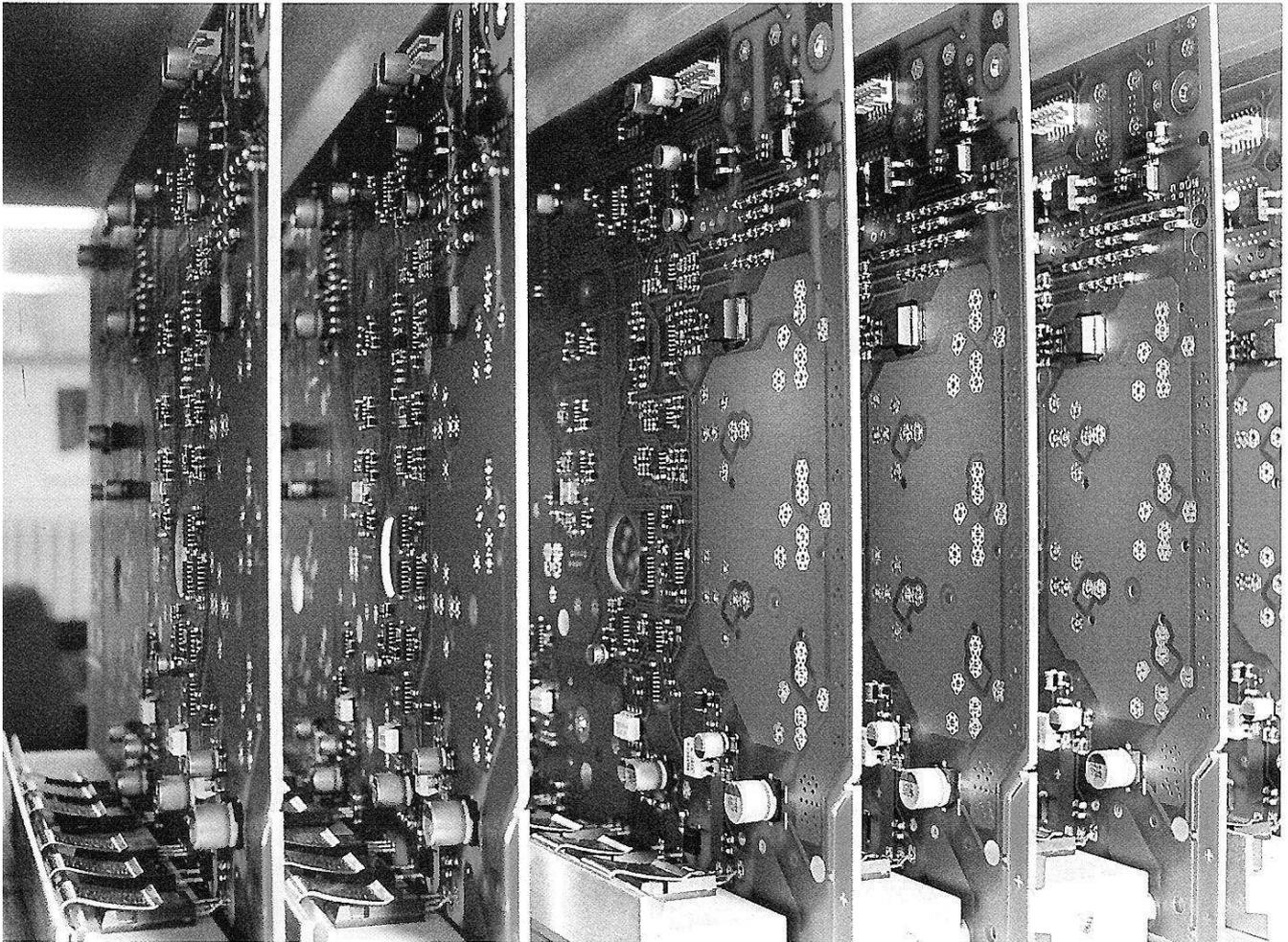


High-Tech im Hintergrund

Wechselrichter sind die wahren Leistungsträger einer Solaranlage. Sie speisen den Sonnenstrom nahezu verlustfrei ins Netz ein. Wachsender Wettbewerb unter den Inverterbauern sorgt dafür, dass die Geräte effizienter werden.

Text: Sascha Rentzing, Fotos: Georg Schreiber



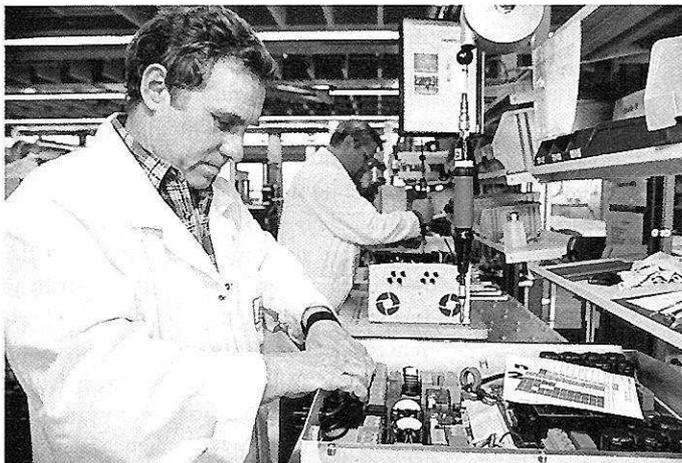
INVERTER IN DER WARTESCHLEIFE: Bei der SMA Technology AG werden täglich Dutzende Wechselrichter hergestellt.

Dass das Geschäft mit der Sonne einmal so gut laufen würde, hatten die Gründer der SMA Technology AG kaum erwartet. 1981 machten sich drei vormalige Wissenschaftler der Universität Kassel selbständig, um Regelungssysteme für verschiedenste Formen der Energieversorgung zu liefern. Steuerungssysteme für große Windkraftanlagen wurden konzipiert, Baugruppen für Industrie-Computer entwickelt, die Züge der damaligen Deutschen Bundesbahn mit Batterieladegeräten ausgestattet und an Wechselrichtern für die Solarenergie gear-

beitet. Die Solartechnik entwickelte sich schon bald zum wichtigsten Geschäftsbereich des Unternehmens. Zum einen, weil die Nachfrage nach Photovoltaik (PV)-Anlagen in Deutschland während der Neunzigerjahre allmählich anzog, zum anderen, weil die Weiterentwicklung der PV-Systemtechnik große Fortschritte machte. Bereits 1990 konnte SMA den ersten in Serie gefertigten Wechselrichter anbieten, der den Gleichstrom aus den Solarmodulen effizient in nutzbaren Wechselstrom umwandelte.

SMA im Markt klar vorn

Diesen Wettbewerbsvorsprung hat sich der Kasseler Inverterbauer bis heute bewahrt: Mit einer produzierten Wechselrichterleistung von 360 Megawatt (MW) ist SMA weltweit größter Player in diesem Marktsegment. Und auch wenn 2005 ein „flaches“ Jahr war – der Umsatz im Geschäftsbereich Solartechnik lag wie schon 2004 bei rund 150 Millionen Euro –, sind die Systemtechnik-Spezialisten optimistisch, Weltspitze zu bleiben. „Wir werden national wie international weiter wachsen“, prognosti-



MIT FINGERSPITZENGEFÜHL: Viele komplizierte Arbeitsschritte sind notwendig, bis aus vielen elektronischen Komponenten letztlich ein Wechselrichter entstanden ist.

ziert Vorstand Günther Cramer. Im laufenden Jahr soll es wieder deutlich aufwärts gehen. Sowohl bei der Produktion als auch beim Umsatz rechnen die Hessen mit einem Plus von gut 20 Prozent. Das müsste ausreichen, um weltweit den Spitzenplatz zu halten.

Künftig wird SMA die Position aber gegen immer mehr Konkurrenten verteidigen müssen. Zahlreiche Elektrounternehmen sind in den vergangenen Jahren auf den PV-Express aufgesprungen. Nach Informationen des Bundesverbands Solarwirtschaft (BSW) bieten im deutschen Markt mittlerweile über 30 Firmen Wechselrichter an – doppelt so viel, wie noch vor zwei Jahren. Gemeinsam haben sie 2005 hierzulande an die 570 MW verkauft.

Auffällig dabei: Die bedeutende Rolle ausländischer Firmen im deutschen Markt; ihr Anteil an der neu installierten Leistung lag 2005 bei fast 30 Prozent. Die Fronius International GmbH aus dem österreichischen Pettenbach und die Sputnik Engineering GmbH aus Biel in der Schweiz beispielsweise haben im letzten Jahr zusammen 285 MW produziert und den überwiegenden Teil dieser Ware in Deutschland angeboten. Aber auch japanische Zellen- und Modulhersteller (Kyocera, Sharp) drängen stärker in den Markt. Was kein Wunder ist. Denn der Deutschland-Vertrieb ihrer Panels läuft gut. Da liegt es nahe, das passende Equipment gleich mit anzubieten.

Unauffällige Alleskönner

Obleich das Geschäft mit Wechselrichtern weltweit dreistellige Millionen-Beträge bewegt, wird diesem Teil der Sonnen-Techno-

logie in Marktanalysen wie Öffentlichkeit oft wenig Beachtung geschenkt. Das hat einen einfachen Grund: Im Vergleich zu den Zellen, wo der spannende Vorgang, die Umwandlung von Licht in Strom, stattfindet, sind Wechselrichter vermeintlich unspektakulär. Sie haben lediglich die Aufgabe, den von den Solarpanels erzeugten Gleichstrom in gängigen Netzwechselstrom mit 230 Volt Spannung und einer Frequenz von 50 Hertz umzupolen.

Bei genauerem Hinschauen fällt jedoch auf, dass in den schmucklosen Metallkästen geballte High-Tech steckt. Denn nicht nur die Energieerzeugung, sondern auch deren effiziente Umwandlung ist äußerst kompliziert. Ein Wechselrichter besteht aus zahlreichen Komponenten – Kondensator, Transistoren, Transformator und Drosseln – die den Sonnenstrom im Zusammenspiel auf Netztauglichkeit trimmen (siehe Info-Kasten). Auf jeder Wandlungsstufe kommt es zu thermischen Verlusten, die sich in der Summe negativ auf den Wirkungsgrad des Inverters und somit auf den Anlagenenertrag auswirken. Diese Verluste durch Bauteiloptimierungen, neue Materialien und Kühlkonzepte zu minimieren, ist für die Hersteller eine wesentliche Herausforderung. Aktuell sind Wirkungsgrade von 94 bis 95 Prozent Spitze, einige Produzenten kommen aber bereits darüber hinaus. Lohn der Mühen: Jeder Prozentpunkt schlägt sich in höheren Energieausbeuten nieder.

Wechselrichter können aber mehr als Strom einspeisen: Moderne Geräte übernehmen das Condition Monitoring, also die elektronische Zustandsüberwachung der Solaranlage, gleich mit. Besonders bei grö-

ßeren Sonnenkraftwerken, wo Störfälle mit hohen finanziellen Einbußen verbunden sein können, kommt diese Kombi-Technologie immer häufiger zum Einsatz. In den Inverter integrierte Messgeräte liefern stetig Informationen etwa zu Solarstrahlung und Modultemperatur. Die Daten können anschließend per Computer ausgelesen werden. So ist es möglich, Fehler schnell zu erkennen und sie per Fernsteuerung zu beheben.

Effizienz-Offensive der Hersteller

Marktgrößen wie SMA oder Fronius bieten solche Geräte längst an. Gerade die Großen haben, wohl auch angesichts des härter werdenden Wettbewerbs, zuletzt ausgiebige Produktpflege betrieben. Fronius, mit einer abgesetzten Inverterleistung von 180 MW in 2005 zweitstärkster Player im deutschen Markt, hat sein Portfolio so erweitert, dass mittlerweile für jede Anlagengröße und jeden Anwendungsbereich ein passender Umwandler zur Verfügung steht – vom 600-Watt-Modell bis hin zu einem Zentralwechselrichter für Solarkraftwerke mit 43 kW Leistung. Außerdem hat das Unternehmen in Forschung und Entwicklung effizienterer Geräte investiert. „Unter Teillast, also bei Sonnenauf- und -untergang oder Bewölkung, sinkt der Wirkungsgrad eines Wechselrichters in der Regel deutlich. Wir haben ein Verfahren entwickelt, um hohe Stromerträge auch im Teillastbereich zu erzielen“, erklärt Ulrich Winter, Leiter Vertrieb Deutschland.

Der Name des Verfahrens: Master Inverter X-Change-Konzept. Normalerweise ist

ein Bauteil für die Umrichtung des Gleichstroms in Wechselstrom verantwortlich, hier sind es zwei, „Master“ und „Slave“. Bei Teillast arbeitet der Meister alleine. Erhöht sich die Einstrahlung, wird der Sklave zugeschaltet. Neu an dieser Technologie ist, dass die beiden Teile – anders als es ihr Name nahe legt – völlig gleichberechtigt sind. Je nach Betriebsdauer teilt die Steuerung dem einen oder anderen die „Master“- oder „Slave“-Funktion zu.

Das Duo wird in alle neuen Fronius-Geräte eingebaut – mit messbarem Erfolg. Der IG 30 mit 2,69 Kilowatt (kW) Leistung etwa erreicht einen maximalen Wirkungsgrad von 94,3 und einen so genannten Europäischen Wirkungsgrad von 92,7 Prozent. Letztgenannter drückt den mittleren Jahreswirkungsgrad für eine typische Anlageninstallation in Europa aus. Diese Werte liegen zum einen über denen ähnlich leistungsstarker Modelle vieler anderer Hersteller. Zum anderen reicht der Europäische nah an den Spitzenwirkungsgrad heran, was zeigt, dass der IG 30 auch bei Teillast, also bei weniger Sonne, effizient arbeitet. Nur zum Vergleich: Noch vor einigen Jahren lagen Spitzen- und Europäischer Wirkungsgrad bis zu fünf Prozentpunkte auseinander – ein klares Indiz dafür, dass nicht nur bei den Zellen und Modulen, sondern auch bei den Wechselrichtern Verbesserungs- und Kostensen-

kungspotenzial besteht. Auch was die Betriebs- und Lebensdauer betrifft. Innerhalb eines Solarsystems gilt der Wechselrichter als eine der stör anfälligsten Komponenten. Mit der „Master-Slave“-Lösung gelingt es, das Risiko eines Ausfalls zu minimieren, denn die Arbeitslast wird gleichmäßig auf die Leistungsteile verteilt. Dadurch wird deren Verschleiß reduziert.

Trafolose Inverter kommen

Wenn Wechselrichter ihren Teillastwirkungsgrad verbessern, hat das auch Rückwirkungen auf die Anlagenauslegung. Bislang wird der Leistungsumfang der Stromwandler bis zu 30 Prozent kleiner ausgelegt als die Solaranlage, damit die Geräte nicht so oft im eher ungünstigen Teillastbereich arbeiten. Wenn sich der Europäische und der Spitzenwirkungsgrad aber immer mehr angleichen, ist diese Unterdimensionierung nicht mehr sinnvoll.

„Die 30-Prozent-Faustformel ist überholt“, sagt deshalb Hans-Georg Schweickardt, Ingenieur bei Sputnik. Um das Optimum aus ihren Geräten rauszuholen, rät das Unternehmen Kunden, diese nur um maximal 15 Prozent kleiner als die Anlage auszuliegen.

Bei den hohen Wirkungsgraden der Inverter, die die Schweizer vertreiben, scheint das durchaus angemessen zu sein. Der Solar-

max 3000 C mit drei kW Leistung zum Beispiel, eines von insgesamt zehn Modellen, die das Unternehmen im Angebot hat, erreicht mit 97 und 95,5 Prozent überdurchschnittlich gute Werte.

Diese kommen zustande, weil Sputnik grundsätzlich auf Transformatoren verzichtet. Sie sind normalerweise dafür da, die Eingangsspannung an das öffentliche Stromnetz anzupassen. In den Wechselrichtern der Bieler übernehmen Hochsetzsteller diese Aufgabe. Vorteil dieser neuen Technologie: Bei der Energieumwandlung kommt es an den Schaltungen zu deutlich weniger Verlusten als an Transformatoren, was im Ergebnis eine höhere Effizienz bewirkt. Außerdem sind trafolose Geräte kleiner und leichter.

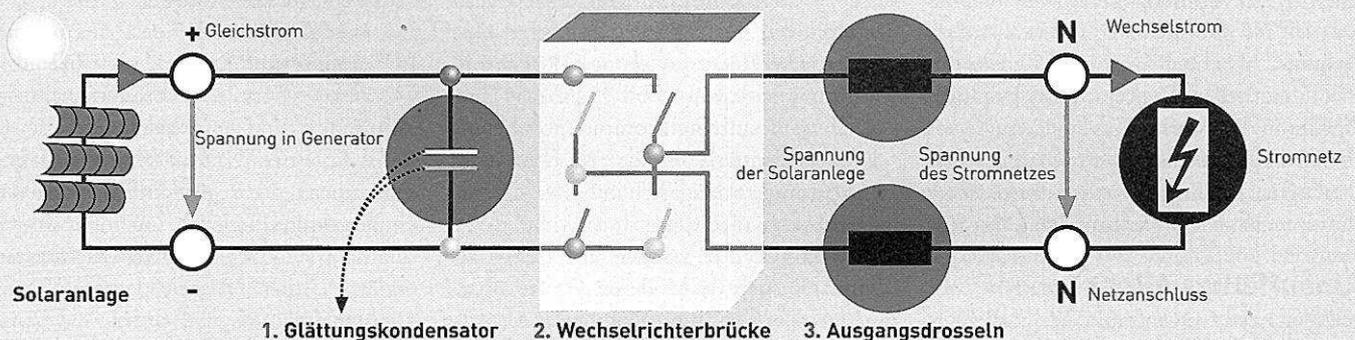
Warum dennoch nicht alle Hersteller auf diese Teile verzichten, hat vor allem damit zu tun, dass Transformatoren in einigen Ländern wie zum Beispiel Spanien noch vorgeschrieben sind: Transformatoren sind für den Überspannungsschutz zuständig. Konkret sorgen sie für eine so genannte galvanische Trennung des Gleichstromkreises vom Wechselstromkreis. So können Solarspannungen nicht auf die Netzseite dringen und Schäden anrichten, andersrum bleibt die Gleichstromseite von Einflüssen des Netzwechselstroms verschont. Bei trafolosen Wechselrichtern trennt eine Isolations- und

Wie funktioniert ein Wechselrichter?

Der Wechselrichter hat die Aufgabe, den von der Solaranlage gelieferten Gleichstrom in Wechselstrom umzuformen und die Frequenz an das Stromnetz anzupassen. Immer häufiger kommen dabei trafolose Wechselrichter zum Einsatz. Diese Geräte sind leichter und erreichen im Gegensatz zu herkömmlichen Wechselrichtern höhere Wirkungsgrade. Die besten im Markt verfügbaren Geräte kommen auf 97 Prozent.

Ein trafoloser Inverter besteht im Kern aus drei leistungsfähigen Komponenten: dem Glättungskondensator am Eingang, der Wechselrichterbrücke und Ausgangsdrosseln. Der Kondensator hat die Funktion, die Eingangsspannung – bei einer Solaranlage mit drei Kilowatt (kW) Leistung etwa liegt diese in der Regel zwischen 100 und 500 Volt – konstant zu halten und Spannungsspitzen abzufangen. Eine gute Pufferung ist wesentliche Voraus-

Grundfunktion eines PV-Wechselrichters



Fehlerstromüberwachung das Sonnenkraftwerk bei Problemen vom Netz. Experten in Deutschland halten Überwachungsmethoden wie diese für völlig ausreichend.

Sunways mit Rekord-Wirkungsgraden

Und so bieten inzwischen auch andere Hersteller die abgespeckte Wechselrichter-Variante im deutschen Markt an, beispielsweise die Sunways AG aus Konstanz. Mit einer produzierten Wechselrichter-Leistung von 25 MW im letzten Jahr gehört das Unternehmen zwar nicht zu den großen Playern, in puncto Effizienz liegen die Württemberger mit ihren Geräten jedoch ganz weit vorne. Durch die Bank werden vom 2,3 kW- bis 5,2 kW-Produkt Spitzenlastwirkungsgrade von 97 und Europäische Wirkungsgrade von über 96 Prozent erreicht. Damit laufen die Sunways-Inverter bei wenig Sonne fast so effizient wie bei guter Sonneneinstrahlung.

Möglich macht dies nach Angaben von Vertriebsingenieur Adrian Maurer eine neue Topologie, anders ausgedrückt: eine neuartige Schaltung in der Wechselrichterbrücke. In dieser „Brücke“ findet das Umformen des Gleichstroms in Wechselstrom mit 230 Volt Spannung und einer Frequenz von 50 Hertz statt. Herkömmliche Brücken bestehen aus vier Leistungshalbleitern, die durch Öffnen

Wechselrichter: Die wichtigsten Hersteller im deutschen Markt

Unternehmen	2005 erreichte Produktion	Prognose für 2006	Leistungsbereich der angebotenen Wechselrichter
SMA Technology AG	360 MW	450 MW	0,78 bis 1.050 kW
Fronius International GmbH	180 MW	220 MW	0,85 bis 43 kW
Kaco Gerätetechnik GmbH	121 MW	170 MW	1,57 bis 31,5 kW
Sputnik Engineering AG	105 MW	140 MW	2 bis 300 kW
Xantrex Technology Inc	70 MW	142 MW	2,4 bis 515 kW

und Schließen im Millisekundentakt für ein kontinuierliches Umpolen der Spannung auf Netzfrequenz sorgen. In den Sunways-Invertern kommen dagegen sechs Schalter zum Einsatz. Dadurch werden höhere Taktgeschwindigkeiten erreicht, was mit geringeren Schaltverlusten verbunden ist. Freilich hat so viel High-Tech seinen Preis. Der NT 4.000 beispielsweise mit einer Leistung von 3,4 kW kostet für Endkunden knapp 2.700 Euro, womit das Produkt vergleichsweise teuer ist.

Ob die Edel-Inverter Sunways ein gutes Geschäft beschieren, ist keineswegs sicher. Marktführer SMA z.B. hat sich entschieden, weitere Wirkungsgradverbesserungen zunächst nicht mehr in den Mittelpunkt seiner Bemühungen zu stellen. Denn der finanzielle Aufwand für ein, zwei Prozentpunkte Wirkungsgrad mehr, wäre schließlich zu hoch. Stattdessen arbeitet das Unternehmen an einer Diversifizierung der Produktpalette

für spezifische Anwendungen: So basteln die Hessen an Invertern, die sich für den Einsatz in sonnenreicheren Regionen eignen, also besonders gut Hitze vertragen und sie bauen ihr Wechselrichter-Portfolio für Offgrid-Systeme. Bei diesen so genannten Inselssystemen ist SMA seit Jahren führend. Gerade kürzlich kam ein neuer Großauftrag für knapp 100 Anlagen in China ins Haus.

Um mehr solcher Projekte an Land zu ziehen, bauen die Kasseler derzeit – wie ihre Kollegen aus dem Zellen- und Modulgeschäft – die internationalen Vertriebsstrukturen aus. Im Fokus von SMA liegen vor allem Südeuropa, Indien und China. Ob sich in diesen Märkten die vergleichsweise teuren Wechselrichter mit Rekordwirkungsgraden vermarkten lassen, ist fraglich. Zum einen ist hier die Solarernte per se höher, zum anderen sind eher günstige und robuste Geräte gefragt. ◀

setzung für einen hohen Wirkungsgrad. Spezielle Regler im Wechselrichter ermitteln stetig den Punkt, in dem der Solargenerator maximale Leistung abgibt (Maximum Power Point, MPP), und haben die Aufgabe, den Inverter so anzusteuern, dass er stets im MPP betrieben werden kann. Dies geschieht im Sekundentakt, da sich der optimale Arbeitspunkt mit der Temperatur der Zellen und der Einstrahlung verschiebt. Je besser der Kondensator Spannungsschwankungen eliminiert, desto genauer kann der Wechselrichter den MPP des Solargenerators ermitteln.

Die Wechselrichterbrücke ist die nächste wichtige Einheit im Inverter. Sie besteht aus Transistoren oder Leistungshalbleitern, welche die Gleichspannung des Solargenerators durch schnelles Ein- und Ausschalten zerhacken und an Frequenz und Phase des Stromnetzes anpassen. Die Verbesserung der Wechselrichterbrücken ist für die Hersteller ein wesentliches Thema. Denn durch das Hin- und Herschicken des Stroms entstehen dort Schaltverluste, die es durch Bauteiloptimierung zu minimieren gilt.

Die Drosselspule am Ausgang des Wechselrichters dient schließlich dazu, den erzeugten Wechselstrom in einen perfekten Sinusstrom zu verwandeln.

Je nach Anlagengröße sind verschiedene Wechselrichterkonzepte möglich. Bei herkömmlichen PV-Anlagen wie sie auf Einfamilienhäusern zum Einsatz kommen, ist in der Regel ein Wechselrichter für die Stromumwandlung zuständig. Bei Anlagen größerer Leistung, die aus mehreren Modulsträngen bestehen, kommen dagegen oft so genannte String-Wechselrichter zum Einsatz, genauer gesagt: pro Modulstrang ein Gerät. Diese werden dann auf der Wechselstromseite, also nach Umwandlung des Gleichstroms, zusammengeschaltet. Zentralwechselrichter kommen schließlich bei Solarkraftwerken mit einer Leistung ab zwei kW zum Einsatz.

Je nach Wechselrichter-Leistung variieren freilich auch die Kosten. Während für Umwandler für Großkraftwerke zwischen 10.000 und mehreren 100.000 Euro bezahlt werden muss, kostet ein Wechselrichter für eine durchschnittlich große Anlage mit drei kW zwischen 1.500 und 3.500 Euro. Der Kostenanteil einer PV-Anlage, der auf den Wechselrichter entfällt, liegt damit bei zehn bis 20 Prozent. Positiv: Die Lebensdauer der Geräte hat sich dank technischer Verbesserungen und neuer Materialien deutlich erhöht. Branchengrößen wie SMA geben für ihre Produkte mindestens 20 Jahre an und gewähren Garantien von fünf oder zehn Jahren.