



*Die Planer des niederländischen Solarprojektierers Zonel haben das Dach einer Reithalle der Hollandsche Manege in Amsterdam mit semitransparenten Solarmodulen eingedeckt. Die Module der Sonnenstromfabrik aus Wismar sind nicht nur das Herz eines modernen Energiekonzepts des historischen Reitzentrums. Sie sorgen auch für eine einzigartige Lichtstimmung in der Halle.  
(© Sonnenstromfabrik.com)*

**1**

# **Einführung in die Solartechnik**



## 1.1 Was ist Sonnenstrom?

Unter Sonnenstrom versteht man elektrischen Strom, der aus dem Licht der Sonne gewonnen wird – mittels Solarzellen. Das Prinzip ist denkbar einfach: Die Sonne bescheint ein leitfähiges Material. Die energiereichen Photonen übertragen ihre Energie an die Elektronen in der Zelle, die nun ihre gewohnten Bahnen verlassen und frei beweglich werden.

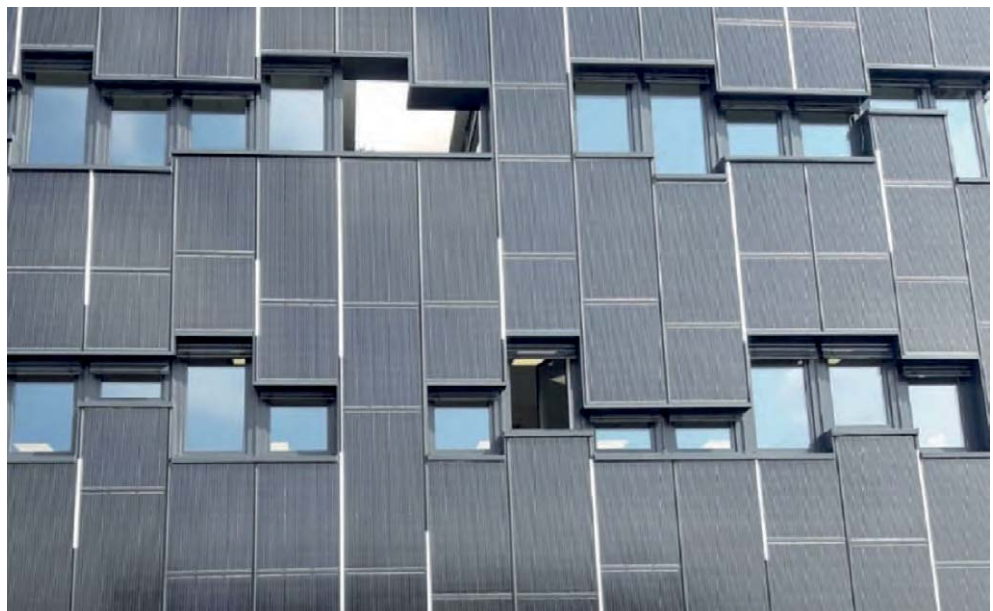
Weil bei Metallen (wo dieser Effekt einst erstmals entdeckt wurde) die freien Elektronen sofort wieder von Protonen im Atomgitter eingefangen werden, nutzt man Halbleiter als photoaktives Material. Bei ihnen lassen sich die beweglichen Elektronen als negative Ladungsträger und die sogenannten Störstellen als positive Ladungen leichter trennen. So entsteht ein elektrisches Potenzial zwischen dem Minuspol und dem Pluspol der Solarzelle.



*Installation einer solaren Überkopfverglasung.  
(© Schindler clean energy systems)*



*Eindeckung eines Schrägdachs mit solaren Ziegelementen – hier dem G10 PV.  
(© Dachziegelwerke Nelskamp GmbH)*



*Solare Fassade an einem sanierten Bürogebäude.  
(© Galaxy Energy GmbH)*

Entwurf von solaren Mehrfamilien-  
wohnhäusern in Lübben.  
(© Timo Leukefeld GmbH)



Nach Süden ausgerichtete Solar-  
fassade im Westen von Stuttgart.  
(© Stadtwerke Stuttgart/  
Leif Piechowski)



**TIPP** Weil die Energie der Lichtteilchen (Photonen) in elektrische Spannung (Volt) umgesetzt wird, spricht man von Photovoltaik. Im Unterschied zur Solarthermie (Wärme aus Sonnenlicht) braucht sie kein Trägermedium, keine Pumpen, keine Dichtungen und keine bewegten Teile.



**TIPP** Eine Solarzelle, ein Solarmodul oder ein Solargenerator geben stets eine Gleichspannung ab. Auch chemische Speicherbatterien und E-Autos nutzen in der Regel Gleichspannung.

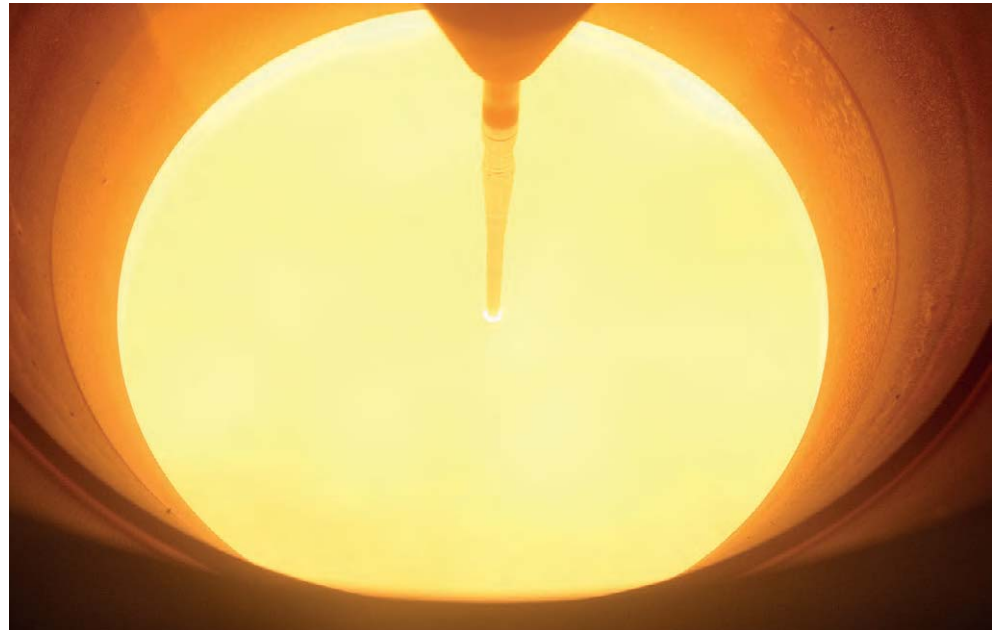


## 1.2 Von der Solarzelle zum Solarmodul

Als ein besonders geeignetes photoaktives Material hat sich Silizium herausgestellt, weil es bestimmte Spektralanteile des Sonnenlichts sehr gut absorbiert und in elektrischen Strom umsetzt. Zudem ist die chemische Aufbereitung von Silizium durch die Chip-Industrie bereits gut beherrscht.

Eine Siliziumzelle allein in den üblichen Abmaßen mit sechs Zoll Kantenlänge gibt nur eine geringe elektrische Leistung ab. Zudem sind die Siliziumzellen sehr fragil, sie brechen leicht. Deshalb packt man eine bestimmte Anzahl dieser Solarzellen in einen Verbund und laminiert ihn witterungsfest in beständige Folien ein. Um ein langlebiges Bauteil zu erhalten, werden die Vorderseite und manchmal auch die Rückseite mit Glas versehen,

*Blick in den Schmelztiegel für monokristallines Silizium.  
(© Heiko Schwarzburger)*



*Diese Siliziumkristalle wurden aus der Schmelze gezogen. Daraus entstehen die Wafer für die Solarzellen.  
(© Heiko Schwarzburger)*



zudem wird das Laminat von einem steifen Metallrahmen gehalten. Er ermöglicht die feste und sichere Installation der Solarmodule am Dach oder an der Fassade. Es ist jedoch auch möglich, ungerahmte Lamine zu installieren oder Leichtbaumodule ohne Glasabdeckung.

Je nach Format und Zahl der Solarzellen im Modul ergeben sich die elektrische Spannung des Moduls und seine Leistung. Für unsere Zwecke genügt es zu wissen, dass die Nennleistung eines Solarmoduls seine Spitzenleistung ist. Die auch als Peakleistung bezeichnete elektrische Leistung entspricht der Leistung bei voller Sonneneinstrahlung.

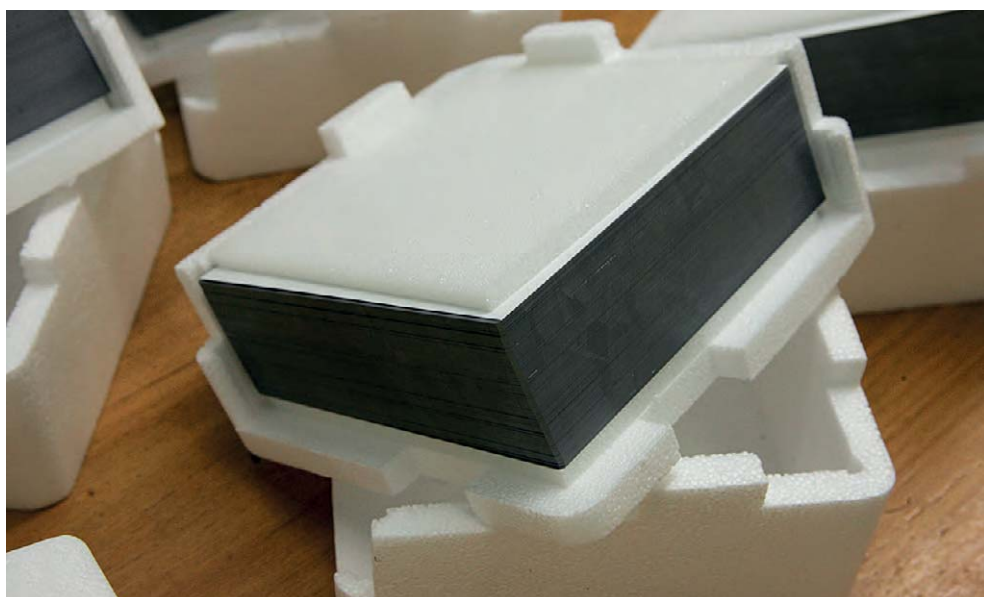


**TIPP** Die Nennleistung ist die Spitzenleistung eines Solarmoduls [Watt] bei vollem Sonnenschein. Die Nennleistung des Solargenerators ergibt sich, indem man die Leistung aller Module addiert [kW oder MW].



*Wafer für Solarzellen vor dem Prozessing.*

*(© Heiko Schwarzburger)*



*Siliziumwafer in der Transportverpackung.*

*(© Heiko Schwarzburger)*



*Das neue Gebäude der Copenhagen International School – entworfen von Julian Weyer, Partner beim Kopenhagener Architekturbüro C.F. Møller Architects – steht im einstigen Containerhafen der dänischen Hauptstadt. Nicht nur der Baukörper besticht durch seine Einzigartigkeit. Auch die Fassade ist mit einem ganz besonderen Effekt versehen. Die dort angebrachten Solarmodule erscheinen in unterschiedlichen Farbabstufungen – je nach Betrachtungswinkel.  
(© 2017 EPFL/Philippe Vollichard)*



# 3

## Freiheit in der Gestaltung



Die Gebäudehülle erfüllt viele Funktionen: Schutz vor Witterung, Wärmeschutz, Sonnenschutz, Belichtung, Schallschutz und Brandschutz. Sie unterstützt die Lüftung, sichert das Gebäude gegen Unbefugte und dient zudem repräsentativen Zwecken. Sie ist die Gestaltungsfläche der Architekten und das Gesicht des Eigentümers oder der Bauherrenschaft nach außen.

Nun tritt die Erzeugung von sauberem und preiswertem Sonnenstrom als weitere Funktion hinzu. Sie schränkt die gestalterischen Möglichkeiten der Architekten nicht ein, sondern erweitert sie um sehr interessante Facetten. Denn die Technik der Solarmodule hat die gängigen blauschimmernden Paneele mit polykristallinen Solarzellen längst hinter sich gelassen.

Der Markt bietet solaraktive Bauprodukte und optisch ansprechende Solarelemente in wachsender Vielfalt an, ihre Preise können mit herkömmlichen Produkten durchaus konkurrieren. In den kommenden Jahren werden Solarprodukte mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ) zur Verfügung stehen, der Anfang ist bereits gemacht. So werden Solarelemente ein selbstverständlicher Bestandteil des Baugeschehens und des Sanierungsgeschäfts.

## 3.1 Solarfassaden

### 3.1.1 Kaltfassaden und Warmfassaden

Die Gestaltungsfreiheit der Fassade wird durch solare Elemente nicht eingeschränkt. Im Gegenteil: Mit der Photovoltaik gewinnt der Architekt völlig neue Gestaltungsmöglichkeiten, ohne konventionelle Elemente zu verlieren. Auch sichtbare Solarelemente können die Fassade ansprechend prägen. Planer und Architekt müssen längst nicht mehr zwingend auf Standardmodule der Solarindustrie zurückgreifen. Selbst kristalline Solarmodule bieten heutzutage optische Spielräume. So lässt sich bspw. die Anordnung der Zellen innerhalb der Module variieren, um eine ganz eigene Fassadenoptik zu schaffen. Die Solartechnik kann jedoch auch aus der Wahrnehmung des Betrachters verschwinden. Mittlerweile bietet der Markt zahlreiche Produkte in Standard- und Sonderformaten an, um Fassaden solar zu aktivieren. Dabei werden die Solarmodule gestalterisch und planerisch wie Verbundsicherheitsglas (VSG) behandelt.

Die Solarmodule sind elektrische Generatoren, die bei der Stromerzeugung eine gewisse Abwärme verursachen. Deshalb sollten sie gut hinterlüftet sein. Die vorgehängte Solarfassade bietet diesen Spalt an, für die Verkabelung und die elektrischen Anschlüsse.



**TIPP** Die einfachste Form ist die vorgehängte Kaltfassade – im Neubau und in der Sanierung.

Für die Montage der Solarmodule werden in der Regel ähnliche oder sogar die gleichen Unterkonstruktionen aus Stahl oder Aluminium genutzt wie für vorgehängte Glasfassaden. Sie werden mit Ankern direkt am Baukörper befestigt.

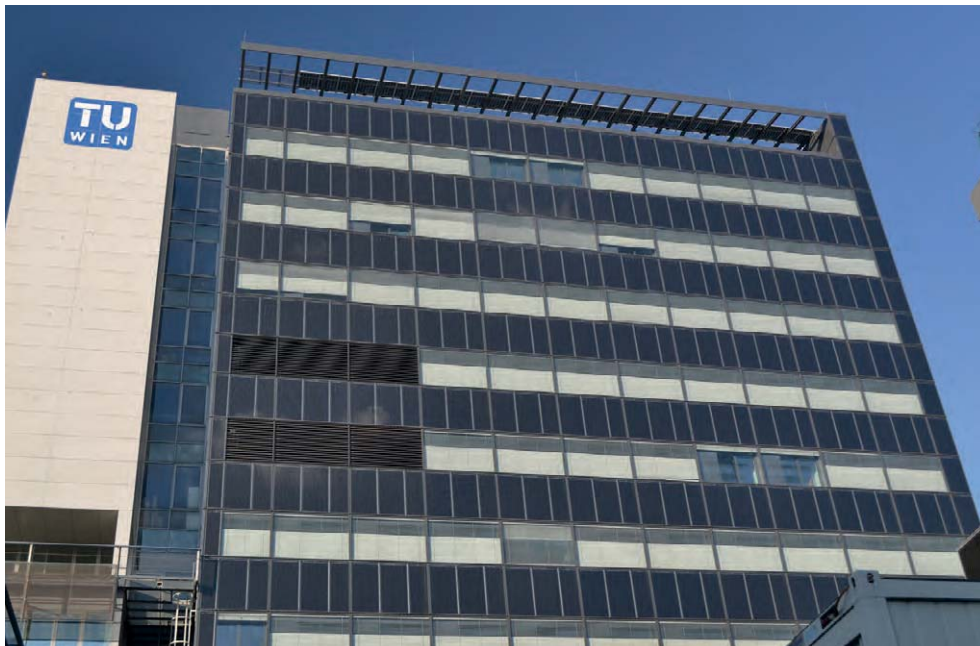
Solare Kaltfassaden lassen sich bei Neubauten und in der Sanierung realisieren. Es ist aber wichtig zu wissen, dass die Montagegestelle den Wärmeschutz der thermischen Hülle durchstoßen. Deshalb ist entsprechende Sorgfalt walten zu lassen, um Wärmebrücken zu verhindern.



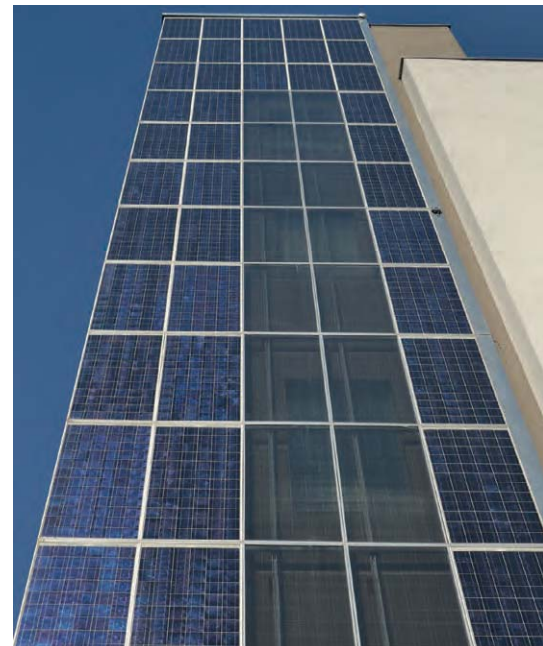
*Auch große hinterlüftete Fassaden lassen sich mit Solarmodulen bauen, wie das Projekt am Forschungsgebäude des Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique (CSEM) in Neuchâtel zeigt. Durch die semitransparenten Module wirkt die Fassade trotz ihrer riesigen Ausmaße dennoch leicht.  
(© CSEM SA/David Marchon)*



*Eine filigrane Pfosten-Riegel-Konstruktion im Detail: Das neue Verwaltungs- und Bürogebäude von Swiss Krono in Menznau.  
(© Meyer Burger)*



*Die Fassade des Chemiehochhauses der TU Wien wurde schon ursprünglich in einer Pfosten-Riegel-Bauweise errichtet. Hier wurden bei der Sanierung die inaktiven Elemente durch Solarmodule ersetzt.  
(© Velka Botička)*



*Strenge Gliederung und technische Optik: Das Gebäude der Ämter für Raumordnung, Natur und Umwelt im italienischen Bolzano ist teilweise mit einer vorgehängten Solarfassade ausgestattet.  
(© Velka Botička)*





*Am Rande des kleinen Örtchens Affoltern im schweizerischen Kanton Bern wurde ein altes und unter Denkmalschutz stehendes Gebäude komplett saniert. Dabei wurden die originalen Baumaterialien weitgehend erhalten. Allerdings wurde das gesamte Gebäude mit modernsten Mitteln gedämmt und auf Niedrigstenergiestandard gebracht. Die Energieversorgung übernimmt jetzt eine große Indach-photovoltaikanlage, die gleichzeitig die Dacheindeckung ist.  
(Planung, Bau und Bild by [www.clevergie.ch](http://www.clevergie.ch))*



# 4

## Technik der Montage

In diesem Kapitel geht es nicht um die Technik der Photovoltaik, sie wurde am Anfang dieses Buches erläutert. Hier geht es um die Montagetechnik, um die Solarelemente auf oder im Dach sowie an der Fassade dauerhaft und zuverlässig zu installieren. Generell gelten alle Vorschriften des Dachdeckerhandwerkes und des Handwerks der Fassadenbauer – ohne Einschränkung. Die Solarelemente als neue Produktgruppe ordnen sich diesem Regelwerk unter.

## 4.1 Dachmontage

Prinzipiell sind alle Dächer für solare Systeme geeignet, sofern sie nicht dauerhaft durch benachbarte Bauten oder Bäume verschattet sind. Fast alle Ausrichtungen sind möglich: gen Süden, Osten und Westen. Nach Osten und Westen ausgerichtete Photovoltaikdächer haben zwar einen etwas geringeren Stromertrag als Südgeneratoren. Aber im Tagesverlauf erzeugen sie zwei Ertragsspitzen: am Vormittag und am späten Nachmittag. Das passt unter Umständen besser zum Stromverbrauch des Gebäudes und seiner Nutzer als eine steile Erzeugungsspitze über die Mittagszeit (Süddach).

Normalerweise werden die Solarmodule auf die Dacheindeckung montiert. Dann spricht man von Aufdachanlagen. Die statischen Kräfte (Eigengewicht der Solartechnik und Schneelasten) und die dynamischen Kräfte (Windlasten, thermische Spannungen) müssen vom Dach zusätzlich zur eigentlichen Dachkonstruktion und ihrer Eindeckung aufgenommen werden.

Bei Indachsystemen und solaren Dachziegeln werden die Solarelemente als Bauteile anstelle der klassischen Eindeckung genutzt. Auch müssen sie alle Anforderungen an harte Bedachung erfüllen.

Jeder Dachtyp hat seine Eigenheiten, deshalb ist die Montage kundigen Experten vorbehalten, im besten Falle einem Fachbetrieb des Dachdeckerhandwerks. Solarteure und Elektrohandwerker haben meist einen Dachdeckermeister im Unternehmen, oder sie kooperieren mit Fachbetrieben.



**TIPP** Entscheidend ist, dass die Unterkonstruktion des Daches ausreichend tragfähig ist.

Sie muss nicht nur das Eigengewicht der Solarmodule aufnehmen, die zwischen 16 kg und 24 kg wiegen. Ihr Flächengewicht beträgt 10 bis 12 kg/m<sup>2</sup>. Hinzu kommen zusätzliche Lasten aus Wind, Schnee und thermische Spannungen. Sie sind nicht zu unterschätzen, weshalb ein Statiker die Aufdachinstallation durchrechnen und freigeben muss.



**TIPP** Bevor eine Photovoltaikanlage vom Planer oder Installateur berechnet werden kann, muss er sich das Dach fachmännisch anschauen. Das schützt vor unliebsamen Überraschungen.

Bei der Begehung vor Ort lässt sich leicht feststellen, ob das Dach verschattet ist. Teilverschattung ist kein Problem, die vollständige Verschattung der Solarmodule hingegen durchaus. Flachdächer und Schrägdächer gibt es in den verschiedensten Bauformen, mit regionaler Ausprägung und historisch favorisierten Baustoffen. Kritische Punkte sind die Züge von Schornsteinen und Kaminen sowie Dachöffnungen wie bspw. Lüftungskanäle.



Mit der solaren Indachanlage kommt ein weiteres Gewerk auf die Baustelle. Deshalb sollte vorher geklärt werden, wo der Elektrohandwerker vom Dachdecker übernimmt.  
(© SOLARWATT GmbH)



Indachanlagen können in luftigen Höhen ihre Vorteile ausspielen. Denn da sie in die Dachhaut integriert und linear gelagert sind, vertragen sie höhere Wind- und Schneelasten.  
(© Aleo Solar)



Bei der Begehung vor dem Baubeginn lässt sich feststellen, ob die Module verschattet sind. Hier wirft die alte Linde in den frühen Morgenstunden einen Schatten auf das Dach. Der verschwindet aber, wenn die Sonne in den nächsten Stunden weiterwandert.  
(© SOLARWATT GmbH)

Durch Photovoltaikanlagen wird das Dach zum Solargenerator. Dachfläche bedeutet nicht mehr nur, dass man so und so viele Quadratmeter Ziegel oder Trapezblech auflegen muss. Die Dachfläche lässt sich in Kilowatt oder Megawatt ausdrücken, ihr Solarertrag in Kilowattstunden, Megawattstunden oder Gigawattstunden.



In alpinen Lagen gelten besondere Anforderungen an die Schneelasten im Winter. Auch sind die Solarmodule gegen Hagelschlag zu prüfen. Das übernehmen in der Regel die Hersteller. Der Planer muss vor allem auf ausreichende Zertifizierung achten. In den Regionen des Alpenvorlandes und in den Bergen sollte die geprüfte Widerstandsklasse mindestens HW 4 (Hagelkörner mit 40 mm Durchmesser) erreichen.

Ein Sonderfall sind Dächer, die mit Asbest belastet sind. Das trifft auf Bauten der jüngeren Zeitgeschichte zu, die nach dem „Wirtschaftswunder“ entstanden sind. Um Asbestdächer zu sanieren, muss man zugelassene Spezialbetriebe konsultieren. Sie sind nach den Technischen Richtlinien zur Gebäudesanierung (TRGS) 519 für diese Aufgabe qualifiziert. Statt des alten Daches kann man beispielsweise Trapezblech auflegen. Mithilfe des selbst erzeugten Stroms aus der Solaranlage lassen sich die Mehrkosten gut darstellen.



**TIPP** Solaranlagen sind oft hilfreich, um die Kosten einer Asbestsanierung des Daches zu decken.

## 4.1.1 Aufdachsysteme

Bei Aufdachsystemen wird das Gebäude durch die klassische Eindeckung vor Regen, Wind und Schnee geschützt. Die Solarsysteme werden hinzugefügt, oft nachträglich. Wird die Solaranlage aufs Dach gesetzt, braucht man den Brandschutz nicht neu nachzuweisen. Einen Aufdachgenerator zu planen und zu installieren, gehört eigentlich nicht zu den Aufgaben von Architekten, eher in die Expertise von Gebäudeplanern und Solarplanern. Die Lastreserven und ihre Ausnutzung werden von einem Statiker nachgewiesen.



**TIPP** Aufdachanlagen sind in der Regel sehr einfach zu installieren – auch nachträglich. Deshalb sollte man diese Möglichkeit zunächst prüfen, bevor Indachsysteme in die engere Wahl kommen.

Interessant für Architekten sind die Implikationen, die mit der solaren Nutzung von Dächern einhergehen: So kann der Sonnenstrom genutzt werden, um Ladesäulen für E-Autos zu versorgen. Parkplätze für E-Autos mit der entsprechenden Ausstattung gehören zum Tagesgeschäft der Architekten, denn Parkflächen sind vor allem im innerstädtischen Ensemble oft erheblichen Auflagen zur Genehmigung unterworfen.

### 4.1.1.1 Flachdächer

Flachdächer stellen mitunter enorme Flächen zur Verfügung, die sich für Solargeneratoren eignen. Allerdings haben sie oft nur geringe Tragreserven, denn solche flachen Dächer sind als Folien-, Bitumen- oder Trapezblechdächer ausgeführt.

Am einfachsten ist es, die Solarmodule dachparallel aufzulegen und zu befestigen. Das ist für den solaren Ertrag ungünstig, weil die Solarmodule optimal zwischen 10° und 35° aufgestellt zur Sonne stehen sollten, nach Süden, Osten und Westen, je nach Ausrichtung des Daches. Deshalb werden Solarmodule auf Flachdächern in der Regel aufgeständert.



**TIPP** Aufgeständerte Solarmodule auf dem Flachdach erhöhen die angreifenden Kräfte durch Wind und Schnee mitunter erheblich. Daraufhin ist die Dachstatik unbedingt zu prüfen.



Die einfachste Variante der Installation einer Flachdachanlage ist, die Module einfach dachparallel zu verlegen. Dadurch passt viel Leistung auf das Dach, aber die Ausrichtung zur Sonne ist nicht perfekt. Hier eine PV-Anlage auf dem Dach des CoopMegastores in Dietikon.

(© EKZ Elektrizitätswerke des Kantons Zürich)



Die Ballastierung der Anlagen auf dem Flachdach mit Betonsteinen ist wichtig für die Standsicherheit. Sie muss gut abgestimmt sein auf die Wind- und Schneelasten vor Ort und die Resttragfähigkeit des Daches. Reicht diese nicht aus, gibt es die Möglichkeit, die Anlage mit einer Dachdurchdringung zu fixieren.

(© Velka Botička)

Das hat zur Folge, dass der Wind eine größere Angriffsfläche findet als beim unbebauten Flachdach. Diese zusätzlichen Windlasten sind über die Dachkonstruktion abzuleiten. Bei Foliendächern können ballastierte Montagesysteme dazu führen, dass die Kräfte über die Dachhaut abgestützt werden, die dafür nicht ausgelegt ist. Die Folgen sind Verformungen, Verwerfungen und Risse, mit eindringender Feuchtigkeit.



Die Montagesysteme sind in der Regel mit Bautenschutzmatte ausgestattet, damit die Dachhaut nicht beschädigt wird.

(© Velka Botička)