoltaïque préconisées par les Perspectives énergétiques 2050+. En effet, il n'y aura pas d'acheteurs sur le marché pour une puissance de production PV quatre fois supérieure à la consommation maximale du pays, et notre réseau n'est pas non plus conçu pour cela. L'autoconsommation, les regroupements dans le cadre de la consommation propre (RCP) ou les communautés électriques locales (CEL) ne résolvent pas vraiment le problème, car les incitations manquent. La bonne nouvelle, cependant, est qu'ils pourraient le faire sans problème sur le plan technique: les régulateurs de puissance qui – après avoir branché tous les consommateurs possibles afin de limiter autant que possible la perte de rendement – réduisent la production des installations photovoltaïques en cas de surplus, sont déjà largement installés. Ils deviendront la norme à l'avenir. Comme l'interaction avec le réseau n'a fait l'objet que de peu d'essais jusqu'à présent, elle est examinée dans le cadre de divers projets pilotes. Le «Smart Grid Lab», qui est en train de voir le jour à la Haute école spécialisée bernoise (BFH), à Burgdorf, se consacre à ces questions. Son objectif consiste à garantir que de tels systèmes ne fonctionnent pas seulement tel que souhaité sur le papier, mais aussi dans la réalité.

### Installations photovoltaïques alpines

Le sujet principal des débats publics dans le contexte de la menace de pénurie d'électricité en hiver est actuellement sans conteste celui des installations photovoltaïques alpines. Certes, des modules PV sont testés depuis plus de 30 ans sur le Jungfrauoch, mais comme ils y sont installés sur une façade et donc protégés par le bâtiment, ils ne sont pas exposés aux mêmes forces de la nature que les installations alpines au sol. Afin de rassembler les expériences nécessaires pour l'exploitation d'installations au sol, les quatre hautes écoles spécialisées BFH, OST (Haute école spécialisée de la Suisse orientale), Supsi (Haute école spécialisée de la Suisse italienne) et ZHAW (Haute école des sciences appliquées de Zurich) se sont associées pour créer la plateforme «alpine-pv.ch». Cette plateforme met à la disposition de la société les expériences acquises en matière de recherche, de planification et d'exploitation de telles installations.



### Smart-Grid-Labor

Wie Solarstrom am nützlichsten ins Verteilnetz integriert werden kann, wird an der BFH erforscht.

### Laboratoire Smart Grid

À la BFH, des travaux de recherche sont réalisés afin de déterminer comment intégrer au mieux la production photovoltaïque dans le réseau de distribution.

Seit vielen Jahren leistet die ZHAW in diesem Bereich Vorbereitungsarbeiten auf den erwarteten Boom. Das PV-Labor der BFH hat gemeinsam mit der HAFL der BFH das Forum Agrisolar ([www.bfh.ch/agrisolar](http://www.bfh.ch/agrisolar)) gegründet, an dem u. a. Fragen zur Biodiversität, aber auch zum Gemüsebau und anderen Kulturen untersucht werden.

Da die Frage nach dem Potenzial der Agri-PV in der gesellschaftlichen Debatte im Schatten der Biodiversitätsfrage steht, ist es wichtig, zu klären, welche Aspekte der Biodiversität von PV-Modulen profitieren und welche eher leiden. Vermutungen gibt es viele, die ersten Pilotprojekte werden Klarheit schaffen.

### Blendung

Standard-PV-Module sind heute so preisgünstig, dass die Eindeckung der Dächer unabhängig von ihrer Ausrichtung oft profitabel ist. Und das ist gut so, denn noch ist jeder Quadratmeter Photovoltaik auf Dächern willkommen. Bis zu den gesetzlich vorgegebenen 45 TWh Erneuerbaren ist es noch ein weiter Weg. Dabei muss berücksichtigt werden, dass auf tiefgezogenen Ost- und Westdächern sowie besonders auf Norddächern Blendungen auftreten können. Oft sind sie nicht störender als Blendungen von Dachfenstern oder Fassaden. In wenigen Fällen können aber Blendungen über mehrere Stunden am Tag und mehrere Monate im Jahr auftreten. Dann hilft auch ein Blendgutachten nicht weiter: Es müssen Oberflächen eingesetzt werden, die nicht blenden. Nebst den bekannten satinierten oder Deflect-beschichteten Gläsern sind neu auch kunststoffbasierte Beschichtungen erhältlich und mit PV-Print und Phytonics auch Folien, die bei blendenden PV-Anlagen nachträglich angebracht werden können.

### Agrivoltaïque

Une intensification des activités est également observée dans le domaine des installations agrivoltaïques. Celles-ci nécessitent nettement moins de matériel et de capitaux que les installations PV alpines. De plus, elles peuvent être majoritairement mises en place par les agriculteurs eux-mêmes. Les futures possibilités en matière de RCP virtuel et de CEL offrent en outre de nouvelles opportunités de commercialisation. La nouvelle loi sur l'aménagement du territoire autorise de telles installations pour autant qu'elles présentent des avantages pour la production agricole. Il reste cependant à voir ce que cela signifie concrètement.

Depuis de nombreuses années, la ZHAW effectue des travaux préparatoires dans ce domaine en vue du boom attendu. Quant au laboratoire photovoltaïque de la BFH, il a fondé, en collaboration avec la Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires HAFL de la BFH, le Forum Agrisolar ([www.bfh.ch/agrisolar](http://www.bfh.ch/agrisolar)), où sont notamment étudiées des questions relatives à la biodiversité, mais aussi à la culture maraîchère et à d'autres cultures.

Comme, dans les débats publics, la question du potentiel de l'agrivoltaïque reste dans l'ombre de la question de la biodiversité, il est important de clarifier quels aspects de la biodiversité profitent des modules PV, et lesquels ont plutôt tendance à en souffrir. Les suppositions sont nombreuses; les premiers projets pilotes permettront d'y voir plus clair.

### Éblouissement

Les modules PV standard sont aujourd'hui si bon marché que la couverture des toits est souvent rentable, quelle



#### Messung der Spiegelung

Die Oberfläche bestimmt, wie stark störende Reflexionen sind.

#### Mesure de la réflexion

L'intensité des réflexions susceptibles de gêner le voisinage dépend de la surface des modules PV.

Kritisch ist dabei der Blickwinkel auf die PV-Module. Je flacher man nämlich auf die Module blickt, desto stärker blenden auch blendarme Produkte. Das muss aber nicht unbedingt problematisch sein, denn bei sehr flachen Winkeln blickt man ohnehin fast in die Sonne und hat deshalb eine deutlich höhere Toleranzschwelle. Dieser Umstand wird bei Winkeln ab  $80^\circ$  «Doppelblendung» genannt: Die Sonne blendet dann sowieso. Trotzdem sollte man vor dem Kauf einer Folie oder eines blendarmen PV-Moduls genau hinschauen, ob die Eigenschaften des Produkts bezüglich dem Einsatzgebiet ausreichend blendfrei sind. In mehreren Pilotprojekten werden derzeit diverse Produkte geprüft. Auf dem Dach des PV-Labors in Burgdorf sind Module mit blendarmen Folien, Beschichtungen und Gläsern im Langzeittest. Das Institut für Solartechnik SPF der OST in Rapperswil und die HSLU verfügen über Labormessgeräte, welche die Blendeigenschaften einer Oberfläche detailliert quantifizieren können. Das PV-Labor der BFH hat dazu ein Prüfverfahren entwickelt, bei dem mit einer «künstlichen Sonne» im Labor, aber auch an bereits im Feld installierten PV-Anlagen die Leuchtdichte und damit das Blendverhalten von PV-Modulen bestimmt werden kann.

#### Stecker

Die Stecker vom Typ MC4 der Firma Stäubli Electrical Connectors AG in Allschwil sind weltbekannt, denn sie sind bezüglich Sicherheit und Zuverlässigkeit vielen anderen Steckverbindern überlegen. Und dies ist auch dringend

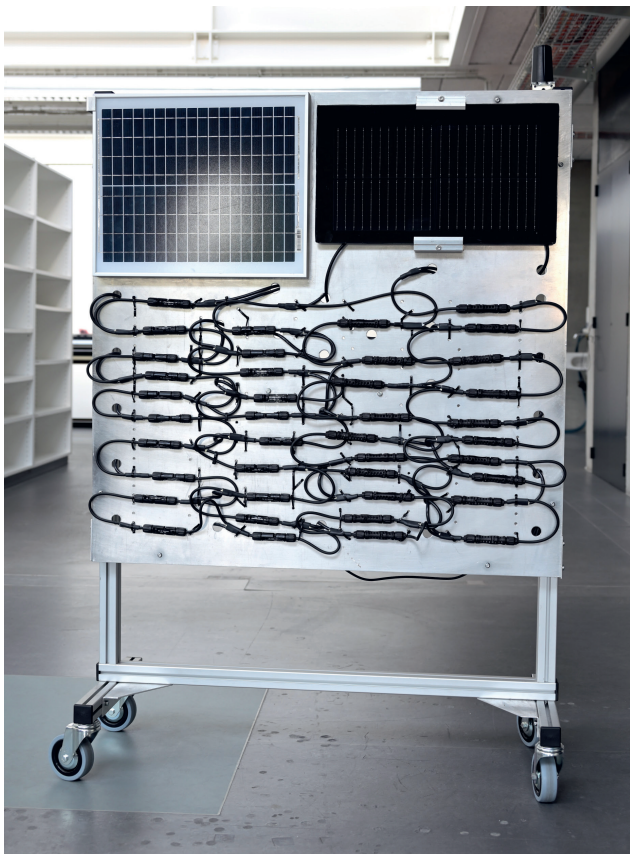
que soit leur orientation. Et c'est une bonne chose, car chaque mètre carré de photovoltaïque est actuellement le bienvenu sur les toits: le chemin est encore long pour atteindre les 45 TWh de production renouvelable fixés par la loi. Il faut toutefois tenir compte du fait que ces installations peuvent être à l'origine d'éblouissements lorsqu'elles sont montées sur des toits bas orientés vers l'est et l'ouest, et particulièrement quand ils sont orientés vers le nord. Souvent, ces éblouissements ne sont pas plus gênants que ceux dus aux lucarnes ou aux façades. Dans quelques cas, ils peuvent toutefois se produire pendant plusieurs heures par jour et plusieurs mois par an. Et là, même une expertise de l'éblouissement n'est d'aucune aide: il est indispensable d'utiliser des surfaces qui n'éblouissent pas. Outre les verres satinés ou avec un revêtement Deflect bien connus, il existe désormais aussi des revêtements à base de plastique et, avec PV-Print et Phytonics, également des films qui peuvent être appliqués ultérieurement sur les installations PV éblouissantes.

L'angle de vue sur les modules PV est ici critique. En effet, plus il est plat, plus l'éblouissement des produits même peu éblouissants est important. Mais cela n'est pas forcément problématique, car lorsque l'angle est très plat, le regard fait de toute façon presque face au soleil et le seuil de tolérance est donc nettement plus élevé. Cet état de fait est appelé «double éblouissement» pour les angles à partir de  $80^\circ$ : le soleil éblouit alors de toute façon. Néanmoins, avant d'acheter un film ou un module PV peu

nötig: DC-Stecker sind in PV-Anlagen über Jahre hohen Belastungen, grossen Temperaturschwankungen, Regen und Frost ausgesetzt. Würde nur einer von hundert Steckverbindern in 30 Jahren ausfallen, wäre dies ein potenzieller Brandherd in jeder PV-Anlage.

Da niemand garantieren kann, dass sie auch nach 20 Jahren noch sicher und zuverlässig funktionieren, dürfen Steckverbinder verschiedener Hersteller nicht gekreuzt werden. Um die Alterung von Steckverbindern besser zu verstehen, ist Stäubli eine Kooperation mit dem PV-Labor der BFH eingegangen: rückgebaute Stecker von PV-Anlagen, beispielsweise nach einem Hagelschaden, können für eine Zustandsuntersuchung an das PV-Labor geschickt werden. Das Team des PV-Labors nimmt nach vorheriger Kontaktaufnahme alte Stecker gerne entgegen.

Obwohl ein klarer Trend zu höheren Kontaktwiderständen bei Kreuzkopplungen festgestellt wurde, sind die Kontaktwiderstände insbesondere in einem bestimmten Fall alarmierend: Wenn die Stecker vor dem Zusammenstecken nass oder schmutzig geworden sind. Um dieses Phänomen



#### Test der DC-Steckverbinder

Um eine zuverlässige Funktion von Steckverbindern erzielen zu können, sind Langzeittests nötig. Dabei wird der Spannungsabfall bei jedem Stecker periodisch gemessen und protokolliert, um Verbesserungspotenziale zu identifizieren.

#### Test des connecteurs DC

Des tests de longue durée sont nécessaires pour parvenir à un fonctionnement fiable des connecteurs. La chute de tension de chaque connecteur est régulièrement mesurée et consignée afin d'identifier les potentiels d'amélioration.

éblouissant, il convient de bien vérifier si les caractéristiques du produit sont suffisamment anti-éblouissantes par rapport au domaine d'application. Divers produits sont actuellement testés dans le cadre de plusieurs projets pilotes. Sur le toit du laboratoire photovoltaïque de Burgdorf, des modules munis de films, de revêtements et de verres anti-éblouissants sont soumis à des tests de longue durée. L'Institut pour la technique solaire (Institut für Solartechnik, SPF) de l'OST, à Rapperswil, et la Haute école spécialisée de Lucerne HSLU disposent d'appareils de mesure en laboratoire permettant de quantifier en détail les propriétés d'éblouissement d'une surface. Le laboratoire photovoltaïque de la BFH a en outre développé une procédure de test permettant de déterminer la luminance, et donc le comportement en matière d'éblouissement, de modules PV avec un « soleil artificiel » en laboratoire, mais aussi sur des installations PV déjà réalisées sur le terrain.

#### Connecteurs

Les connecteurs de type MC4 de l'entreprise Stäubli Electrical Connectors AG, à Allschwil, sont connus dans le monde entier, car ils sont supérieurs à de nombreux autres connecteurs en termes de sécurité et de fiabilité. Et une telle qualité est aussi nécessaire de toute urgence : dans les installations photovoltaïques, les connecteurs DC sont exposés pendant des années à des charges élevées, à de grandes variations de température, à la pluie et au gel. Si en 30 ans, un seul connecteur sur cent ne devait soudain plus remplir son rôle, cela constituerait un foyer d'incendie potentiel dans chaque installation PV.

Comme personne ne peut garantir qu'après 20 ans ils fonctionneront encore de manière sûre et fiable, il n'est pas permis de combiner des connecteurs de différents fabricants. Pour mieux comprendre le vieillissement des connecteurs, Stäubli a entamé une coopération avec le laboratoire PV de la BFH : les connecteurs des installations PV démontées, par exemple après un dommage dû à la grêle, peuvent être envoyés au laboratoire PV pour un examen de leur état. Après une prise de contact préalable, l'équipe du laboratoire les prend volontiers.

Bien qu'une tendance claire à l'augmentation des résistances de contact ait été constatée pour les connexions croisées, les résistances de contact sont particulièrement alarmantes dans un cas particulier : lorsque les connecteurs ont été mouillés ou salis avant d'être connectés. Afin de pouvoir mieux étudier ce phénomène, le laboratoire photovoltaïque développe un banc d'essai de connecteurs en plein air qui mesure automatiquement les résistances de contact de 40 connecteurs et les enregistre dans une base de données.

Une première conséquence de ces études sera prochainement concrétisée sur le plan normatif. La norme sur les installations à basse tension NIBT 2025 exigera en effet que les connecteurs soient protégés de la poussière et de l'humidité pendant l'installation, si les conditions d'installation l'exigent.

besser untersuchen zu können, wird am PV-Labor ein Outdoor-Steckerprüfstand entwickelt, der die Kontaktwiderstände von 40 Steckern automatisiert misst und in eine Datenbank schreibt.

Eine erste Konsequenz aus diesen Untersuchungen wird in Kürze normativ umgesetzt. Die NIN 2025 wird verlangen, dass Stecker während der Installation vor Staub und Feuchtigkeit geschützt werden müssen, wenn die Installationsbedingungen dies erfordern.

### Hagel

PV-Anlagen sollen so gebaut werden, dass sie Hagelereignisse, die statistisch in 50 Jahren einmal vorkommen, unbeschadet überstehen. Bisher war dies die sogenannte Hagelwiderstandsklasse HW 3. In den letzten Jahren haben sich solche Hagelereignisse jedoch gehäuft, sodass derzeit für viele Standorte der Schweiz die Erhöhung der geforderten Hagelwiderstandsklassen diskutiert wird. Davon sind aber nicht nur PV-Module betroffen, sondern alles, was Wind und Wetter ausgesetzt ist.

Am Supsi in Mendrisio und am SPF der Ost in Rapperswil werden derzeit Hageltests mit neuen PV-Modulen durchgeführt. Viele Module erweisen sich dabei als widerstandsfähiger als erwartet. Rahmenlose Module mit dünnen Frontgläsern sind jedoch heikel: Wenn sie an der Kante von Hagelkörnern getroffen werden, können die Gläser brechen.

### Verschmutzung

Ob PV-Anlagen gereinigt werden müssen, wird in gewissen Kreisen intensiv diskutiert. Klar ist aber, dass die meisten PV-Anlagen in der Schweiz selten oder gar nie gereinigt werden – und trotzdem gute Energieerträge liefern. Untersuchungen zeigen auch, dass die Verschmutzung stark vom Ort und vom Neigungswinkel der PV-Module abhängt. Zudem verschmutzen rahmenlose Module weniger als gerahmte.

In Zusammenarbeit mit dem Hersteller von dachintegrierten Solaranlagen 3S hat das PV-Labor einen Verschmutzungsprüfstand entwickelt, in dem verschiedene Gläser bei vier Neigungswinkeln an drei Standorten mit unterschiedlichem Verschmutzungsdruck untersucht werden. Dabei geht es auch um die Frage, ob blendarme PV-Module, die von Natur aus keine glatte, sondern eine raue Oberfläche haben, stärker verschmutzen als andere Module. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass es einen Zusammenhang zwischen der Blendfreiheit und der Verschmutzung gibt. Interessanterweise konnte aber gerade bei den satinierten und damit blendärmsten Gläsern kaum eine zusätzliche Verschmutzung beobachtet werden. Ob sich dies auch längerfristig bestätigt, wird in den nächsten Jahren zu beobachten sein.

### Schnee auf PV-Modulen

Obwohl die Winter immer schneeärmer werden, nimmt die Bedeutung des Winterstroms zu. Insbesondere in den Bergen ist es wichtig, dass PV-Anlagen auch im Winter möglichst schneefrei sind. Dies kann beispielsweise durch eine temporäre Erwärmung der PV-Module erreicht werden, indem die Spannung an einem PV-Modul über dessen Leerlaufspannung erhöht wird. Dadurch fließt Strom rück-

### Grêle

Les installations PV doivent être construites de manière à pouvoir résister sans dommage à des chutes de grêle se produisant statistiquement une fois tous les 50 ans. Jusqu'à présent, il s'agissait là de la classe de résistance à la grêle RG 3. Ces dernières années, de telles chutes de grêle se sont toutefois multipliées, raison pour laquelle il est actuellement envisagé, pour de nombreux sites en Suisse, d'augmenter les classes de résistance à la grêle exigées. Les modules photovoltaïques ne sont toutefois pas les seuls à être concernés, c'est également le cas pour tout ce qui est exposé au vent et aux intempéries.

Des tests de grêle sont actuellement effectués sur de nouveaux modules PV au sein des hautes écoles Supsi, à Mendrisio, et OST (au SPF), à Rapperswil. De nombreux modules se révèlent plus résistants que prévu. Les modules sans cadre avec des verres frontaux minces sont toutefois plus délicats: si des grêlons les frappent sur les arêtes, les verres peuvent se briser.

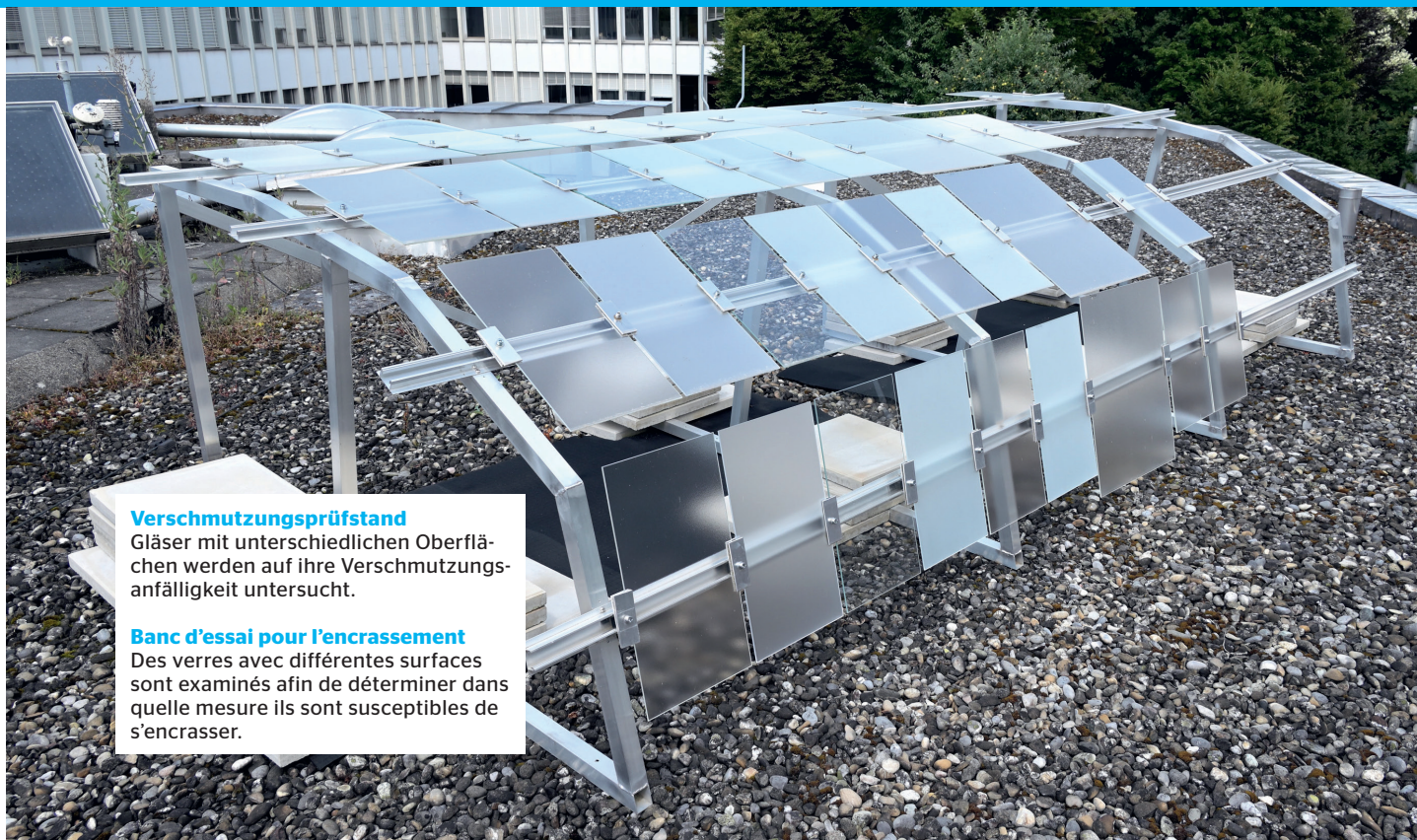
### Encrassement

La question de savoir si les installations PV doivent être nettoyées fait l'objet d'un débat intense dans certains milieux. Un point est toutefois clair: en Suisse, la plupart des installations PV ne sont que rarement, voire jamais, nettoyées, et elles fournissent malgré tout de bons rendements énergétiques. Des études montrent également que l'encrassement dépend fortement de l'emplacement et de l'angle d'inclinaison des modules PV. De plus, les modules sans cadre sont moins sujets aux salissures que les modules avec cadre.

En collaboration avec le fabricant d'installations solaires intégrées aux toits 3S, le laboratoire photovoltaïque de la BFH a mis au point un banc d'essai d'encrassement dans lequel différents verres sont étudiés, avec quatre angles d'inclinaison et à trois endroits soumis à des conditions d'encrassement différentes. Il s'agit également de savoir si les modules PV à faible éblouissement, qui par nature ont une surface rugueuse, se salissent davantage que les modules disposant d'une surface lisse. Les résultats obtenus jusqu'à présent montrent qu'il existe un lien entre l'absence d'éblouissement et l'encrassement. Mais il est intéressant de constater que c'est justement sur les verres satinés, et donc les moins éblouissants, que presque aucun encrassement supplémentaire n'a été observé. Il reste à voir dans les prochaines années si cela se confirmera à plus long terme.

### Neige sur les modules PV

Bien que les hivers soient de moins en moins enneigés, l'importance de l'électricité hivernale ne cesse de croître. En particulier dans les montagnes, il est important que les installations PV restent aussi peu enneigées que possible en hiver. Cela peut par exemple être obtenu en réchauffant temporairement les modules PV, c'est-à-dire en augmentant la tension d'un module PV au-delà de sa tension à vide. Le courant circule ainsi en sens inverse dans le module et celui-ci s'échauffe comme une plaque de cuis-



#### Verschmutzungsprüfstand

Gläser mit unterschiedlichen Oberflächen werden auf ihre Verschmutzungsanfälligkeit untersucht.

#### Banc d'essai pour l'encrassement

Des verres avec différentes surfaces sont examinés afin de déterminer dans quelle mesure ils sont susceptibles de s'encrasser.

wärts durch das Modul und dieses erwärmt sich wie eine Elektrokochplatte. Dazu wird jedoch ein Netzgerät benötigt, das eine um etwa 20% höhere Spannung als die der PV-Module bei Nennstrom aufbringen kann.

In einem Innocheck-Projekt hat das PV-Labor der BFH ein entsprechendes Produkt entworfen und getestet. Auch hier zeigt sich, dass sich nicht alle Anlagen gleich verhalten: Bei zu geringer Neigung rutscht der Schnee trotz beheizter Module nicht ab. Bei hohen Neigungen hingegen rutscht der Schnee auch ohne Beheizung ab. Der optimale Einsatzbereich eines solchen Netzgerätes dürfte bei rahmenlosen Modulen bei 20 bis 40° liegen.

### Fazit

Die Photovoltaik hat zweifellos bereits einen hohen Reifegrad erreicht. Obwohl in den letzten Jahren viele Erfahrungen gesammelt wurden, sind noch längst nicht alle Fragen abschliessend beantwortet. Bei vielen geht es um Details oder Optimierungen. Die wohl weitreichendste Frage betrifft die Integration der PV-Anlagen in unser Energiesystem: Wie müssen wir PV-Anlagen bauen, damit der Energiemarkt und die Übertragungs- und Verteilnetze den Solarstrom aufnehmen können?

#### Autor | Auteur

Prof. Dr. **Christof Bucher** ist Leiter des PV-Labors an der Berner Fachhochschule.  
Prof. D' **Christof Bucher** est directeur du laboratoire PV de la Haute école spécialisée bernoise BFH.

→ BFH, 3400 Burgdorf

→ christof.bucher@bfh.ch

son électrique. Pour cela, il faut toutefois une alimentation capable de fournir une tension supérieure d'environ 20% à la tension des modules PV à leur courant nominal.

Dans le cadre d'un projet Innocheck, le laboratoire photovoltaïque de la BFH a conçu et testé un produit correspondant. Là aussi, il s'avère que toutes les installations ne se comportent pas de la même manière: lorsque l'inclinaison est trop faible, la neige ne glisse pas, même en chauffant les modules. En revanche, lorsque l'inclinaison est élevée, la neige glisse même sans chauffage. La plage d'utilisation optimale d'une telle alimentation devrait se situer entre 20 et 40° pour les modules sans cadre.

### Conclusion

Il ne fait aucun doute que le photovoltaïque a déjà atteint un haut degré de maturité. Bien que de nombreuses expériences aient été acquises au cours des dernières années, nous sommes encore loin d'avoir trouvé une réponse définitive à toutes les questions. Pour beaucoup d'entre elles, il s'agit de détails ou d'optimisations. La question dont la portée aura sans doute le plus d'ampleur concerne l'intégration des installations photovoltaïques dans notre système énergétique: comment devons-nous construire les installations PV pour que le marché de l'énergie ainsi que les réseaux de transport et de distribution puissent absorber le courant solaire?