

# Solarzellen - Strom aus der Sonne Teil 2

***Der zweite Teil unserer Artikelreihe zur Solartechnik befaßt sich mit den verschiedenen Herstellungstechnologien von Solarzellen, ihrer Anwendung in der Praxis sowie dem elektrischen Aufbau und ersten praktischen Nutzungshinweisen.***

## **Materialfrage**

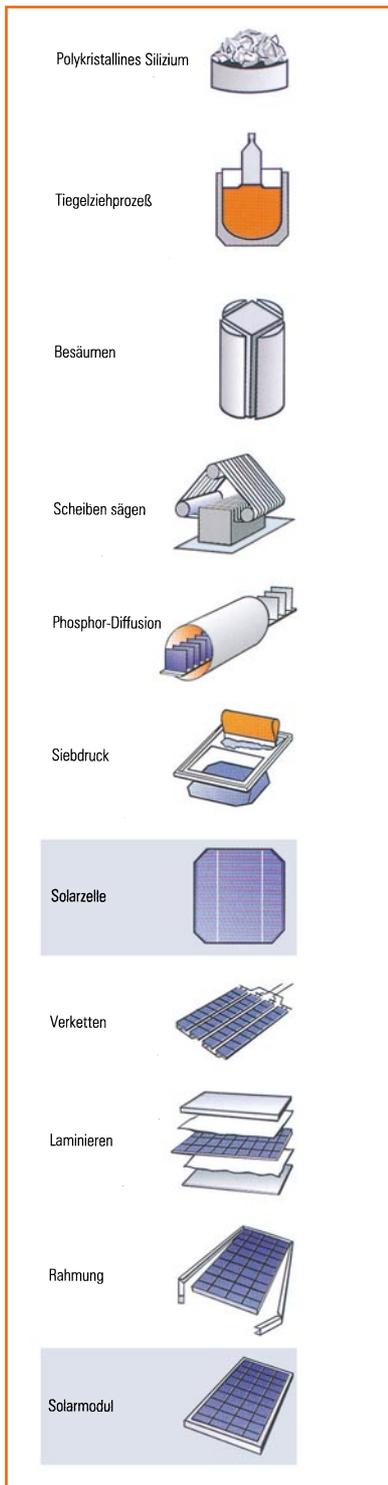
Wie wir bereits wissen, bildet Silizium die Grundlage einer Solarzelle. So einfach dieses Material prinzipiell in der Natur verfügbar ist, bis zur fertigen Solarzelle ist es ein weiter und teurer Weg. Die Halbleiter-Zellenschicht wird genauso aufwendig hergestellt wie ein Halbleiterwafer für Mikroprozessoren oder Transistoren. Vor allem aus Kostengründen setzt man für die Herstellung herkömmlicher, kristalliner Solarzellen Abfallmaterial aus der Halbleiterindustrie ein, das dort je nach Marktlage in mehr oder weniger großen Mengen anfällt. Ein Problem ist dabei die tatsächliche Verfügbarkeit, denn bei hohem Halbleiterbedarf, der periodisch z. B. durch forcierte Speicherchipherstellung auftritt, fällt weniger Material für die Solarzellen-

fertigung ab - die Herstellung der Solarzelle verteuert sich. Dazu benötigt man für die Herstellung kristalliner Silizium-Solarzellen relativ viel Material (dickere Schichten), um eine möglichst hohe Sonnenlichtausnutzung zu erreichen.

Natürgemäß kann diese Art der Grundmaterialbeschaffung, abhängig von zu vielen Unwägbarkeiten, keine bedarfsgerechte Steigerung erfahren, so daß die Massenfertigung auch heute noch, mehr als 35 Jahre nach der ersten industriellen Fertigung von Solarzellen, teuer ist. Leider scheut die Solarindustrie in den meisten Fällen offensichtlich den Aufwand der eigenen großtechnischen Erzeugung des Ausgangsmaterials aufgrund der enormen Kosten für diese Anlagen, der noch relativ geringen Verbreitung der Technologie und anderer unternehmerischer Risiken.

Wie entsteht solch eine kristalline Solar-

zelle? Abbildung 4 zeigt den langen Weg vom polykristallinen Silizium als Ausgangsmaterial bis hin zum fertigen Solarmodul, wie er bei Siemens für die Herstellung monokristalliner Solarzellen praktiziert wird. Das hochreine und geschmolzene polykristalline Silizium wird im Tiegelziehverfahren zu runden, monokristallinen Siliziumblöcken gezogen. Diese besäumt man je nach Erfordernis zu quadratischen Blöcken oder beläßt sie im Grundzustand, um sie anschließend in feine Scheiben, die Wafer, zu zersägen. Obwohl man hier ausgefeilte und verlustarme Sägetechniken einsetzt, entstehen hier Verluste bis zu 50%. Zur besseren Lichtaufnahme (Erhöhung der Aufnahmeffläche aus unterschiedlichen Winkeln) wird in die Wafer anschließend eine pyramidenähnliche Struktur geätzt (Abbildung 5). Nun erfolgen die bereits beschriebene Dotierung, das Aufbringen



**Bild 4: Der komplizierte Herstellungsprozess von kristallinen Solarmodulen (Bild: SIEMENS)**

der Kontakte per Siebdruckverfahren, das Verketten mehrerer Solarzellen (darauf kommen wir noch), das ebenfalls im ersten Teil beschriebene Kombinieren mit Abdeck- und Isoliermaterialien (Laminieren) und die Montage des Rahmens.

Auf dieser Technologie beruhen die meisten der derzeit hergestellten Solarmodule. Unterschiede gibt es im wesentlichen lediglich in der Kristallstruktur des Ausgangsmaterials.

## Mono- oder Polykristallin?

Hier unterscheidet man zwischen monokristallinen und polykristallinen Zellen.

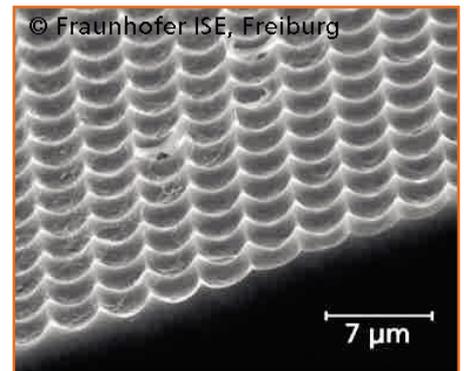
Bei monokristallinen Zellen haben wir es aufgrund des aufwendigen und exakten Herstellungsverfahrens mit einer sehr geordneten Kristallstruktur der einzelnen Kristallatome zu tun. Entsprechend hoch ist der Wirkungsgrad dieser Solarzellen, der bei ca. 15% liegt. Im Laborbereich, z. B. des Fraunhofer-Instituts, wurden aber bereits Wirkungsgrade bis 23,3% erzielt, was unter heutigen Maßstäben eine sehr hohe Effizienz darstellt.

Auch Siemens als großer deutscher Hersteller von Solarzellen setzt bei seinen Solarmodulen in herkömmlicher Technik auf diese monokristallinen Zellen, vor allem aufgrund des hohen Wirkungsgrades.

Die polykristallinen Zellen hingegen entstehen aus einer zufälligen Anordnung der einzelnen Kristallstrukturen in der Zelle, bei manchen Typen kann man diese Anordnung mit bloßem Auge erkennen. Aufgrund der einfacheren, nicht so hochpräzisen Fertigung sind diese Zellen etwas preiswerter, wir finden sie oft in Konsumgüteranwendungen oder für den Selbstbau. Allerdings liegt ihr Wirkungsgrad deutlich unter dem der hochreinen monokristallinen Zellen, weshalb sie für die großflächige Energieerzeugung heute schon vielfach verworfen werden.

## Dünnschicht für die Zukunft

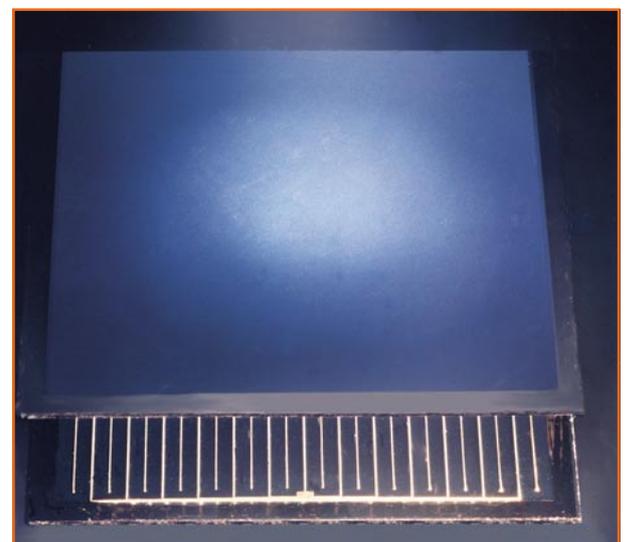
Der enorme Material- und Energieverbrauch bei der Herstellung kristalliner Solarzellen ließ die Techniker rechtzeitig nach Alternativen für die Herstellung suchen. Herausgekommen ist dabei die sogenannte Dünnschicht-Technologie, die prinzipiell auf dem Aufdampfen der verschiedenen Schichten auf ein Trägermaterial (Glas oder (sogar biegebarer) Kunststoff) basiert. Da-



**Bild 5: Man erkennt deutlich die texturierte Oberflächenstruktur der Solarzelle zur Erhöhung der Ausbeute (Bild: Fraunhofer ISE)**

bei entstehen extrem dünne Module, die nur wenig teures Grundmaterial verbrauchen.

Für diese Dünnschicht-Module existieren heute mehrere Herstellungstechnologien, von denen die amorphe Silizium-Solarzelle die bisher verbreitetste ist. Dabei wird ein siliziumhaltiges Gas, versetzt (dotiert) mit Wasserstoff-Atomen, auf einer Glasplatte abgeschieden, aus dieser Zusammensetzung leitet sich das Kürzel „a-Si:H-Zelle“ für diesen Solarzellentyp ab. Dabei entsteht keine geordnete Gitterstruktur der Atome wie beim kristallinen Aufbau, sondern eine amorphe (regellose) Schicht von Siliziumatomen. Es entsteht auch hier eine Halbleiterwirkung wie im ersten Teil beschrieben. Allerdings reichen schon Schichtdicken von wenigen µm, um das Licht zu absorbieren. Zwischen n- und p-Schicht befindet sich noch eine sogenannte i-Schicht (nicht dotierte Siliziumschicht; i=intrinsisch), ohne die dieser Solarzellentyp nicht funktionieren würde, weshalb man hier von einer p-i-n-Struktur spricht. In der i-Schicht wird das meiste Licht absorbiert, und es entsteht ein inneres Feld zwischen p- und n-Schicht, das die Diffusion der Elektronen zwischen beiden Halbleiterschichten unterstützt.



**Bild 6: Dünnschicht-Solarzelle mit transparenter Elektrode auf der Vorderseite, die rückwärtigen Elektroden sind durch einen untergelegten Spiegel sichtbar gemacht. (Bild: Fraunhofer ISE)**



**Bild 7: Großserien-Dünnschicht-Solarmodule nach CIS-Technologie. Bild: SIEMENS**

Die Stromabnahme auf der Oberseite erfolgt durch eine auf das Glas aufgedampfte, transparente Metallschicht, auf der Unterseite findet man die bereits bekannten Metallkontakte (Abbildung 6 zeigt ein fertiges Dünnschichtmodul). Leider hat der Aufbau einen physikalischen Nachteil, der der Dünnschicht-Technologie einen recht späten großtechnischen Start beschert hat: Unter Sonnenbestrahlung verliert dieser Zellentyp in der ersten Betriebszeit stark an Wirkung (er stabilisiert sich nach einiger Zeit auf einem geringerem als dem Ausgangswert, der gesamte Prozeß wird Degradation genannt). Deshalb kam er bisher vor allem in nicht so stromintensiven Anwendungen wie Armbanduhren oder Taschenrechnern zur Anwendung, wo er aufgrund des recht guten Gesamtwirkungsgrades und des geringen Gewichts seine Trümpfe ausspielen kann.

Durch Aufbringen von bis zu drei dieser Schichtenstrukturen (p-i-n) versucht man, das Problem durch Erzeugung eines möglichst starken inneren Feldes zu kompensieren, weshalb man heute auch bei diesen amorphen Zellen schon Wirkungsgrade zwischen 8 und 13% erreichen kann. Der Vorteil dieses Zellentyps liegt aber auf der Hand: er ist relativ leicht und dünn, paßt



**Bild 8: Solche kleine Solarmodule versorgen unterwegs das Radio oder andere kleine Elektrogeräte.**

sich unter Umständen sogar an gewölbte Flächen an. Aufgrund der erreichten technologischen Vorteile geht man heute dazu über, auch große amorphe Solarmodule großtechnisch herzustellen. Bei genügend zur Verfügung stehender Fläche ist die Leistungseinbuße gegenüber der kristallinen Zelle leicht zu kompensieren, die Vorteile überwiegen dann letztendlich.

Neben den amorphen Silizium-Zellen haben sich heute mehrere weitere Technologien etabliert, so die CTS- und CIS-Zellen und seit neuestem auch Zellen auf kristalliner Siliziumbasis oder auf GaAs-Basis. Gerade letztere erreichen im Laborstadium bereits Wirkungsgrade bis über 30%, stehen aber aufgrund des hohen Preises wohl vorerst nur herausgehobenen Anwendern wie der Weltraumfahrt zur Verfügung.

Die CTS-Zelle basiert ganz ähnlich wie die amorphe Siliziumzelle auf dem Aufdampfen (auch Siebdrucken, Sublimieren oder elektrolytische Abscheidung werden angewandt) mehrerer Schichten auf Glas, die hier aber auf Cadmiumtellurid (CdTe) basieren, das die p-Schicht darstellt. Die Schichten sind hier wieder kristallin, für die Herstellung des p-n-Übergangs wird eine leitende Cadmiumsulfid (CdS)-Schicht aufgebracht. Wie man leicht ersehen kann, gelangen hier umweltproblematische Stoffe wie Cadmium ins Spiel, weshalb man bei Herstellung, Umgang und späterer Entsorgung entsprechend vorsichtig zu handeln hat. Für diese Zelle spricht der hohe Wirkungsgrad von bis zu 16%.

Großtechnisch verfügbar (Abbildung 7) sind die sog. CIS-Solarzellen. Auch hier finden wir wieder mehrere aufgedampfte Materialien, in diesem Falle Kupfer, Indium und Selen. Es entsteht Kupferindiumdiselenid (CIS). Mitunter wird durch Dotierung mit Gallium das Material an die spektrale Lichtverteilung der Sonne besser angepaßt (CIGS). Da CIS p-leitend ist, übernimmt auch hier Cadmiumsulfid die Funktion der n-Schicht.

CIS-Zellen erreichen Wirkungsgrade bis über 17% im Labor, für die großtechnische

Produktion werden 11-12% genannt, ein guter Wert für größere Dünnschicht-Solarmodule.

Gute Zukunftsaussichten hat auch die bereits genannte Verbindung zwischen Dünnschichttechnik und kristalliner Siliziumtechnik. Hier kann man eine bereits lange beherrschte Technologie mit gutem Wirkungsgrad mit den Vorteilen der Dünnschichttechnik kombinieren. Derzeit befindet sich diese Technik noch im Laborstadium, großtechnisch angewandt verspricht sie, aufgrund der vielen Vorteile und des zu erwartenden geringen Preises geradezu eine Revolution für die Solar-technik zu werden.

Wenden wir uns nach so viel Theorie der Praxis zu.

## Die richtige Solarzelle

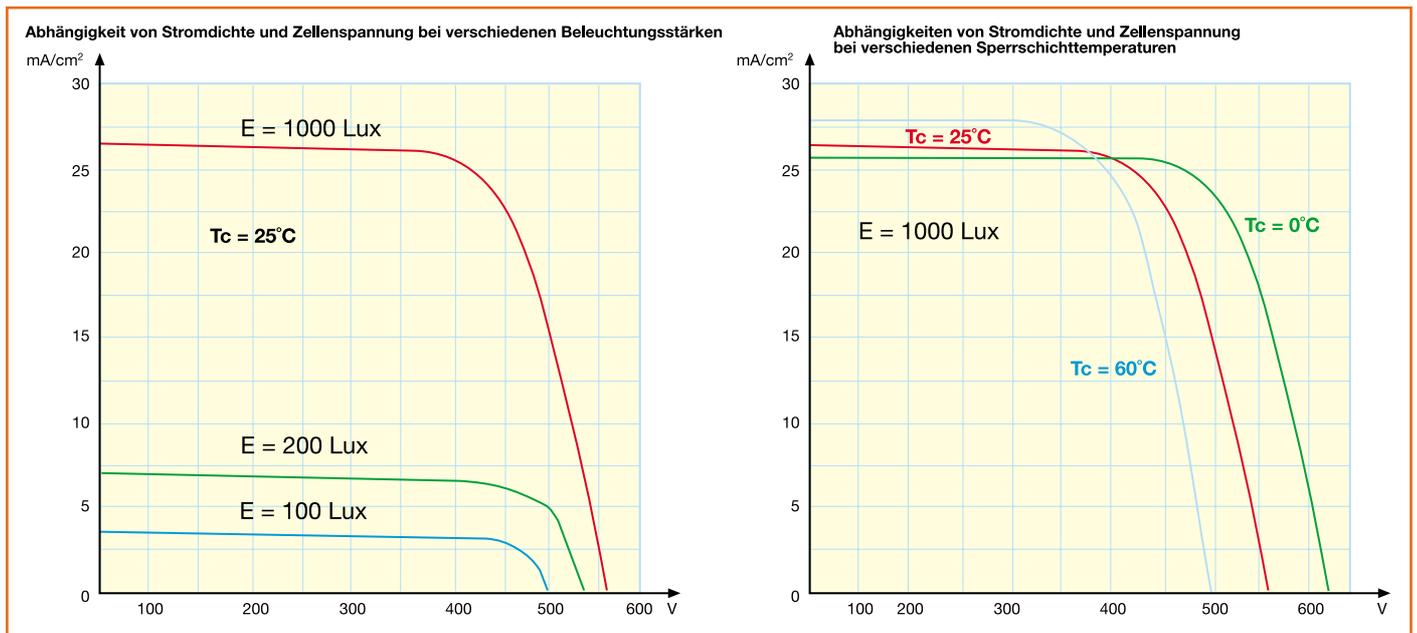
Wie vielfältig Solarzellen heute einsetzbar sind, haben wir schon im ersten Teil erfahren, das geht von der kleinen Zelle für eigene Elektronikexperimente bis zum großen Modul für das Hausdach.

Entscheidend für die Wahl der Solarzelle sind mehrere Faktoren. Der wohl wich-



**Bild 9: Akku leer? Keine Netzsteckdose in Sicht? Der Solarlader für das Handy ist die Lösung fernab der Zivilisation. (Bild: Fraunhofer ISE)**

tigste ist der Strombedarf der Anwendung. Bereits kleine Zellen wie die in Abbildung 8 gezeigte genügen für die Versorgung des Weltempfängers auf Reisen fernab von jeder Stromquelle, es gibt z. B. auch spezielle Solarlader für Mobiltelefone (Abbildung 9). Für die Stromversorgung des Caravans, Bootes oder des kleinen Ferienhauses sind bereits wenige Hochleistungsmodule ausreichend. Und eine Batterie Hochleistungsmodule auf dem eigenen Hausdach oder an der Fassade können ein



**Bild 10: Typische Abhängigkeiten der Solarzellen von Beleuchtungsstärke und Sperrschicht-Temperatur**

ganzes Haus unabhängig von der öffentlichen Energieversorgung machen.

Großanlagen wie die im Titelfoto dieses Artikels gezeigte auf den Dächern der Münchner Neuen Messe (Hersteller: SIEMENS, Leistung 1 MW, 1 Mio. KWh im Jahr) liefern gar den gesamten Energiebedarf auch für solche riesigen Gebäudekomplexe.

Weitere Faktoren für die Berechnung einer Solaranlage sind vor allem die Leistung der eingesetzten Solarzelle und die zu erwartende Beleuchtung durch die Sonne am Standort. Damit kann man schon recht genau bestimmen, wieviel Material einzusetzen ist.

### Spannungen, Ströme, Leistungen

Prinzipbedingt liefert eine einzelne Solarzelle eine Leerlaufspannung (bei voller Sonneneinstrahlung) von 0,55-0,57 V. Unter Nominallast verringert sich diese Spannung auf 0,46 V. Eine höhere Spannung entsteht also nur bei Reihenschaltung mehrerer Solarzellen zu den sogenannten

Solarmodulen. Für eigene Experimente gibt es im Elektronikhandel zahlreiche Solarzellenformen, von der kleinen ungekapselten Einzelzelle für den Geräteeinbau bis zum voll gegen Feuchtigkeit, Hagel und sonstige Witterungseinflüsse gekapselten Leistungsmodul mit z. B. 17 V Nennspannung.

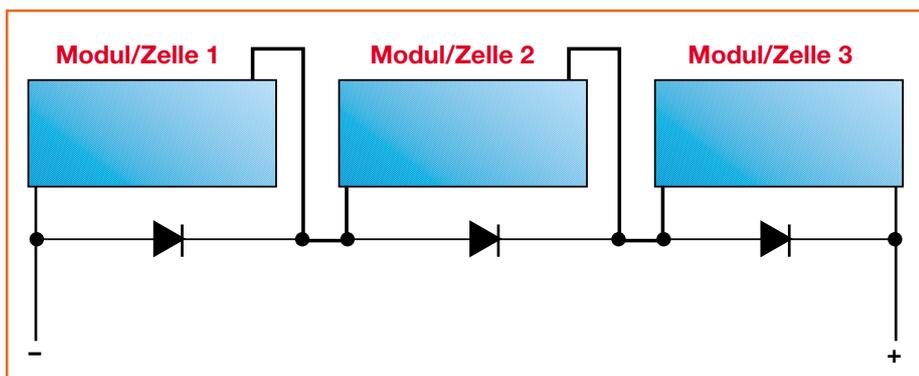
Die Hersteller von Solarmodulen gehen bei ihren Leistungsangaben nahezu immer von der Idealbedingung aus, daß die Solarzelle direkt von der senkrecht herabscheinenden Mittagssonne beleuchtet wird. Dies ist die Bedingung für die Angabe der Beleuchtungsstärke mit  $E = 100 \text{ mW/cm}^2$ . Dieser Wert verringert sich logischerweise bei allen anderen Sonnenständen, bei Bewölkung oder gar künstlicher Beleuchtung.

Ein weiteres Maß für die Angaben zur Solarzelle ist die sogenannte Sperrschichttemperatur der Solarzelle. Die Idealwerte werden bei 25°C erreicht, Werte darüber lassen die Zellenspannung absinken. Niedrigere Werte dagegen haben sogar einen Leistungsanstieg zur Folge.

Diese beiden Angaben wird man also in

jeder Tabelle finden, in der es um Solarzellendaten geht, bzw. sie werden meist stillschweigend vorausgesetzt. Eine dritte Angabe findet man auch in nahezu jeder Herstellerangabe, die Bezeichnung AM = 1,5. Dies bedeutet AirMass und kennzeichnet das Sonnenlichtspektrum an einem bestimmten Ort. 1,5 kennzeichnet die Erdoberfläche bzw. die Gegend innerhalb der Erdatmosphäre, an der Grenze zwischen Erdatmosphäre und All beträgt dieser 1,0 und im All 0. Für Anwendungen in der Praxis auf der Erde bedeutet dies lediglich, daß die Zelle die angegebene Leistung nur erreicht, wenn sie tatsächlich von der Sonne oder einer Lichtquelle beschienen wird, deren Lichtspektrum dem der Sonne entspricht. Denn bekanntermaßen „bevorzugen“ optisch empfindliche Halbleiter bestimmte Spektralbereiche, um optimal zu arbeiten.

Man muß also bei der Berechnung einer Solaranlage auch andere als die tollen Sonnentage zugrunde legen, um bei trübem Wetter nicht ohne Strom im Gartenhaus zu sitzen oder im Wohnhaus dann doch die Stadtwerke in Anspruch nehmen zu müssen. Die Grafiken in Abbildung 10 verdeutlichen die eben genannten Zusammenhänge. Dabei lernen wir die nächste Größe, die Stromdichte, kennen. Diese ist je nach eingesetzter Solarzellentechnologie sehr unterschiedlich, unser Beispiel zeigt die typische Stromdichte (Kurzschlußstromdichte) einer kristallinen Zelle mit typ.  $26 \text{ mA/cm}^2$  (bei  $100 \text{ mW/cm}^2$  und 25°C). Nur wenige Hersteller geben diesen Wert überhaupt an, sie verweisen meist nur auf den Kurzschluß- bzw. Leerlaufstrom des Moduls. Allerdings ist die Kenntnis der Stromdichte schon wichtig für die Konzeption einer Anlage und vor allem für die



**Bild 11: So vermeidet man den Hot-Spot-Effekt - Bypass-Dioden überbrücken zeitweilig abgedunkelte Solarzellen.**



**Bild 12: Auch große Solarzellenflächen lassen sich so in ein Hausdach integrieren, daß sie kaum stören. (Bild: Solar-Technik Nord GmbH)**

Bewertung der tatsächlichen Leistungsfähigkeit und Vergleichbarkeit einer Solarzelle mit anderen Modellen.

Aus den Angaben zu Nennspannung und Nennstrom wird die Nennleistung des Moduls hergeleitet, ebenfalls ein wichtiger Parameter für die Gesamtkonzeption.

Im übrigen kann man Solarzellen nicht nur in Reihe schalten, um eine bestimmte Nennspannung zu erhalten, sondern auch parallel, um die Stromausbeute zu erhöhen.

Bei der Reihenschaltung mehrerer So-



**Bild 13: Spezial-batterie mit hoher Speicherkapazität für Solaranlagen**

larzellen sollte man jede Zelle oder zumindest eine Gruppe von Zellen mit einer sogenannten Bypass-Diode entsprechender Strombelastung versehen, um den berüchtigten „Hot Spot“-Effekt zu umgehen. Das bedeutet, sobald eine der in Reihe liegenden Solarzellen abgeschattet wird, etwa durch ein auf der Zelle liegendes, von einem Baum herabgefallenes Blatt, bildet diese Zelle einen Widerstand in der Reihe und erwärmt sich stark. Im Extremfall kann dies zur Zerstörung der Zelle führen.

In kompletten Modulen mit mehreren intern bereits verschalteten Solarzellen sind diese Bypass-Dioden integriert, lediglich für die Zusammenstellung eigener Module aus Einzelzellen oder bei der Reihenschaltung mehrerer Module ist diese Schaltungsmaßnahme selbst durchzuführen (Abbildung 11).

Zum Schluß dieses Abschnitts noch ein paar erläuternde Worte zum Wirkungsgrad der Solarzellen. Bei der Berechnung der

abgebbaren Leistung geht man von einem Idealwert von max. 1000 W je von der Sonne bestrahltem Quadratmeter aus. Setzt man dann einen praktisch auch erreichbaren Wirkungsgrad zwischen 8 und 17% an, so kann der Quadratmeter Solarzelle je nach Typ eine Leistung zwischen 80 und 170 W liefern. Will man bei deutschen Wetter- und Sonneneinstrahlungsverhältnissen auf Nummer Sicher gehen, benötigt man schon bis zu 12 m<sup>2</sup> Solarfläche, um einen durchschnittlichen Haushalt komplett zu versorgen. Dabei muß man zum einen die Lage der Solarmodule zur Sonne beachten, was baulich nicht immer ganz einfach zu lösen ist, hier ist ein Flachdach wie auf dem Titelfoto dieses Artikels eine sehr gute Voraussetzung. Zum anderen muß man ins Kalkül ziehen, daß man wohl im Sommer bei sehr gutem Wetter einen guten Überschuß an Leistung erwirtschaftet (das Stromeinspeisegesetz ermöglicht sogar eine Einspeisung ins öffentliche Energienetz), im Winter hingegen wohl den Bedarf nicht ganz decken kann, denn da kann es durchaus vorkommen, daß ein Quadratmeter Solarzelle nur weniger als 100 Wh je Tag liefern kann. Im Internet findet sich unter:

<http://www.satellite.entpe.fr>  
eine gute Planungshilfe. Hier werden euro-

päische Tageslicht- und Einstrahlungsdaten ständig aktuell gezeigt, so daß sich ein regelrechter Tageslicht-Atlas ergibt.

Daß übrigens auch große Solarflächen auf dem Hausdach durchaus nicht häßlich aussehen müssen, zeigt Abbildung 12.

### Vom Solarmodul zur Solaranlage

Ein Solarmodul allein ist noch lange keine Solaranlage. Theoretisch könnte man zwar durchaus Solarmodule für die gewünschte Spannung zusammenstellen, allerdings stößt dies schnell an seine Grenzen, sobald es erstens an die Erzeugung der üblichen 230V-Wechselspannung gehen soll und zweitens der Himmel tagelang total bedeckt ist, die Sonne also kaum oder (z. B. auch nachts) keinen Strom liefert. Die Crux an elektrischer Energie ist die, daß sie relativ schlecht und wenn, dann nur mit einigen Verlusten speicherbar ist.

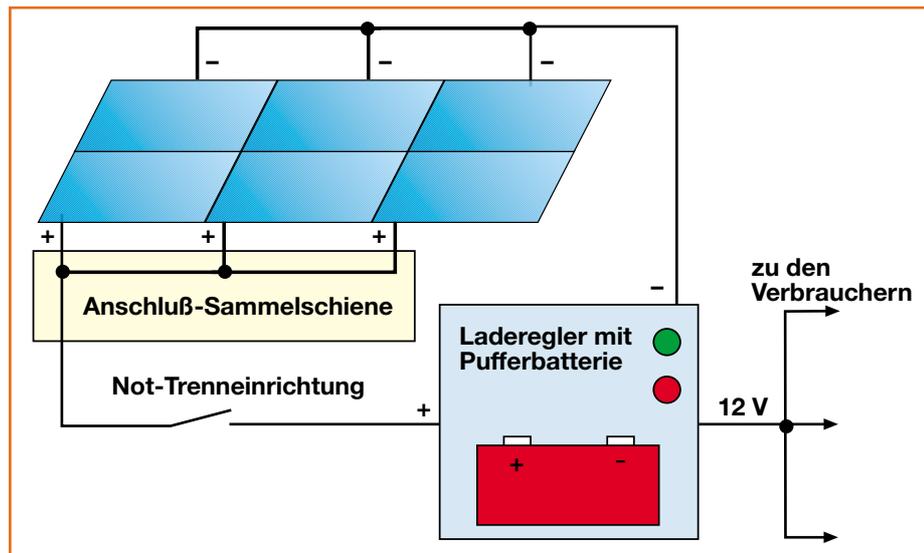
Und dann muß man auch die erheblichen Spannungsschwankungen bei wechselnder Beleuchtung (Wolken, unterschiedliche Einstrahlwinkel zu unterschiedlichen Tages- und Jahreszeiten) kompensieren können.

Also muß in jedem Falle Peripherie her. Immer gehören dazu eine oder mehrere speziell dimensionierte Solar-Blei-Batterien, die ständig von der Solarzelle geladen werden und als Zwischenspeicher dienen (Abbildung 13). Der Verbraucher entnimmt seinen Strom aus diesen Batterien, nicht direkt aus der Solarzelle! Je nach Anwendung ist zwischen Solarzelle und Batterie ein einfacher Laderegler (Abbildung 14) geschaltet, der lediglich für eine konstante Ladespannung sorgt und ggf. die Verbindung zwischen Batterie und Solarzelle sperrt (z. B., wenn die Zelle zu wenig Spannung liefert). Er sorgt auch für den Schutz der Batterie vor überhöhter Stromentnahme und Tiefentladung.

Um z. B. für das Ferienhaus weiteren Aufwand zu sparen, sollte man die Solar-



**Bild 14: Ein Solarregler sorgt für definiertes Laden der Pufferbatterie und das Powermanagement zwischen Solarzelle, Batterie und Verbraucher.**



**Bild 15: Grundaufbau einer einfachen Solaranlage**

öffentliche Stromnetz fordern die Energieversorgungsunternehmen spezielle, den Regeln der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW) genügende Wechselrichter. Diese benötigen u.a. zur Steigerung des Wirkungsgrades der Gesamtanlage auch höhere Primärspannungen, z. B. 85 V oder noch höher.

Im dritten Teil unserer Serie zeigen wir Anlagenkonzeptionen und Fördermöglichkeiten für Solaranlagen, gefolgt vom Ausflugs in die Solarthermie. **ELV**

anlage gleich für die gängigen Kfz-Bordnetzspannungen 12 oder 24 V dimensionieren, das heißt, auch alle entsprechenden Geräte und Beleuchtungskörper für diese Spannung anschaffen. Es gibt nahezu alles, was man so braucht, auch für diese Spannungen, vom Kühlschrank bis zum Fernsehgerät. Caravan- oder Boots-Bordnetze sind ohnehin vielfach schon komplett auf 12 oder 24 V ausgelegt. Für diese Zwecke eignen sich hervorragend die vielfältig angebotenen Solarmodule mit 17 V Nennspannung.

Wie solch eine Anlage vom Prinzip her aussieht, zeigt Abbildung 15.

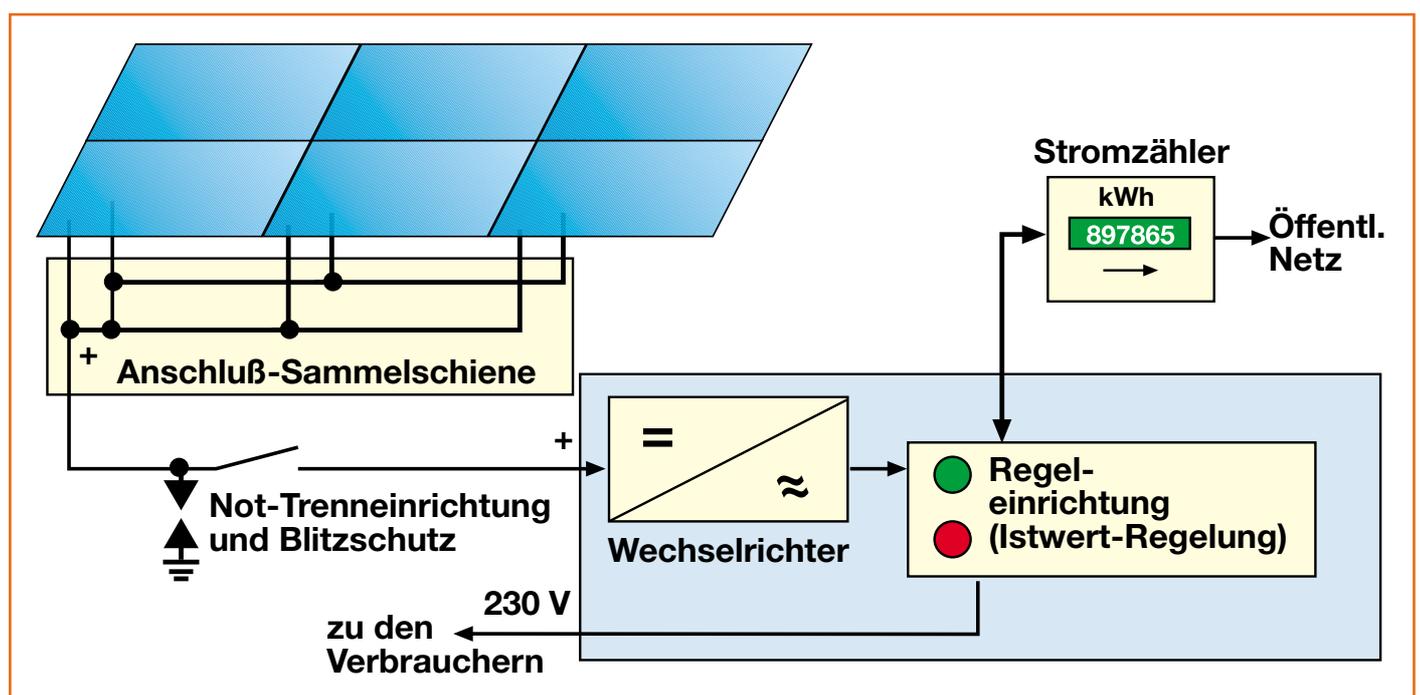
Man spart den nicht unbeträchtlichen Aufwand für einen Wechselrichter (Abbildung 16), der für ein Herauftransformieren der Batteriespannung auf 230 V und eine Umwandlung von Gleich- in eine möglichst sinusförmige

Wechselspannung sorgt. Erst über solch einen Wechselrichter kann man das normale 230V-Hausnetz anschließen. Eine spezielle Schalt- und Zähleinrichtung sorgt für die mögliche Einspeisung in das öffentliche Stromnetz, falls dies gewünscht ist (Abbildung 17).

Für die problemlose und störungsfreie Einspeisung in das



**Bild 16: Ein Wechselrichter erlaubt den Betrieb von 230V-Wechselspannungsgeräten an der Solaranlage.**



**Bild 17: Grundaufbau einer netzgekoppelten Solaranlage**