

# Einführung Solarthermische und Photovoltaische Anlagen

## Energiesituation

Der Welt-Energiebedarf ist in den vergangenen eineinhalb Jahrhunderten exponentiell gestiegen. Bedient wurde der Energiehunger mit der Verbrennung unserer fossilen Energieträger. Der Energiebedarf steigt weiter, doch die konventionellen Energieträger neigen sich zum Ende. Wir befinden uns jetzt an einem Punkt (Oil peak), wo der Mehrverbrauch die Zunahme an fossilen Ressourcen übersteigt, dh die verbleibenden Vorräte werden sehr schnell verbraucht, die Knappheit wird zu starken Preissteigerungen führen, zu Verteilungskonflikten, und arme Länder ohne eigene Ressourcen werden nicht mehr genug bekommen.

Dennoch ist genügend Energie verfügbar, in der Form erneuerbarer Energieträger (EE).

Sie sind die einzige bekannte und schon nutzbare Alternative.

Die Vorteile erneuerbarer Energieträger sind vielseitig und eindeutig:

- EE werden stetig billiger, während fossile Energieträger sehr viel teurer werden
- EE sind heute oft schon wirtschaftlicher als konventionelle Versorgung, und die Vorteil nimmt zu
- EE tragen nicht zur Verschmutzung, CO2 Belastung und Klimaveränderung bei
- EE sind allgemein und frei verfügbar, gehören keinem Energie-Monopol und schaffen keine Abhängigkeit
- EE erlauben eine dezentrale Versorgung. Netzprobleme werden dadurch geringer und abgelegene Gebiete erhalten die gleiche Chance auf Elektrifizierung
- EE-basierte ländliche Elektrifizierung schafft neue Chancen und Perspektiven der armen Landbevölkerung

Eine ausreichende, wirtschaftliche und nachhaltige Energieversorgung ist nach allem Wissen nur mit erneuerbaren Energien möglich. Deren Nutzung kann weiteres friedliches Zusammenleben in einer sauberen Welt ermöglichen. Dennoch konzentrieren wir uns darauf, den leichteren Weg der Verbrennung fossiler Ressourcen zu gehen, und verschwenden damit einen wichtigen produktiven und zukünftig sehr teuren Rohstoff.

Die Umstellung auf EE geschieht sehr langsam und vor allem in Ländern, die noch keine Versorgungsknappheit fürchten müssen. Ärmere Länder geben einen immer größeren Teil ihrer Devisen aus, um Brennstoff zu kaufen, und verpulvern damit die Mittel, die zum Aufbau einer nachhaltigen erneuerbaren Energieversorgung genutzt werden könnte. Sie machen sich abhängig von immer knapperen, immer teureren Ressourcen und haben endlich nicht mehr genügend Mittel, um einen Energiewechsel einzuleiten.

## Energiewechsel

Die Förderung erneuerbarer Energien muss nicht teuer sein. Politische Fehlentscheidungen jedoch, Fehlplanungen und fehlerhafter Betrieb sind teuer. Daher ist die wichtigste Maßnahme zum Energiewechsel die Bildung von Fachkompetenz in der Planung und im Betrieb der neuen Energieanlagen. Ziel ist, teure Energie durch Wissen zu ersetzen.

Der nächste wichtige Schritt ist die Schaffung von Planungssicherheit. EE Anlagen amortisieren sich über längere Zeiträume. Für diese Zeiträume muss ein rentabler Betrieb sichergestellt sein. Eine geeignete langfristig verbindliche Energieplanung muss diese Planungssicherheit gewährleisten.

Ein besonderes EE Gesetz ist ein weiterer bedeutender Schritt. Es schreibt den Vorrang der EE Nutzung fest, wo sonst Bauvorschriften verhindern, Kleingeneratoren und Heisswasserboiler gefördert werden oder die Nutzung von Gas, Kohle oder Petroleum subventioniert oder steuerlich begünstigt wird. Zusätzlich gewähren immer mehr Länder kostendeckende Einspeisetarife für erneuerbar erzeugten Strom.

All diese Maßnahmen kosten den Staat kein Geld, sondern wirken sich gesamtwirtschaftlich sogar positiv aus. Selbst Einspeisetarife, die über eine Umlage auf den Strompreis finanziert werden, wirken sich positiv durch privatwirtschaftliche Kraftwerks-Investitionen aus und geben Anreiz zu Energieeffizienz.

## Sonnenenergie

Alle erneuerbaren Energieträger basieren auf Sonnenenergie: Wind, Wasserkraft und Biomasse entstehen durch die Sonnenstrahlung, die unmittelbare Nutzung der Sonnenenergie hat dabei natürlich das größte Potenzial.

Nur ein geringer Teil der Strahlungsenergie der Sonne erreicht die Erde. Dennoch ist dieser Anteil 10.000 fach mehr als der gesamte Weltenergiebedarf. Die Nutzung der solaren Energieträger reicht also aus, um auf für menschliche Maßstäbe unendliche Zeit alle Energiewünsche zu erfüllen.

Das Sonnenenergieangebot an unserer Atmosphäre liegt bei 1,367 kW/m<sup>2</sup> (Solarkonstante)

Auf der Oberfläche kommen je nach durchdrungener Luftmasse (AM) etwa 1 kW/m<sup>2</sup> an. In Äquatornähe mit AM0 sind dies jährlich bis zu 2300 kWh/m<sup>2</sup> in Europa mit AM1,5 etwa 1000 kWh/m<sup>2</sup>. Die ärmsten Länder liegen oft in den energiereichsten Zonen. Sie könnten Energieüberschüsse produzieren und verkaufen.

Sonnenstrahlung lässt sich gut und verlässlich kalkulieren, im langjährigen Mittel betragen die Schwankungen nur 6,6%. Da auch Schmutz und Feuchtigkeit die Einstrahlung behindern, finden sich die höchsten Potenziale in äquatornahen, trockenen und wenig bevölkerten Gebieten. In Äquatornähe ist der Energiegewinn über das Jahr recht gleichmäßig, näher zu den Polen ist der Jahresverlauf mit Winter/Sommer sehr unterschiedlich. Dies kann teilweise ausgeglichen werden durch geeignete Neigung (auf das beste Jahresmittel oder die Zeit der maximalen Nutzung) Bei der Neigungsermittlung ist zu verstehen, dass die Globalstrahlung einen gerichteten Direktstrahlungs-Anteil hat und einen nicht gerichteten diffusen Anteil. Je höher der Direktstrahlungsanteil je deutlicher der Effekt der Neigung. Auch das Nachführen der Solarfläche betrifft nur die Direktstrahlung und wirkt am besten bei klarem blauen Himmel. Das gleiche gilt für die Konzentration der Strahlung auf eine Solarfläche, wie dies bei großen thermischen Solarkraftwerken der Fall ist.

## Thermische Solaranlagen

Solar-Thermische Anlagen nutzen den Wärmeanteil des Sonnenlichts, während photovoltaische Anlagen ein weites Spektrum des Sonnenlichts direkt in elektrischen Strom wandeln. Die Effizienz der thermischen Nutzung ist höher als die der photovoltaischen Nutzung. Dafür lässt sich Wärme nicht so vielseitig nutzen wie die „edlere“ Energieform Strom. Die Bedeutung solarthermischer Anlagen liegt daher vorwiegend in der Brennstoffersparnis (Gas, Strom Brennstoff zur Wassererwärmung im Haushalt, Hotels, Krankenhäusern, Produktionsbetrieben) aber zunehmend auch in der Stromerzeugung mit konzentrierenden Solarkraftwerken.

### Aufbau

Thermische Solarkollektoren bestehen im Grundsatz aus Absorberflächen, die der Sonne zugewandt sind und die von einem Wärmeträgermedium durchflossen werden. Schwarz selektiv beschichtete Absorberflächen nehmen Wärmestrahlung besonders gut auf. Der Absorber gewinnt mehr Wärme, wenn er durch Glas abgedeckt wird und so den Treibhauseffekt nutzt. Dabei wird die Wärmestrahlung im Kollektor gleichsam gefangen und verstärkt. Die Glasabdeckung ist bei Flachkollektoren plan. Bei Röhrenkollektoren umschließt eine Glasröhre das schmale Absorberband und ist durch Evakuierung zusätzlich isoliert. Die Isolierung von Kollektoren reduziert Wärmeverluste. Kollektoren werden deshalb vorteilhafter in die Dachfläche integriert als PV- Module. Hochisolierte Absorber sind teurer als wenig isolierte. Für einfache Wasseranwärmung genügen daher schon unisolierte schwarze Absorbermatten, für hohe Betriebstemperaturen und Industrierwärme sind Röhrenkollektoren und Konzentratoren sinnvoll.

Das erhitzte Wärmeträgermedium kann im einfachen Fall Wasser sein, das zB ein Schwimmbad direkt erwärmt. In den meisten Fällen wird die Wärme in einem Tank gespeichert und dort nach Bedarf entnommen. Nachts oder bei geringer Einstrahlung hält der Speicher die Wärme vor. Ein Kollektor kann Wasser so stark erhitzen, dass das gelöste Kalzium ausfällt und die Leitungen verstopft, es kann sogar so heiss werden, dass sich Dampf bildet. Daher wird meist kein Brauchwasser direkt im Kollektor erhitzt sondern ein mit Glykol vermischtes Wärmeträgermedium, das Verkalkung und die Bildung von Dampf oder sogar das Einfrieren verhindert. Dies Medium gibt seine Wärme über einen Wärmetauscher an das Brauchwasser ab.

Der Bau von Solarkollektoren, Speichertanks ist recht einfach und kann von einheimischen Werkstätten geleistet werden. Ohne Qualitätssicherung gab es jedoch immer wieder Probleme mit der Haltbarkeit und Funktion, die zu Einschränkung der Nutzung führten.

## **Nutzung**

Neben der Nutzung zur Brauchwassererwärmung finden solarthermische Anlagen Verwendung zur Raumheizung, zur Kühlung, zur Erzeugung von industrieller Prozesswärme und bei der großtechnischen Stromerzeugung. Bei der Raumheizung ist zu berücksichtigen, dass Heizwärmebedarf vor allem zu Zeiten schwacher Sonnenstrahlung ansteht. Die Kollektoren müssen dazu entsprechend groß gewählt werden, was zu nicht nutzbaren Überschüssen in der sonnenreichen Zeit führt. Bei der solarthermischen Kühlung über Absorptionsanlagen passen Angebot und Bedarf besser. Sie ist aber größeren Anlagen vorbehalten, ebenso wie die industrielle Wärmeerzeugung (Brauereien, Molkereien, Kraftwerke). Großanlagen nutzen überwiegend konzentrierende Kollektoren (Parabolrinnen, -schüsseln) und entstehen daher vorwiegend in Regionen mit hohem Direktstrahlungsanteil. Eine besondere produktive Nutzung der Sonnenwärme ist die Trocknung landwirtschaftlicher Produkte (Obst, Gemüse) zur Haltbarmachung, auch von Holz und anderen Baumaterialien.

## **Auslegung**

Bei der Dimensionierung thermischer Anlagen bezieht man sich zunächst auf den Wärmebedarf zu einer gewünschten Zeit.

Ein Haushalt mit 5 Personen verbraucht etwa 150 Liter Wasser täglich, die um 30 Grad zu erwärmen sind. Das entspricht 5,23 kWh Wärmebedarf ( $150 \times 30 \times 1,163 \text{ Wh/kgK}$ ). Ein Solarkollektor kann an einem Frühlingstag mit 3 kWh/m<sup>2</sup> Globalstrahlung bei 50 % Wirkungsgrad knapp 1,5 kWh/m<sup>2</sup> aufnehmen, es sind danach 3,5 m<sup>2</sup> erforderlich, den Wärmebedarf zu decken.

Im Sommer ergeben sich damit Überschüsse, die leider nicht verwertet werden können, im Winter wird dagegen nachgeheizt, denn die Deckung wird nicht erreicht. Der Deckungsgrad ist daher die bedeutendere Auslegungsgröße. Anhaltswerte in Deutschland liegen bei 20% für die solare Raumheizung, 60% für die Brauchwasserwärme. In Zonen mit ausgeglichenerem Soalrprofil ist bessere Deckung möglich. Praktisch werden solarthermische Anlagen gern einfach überdimensioniert und so viel Wärme verbraucht wie verfügbar ist. In Deutschland werden 2 m<sup>2</sup> pro Person empfohlen, in Südeuropa arbeitet man mit der Hälfte.

Auslegungsprogramme erleichtern es, die günstigste Konfiguration von Verbrauch und Kollektor zu finden. Kommerzielle Programme (zB T\*SOL, f-chart) liefern komfortablere Analysen als kostenlose Programme (GetSolar, Greenius, Homer)

Für den Markt die größte Bedeutung haben Flachkollektoren, die relativ günstig zu produzieren sind. Zur Qualitätssicherung wurde international der „solar keymark“ eingeführt, die Zertifizierung ist aber freiwillig. Zunehmend verdrängt werden einheimische Kollektoren von günstigen Röhrenkollektoren aus Fernost. Sie bringen gute Ergebnisse und sind einfach zu warten.

Die Kostenspanne liegt bei ca. 200 €/m<sup>2</sup> für einfache Kollektoren mit 200 kWh/m<sup>2</sup> Eintrag bis etwa 700 €/m<sup>2</sup> für gute Röhrenkollektoren mit 800 kWh/m<sup>2</sup> nominellem Jahresertrag. Die Ersparnis für 200 kWh sind etwa 40 € Strom (zu 0,20 €/kWh) oder 18 € Heizöl (zu 0,90 €/Ltr) Damit amortisieren sich Solarkollektoren gegenüber Elektroboilern in kurzer Zeit, gegenüber Ölbrennern nach über 10 Jahren.

Die Wirtschaftlichkeit von Sonnenwärme ist ein wichtiges Argument, die Unabhängigkeit und relativ einfache Ersparnis von Ölimporten wiegen ebenso. Gern werden daher staatliche Anreize für Solarkollektoren geschaffen, meist auf der Basis der installierten Quadratmeter.

### Photovoltaische Anlagen

PV Systeme produzieren elektrischen Strom direkt aus Licht. Sie haben eine sehr lange Lebensdauer und sind grundsätzlich sehr robust, was sie für abgelegene Orte geeignet macht. Im Unterschied zu anderen erneuerbaren Energieträgern wie Wind und Wasser kann Sonnenstrom an fast jedem Ort produziert werden. Die Bedeutung von PV Anlagen liegt daher in der Elektrifizierung, besonders in abgelegenen Gebieten, aber zunehmend auch in der Netzversorgung.

Solarelektrische Generatoren bestehen im Grundsatz aus Solarzellen, das sind Halbleiterscheiben die einen elektrischen Strom abgeben, wenn sie dem Licht zugewandt sind. Der Strom ist dabei überwiegend abhängig von der Zellengröße und der Bestrahlungsstärke, die Spannung von der Temperatur.

Praktische Wirkungsgrade der Umsetzung in Endenergie erreichen 15% und sind besser bei niedrigen Anlagentemperaturen. PV Anlagen sollen daher nicht thermisch isoliert, sondern gut belüftet sein.

Die Mehrheit der Solarzellen besteht aus dem Halbleitermaterial Silizium, das in Formen gegossen und in sehr dünne Scheiben gesägt wird. Man spricht von kristallinem Material. Alternativ wird Silizium oder auch andere Halbleiter als dünner Film auf einem Substrat wie Glas aufgedampft. Man spricht von Dünnschichtmaterial. Grundsätzlich hat kristallines Silizium bessere Wirkungsgrade und sind Dünnschichtzellen preiswerter. Je nach Material werden andere Segmente des Strahlungsspektrums absorbiert sodass verschiedene Solarzellen je nach Anwendungsort und Kostenprofil zur Verfügung stehen. Die Solarzellenfertigung erfordert ein sehr hohes Qualitätsniveau.

Solarzellen in Serie geschaltet und wetterfest eingebettet bilden ein Solarmodul. Diese Module können zu den gewünschten Spannungen und Strömen parallel und in Serie geschaltet werden. Die Modulbauweise erlaubt den Aufbau von Solargeneratoren von weniger als 1 W bis zu vielen Megawatt Leistung. Gut gefertigte Solarzellen haben praktisch keinen Verschleiß und ihre Leistung wird allgemein über 25 Jahre garantiert. Kein anderer Stromgenerator bietet solche Garantien.

### Netzferne Anlagen (off-grid)

Solarmodule können bei einigen Anwendungen wie Pumpen, Lüfter direkt mit dem Verbraucher verbunden werden, wenn Sonnenstrahlung und Nutzung zeitlich zusammen auftreten. Die typische autonome PV Versorgung nutzt jedoch eine Speicherbatterie, um auch nachts und in Zeiten schwacher Einstrahlung Strom anzubieten.

An Solarbatterien werden besondere Anforderungen gestellt. Sie müssen mit hohem Ladewirkungsgrad auch geringe Ladeströme aufnehmen, wenig Wartung benötigen sowie geringe Selbstentladung und hohe Zyklenfestigkeit haben. Einfache Autobatterien genügen daher nicht, optimal werden offene Blei-Säure Akkus Typ OpzS eingesetzt. Im Lebenszyklus einer Solaranlage sind die Batterien die teuerste Komponente, in abgelegenen Gebieten ist auch der Ersatz problematisch.

Zur Batterieerhaltung setzt man spezielle Solar-Laderegler ein, die außerdem den Anlagenzustand überwachen und Leitungssicherungen enthalten.

Solarmodule und Batterien liefern Gleichstrom (DC) und bevorzugt sollten Gleichstromgeräte versorgt werden. Geeignet sind zB LED Leuchten und viele Audio/Video Geräte. Oft werden auch (AC)

Wechselstromgeräte mit einem kleinen eigenen Wechselrichter am DC Netz betrieben

(Energiesparlampen, Pumpen, Kühlgeräte) Alternativ kann ein gemeinsamer Wechselrichter an der Solarbatterie mehrere AC-Geräte versorgen, die dann nicht teuer einzeln umgerüstet werden müssen.

Energiesparende Haushaltsgeräte (Kühlgeräte) Bürogeräte, Werkzeuge und Maschinen lassen sich so an einer üblichen AC-Steckdose betreiben.

Je nachdem eine Gleichstromverteilung oder eine Wechselstrom-Verteilung bevorzugt wird, spricht man vom DC- oder AC-Bus. Typisch werden kleine PV Anlagen bis einige 100 W als DC Systeme, größere als AC Systeme ausgeführt.

Verbindet man mehrere Verbraucher oder Haushalte mit einem Verteilernetz, spricht man von Mini-Grids. In Mini-Grids mit AC-Bus lassen sich variabel andere PV-Generatoren oder auch Generatoren mit Strom aus Wind- und Wasserkraft integrieren. Man spricht dann von Hybrid-Systemen. Auch können solche Systeme mit Motor-Generatoren und konventionellen Stromnetzen synchronisiert werden, so dass ein Versorgungsnetz hoher Verfügbarkeit entsteht.

Bei der ländlichen Elektrifizierung werden Einzelhaus-Systeme (SolarHome Systems SHS) mit wenigen 100 W bevorzugt. Dabei werden Kosten, Wartung und Verluste von Verteilernetzen vermieden, dafür müssen die Betreiber ihre eigenen Anlagen und ihren Verbrauch kontrollieren.

Wenn aus Kostengründen nur Licht im Haushalt genügen soll, können solar geladene Leuchten verbreitet werden. Sie sind billig in der Anschaffung aber nicht sehr haltbar und können zu enttäuschten Erwartungen führen. Professionell ausgelegte Systeme werden auf lange Sicht die bessere Lösung sein.

### **Auslegung**

Die Dimensionierung autonomer Solarstromanlagen richtet sich nicht wie bei Motor-Generatoren nach dem Leistungsbedarf, sondern nach dem Energiebedarf, d.i. die Verbraucherleistung multipliziert mit der Laufzeit.

Eine Bohrmaschine mit 500 W die 2 h am Tag betrieben wird, verbraucht 1 kWh. Ein Solarmodul mit 50 Wp produziert zB 200 Wh am Tag. Es sind also 5 Module oder 250 Wp erforderlich.

Die Dimensionierung der Batterie erfolgt nach Reservezeit und Entladetiefe. Für drei Tage Reserve und 50% Entladung gilt  $C = 1 \text{ kWh} * 3 \text{ d} / 0,5 = 6 \text{ kWh}$  dh eine 12 V Batterie mit 500 Ah

Für die computergestützte Auslegung stehen kommerzielle Programme zur Verfügung (zB PV\*SOL, f-chart) sowie einige kostenlose Programme (RET-Screen, Greenius, Homer) Auch bieten Hersteller Auslegungsmodelle. Eine einfache Excel Berechnung ist hier beigefügt.

Oft werden die hohen Investitionskosten für PV Anlagen als Hemmnis genannt. Die Förderung einer off-grid Anlage zB für solare Elektrifizierung geschieht deshalb meist über eine Finanzierung, die diese Kosten auf die Lebensdauer der Komponenten streckt. Oft ist der Betrag, den ein Haushalt nun an Kerosin, Batterien oder Petroleum einspart ausreichend, um die Anlagenfinanzierung und Servicekosten zu decken. Wenn das nicht genügt, ist selbst ein staatlicher Zuschuss zu den Investitionskosten deutlich billiger als der Bau und die Dauersubvention einer ländlichen Netzversorgung. Die bessere Versorgung bei erweiterten Chancen der elektrifizierten Landbevölkerung rechtfertigen diesen Beitrag in jedem Fall.

### **Netzgekoppelte Anlagen (On-Grid)**

Der große Vorteil netzgekoppelter PV-Anlagen besteht darin, dass sie auf einen eigenen Batteriespeicher verzichten und 100% des erzeugten Stroms einspeisen. Damit ist maximale Wirtschaftlichkeit möglich.

Betrieben werden netzgekoppelte Anlagen von Stromversorgern zur Netzstützung und Brennstoffeinsparung wie auch von privaten Investoren, wenn die Einspeisung vergütet wird. Eine solche Sonnenstromanlage besteht im Prinzip nur aus den Solarmodulen und den Wechselrichtern. Optimal für die Modulmontage sind große, schattenfreie Dächer. Der Generator wird mit etwas Abstand zur Hinterlüftung über dem Dach montiert. Das alte Dach bleibt dadurch geschützt und hat weniger Regen- und Windlast. An die Montagesysteme werden hohe Anforderungen zur Wetter- und Korrosionsbeständigkeit und einer sicheren und schnellen Montage gestellt. Grossanlagen, die nicht mehr auf einem Dach Platz finden, werden als Freilandanlagen über dem Boden montiert. Dies ist günstig, verbraucht aber uU wertvolles Ackerland.

Die Wechselrichter haben die Aufgabe, den Sonnenstrom zur Einspeisung netzgerecht aufzuarbeiten, sowie die Anlage zu schützen, indem sie Gleich- und Wechselstromseite überwachen. Entscheidend für die Güte eines Wechselrichters ist es, den Arbeitspunkt des Solargenerators im Punkt maximaler Leistung zu halten (MPP tracking) Dabei erreichen manche Geräte über 98% Wirkungsgrad. Man unterscheidet galvanisch getrennte Wechselrichter mit Transformator, bei denen Solarmodule eher parallel als in Serie geschaltet werden, und trafolose Wechselrichter, die als Stringwechselrichter die Reihenschaltung vieler Module bis zu 800 V erlauben. Dünnschichtmodule erfordern meist Trafo-Wandler, kristalline Module können mit den günstigeren, effizienteren Stringwandlern arbeiten. Großanlagen können mit mehreren kleinen Wechselrichtern aufgebaut werden, die nahe an den Modulfeldern montiert sind, oder mit großen Zentral-Wechselrichtern, die eine einfachere Wartung und Kommunikation erlauben. Die Ansprüche an die Wechselrichter sind hoch, ausser günstigen Kosten müssen sie hocheffizient sein und sämtliche Sicherheitsanforderungen erfüllen, die Netzversorger an netzgebundene Einrichtungen stellen. Dazu gehören zunehmend auch die Fernsteuerbarkeit und die Versorgung mit Blindstrom. Wechselrichter sind daher die exponiertesten Komponenten eines Solargenerators haben ein Ausfallrisiko.

### **Auslegung**

Die Dimensionierung netzparalleler Solarstromanlagen richtet sich meist nicht nach dem Bedarf, sondern nach der verfügbaren Fläche, denn der gesamte produzierte Strom wird vom gemeinsamen Netz aufgenommen. Schwache Netze können auf diese Weise unterstützt werden. Insgesamt kann der PV Anteil die gesamte Versorgung bis auf die minimale (zB nächtliche) Netzlast übernehmen. Nachts und zu Zeiten schwacher Sonnenstrahlung steht kein Solarstrom zur Verfügung, in dieser Zeit müssen andere Generatoren genügend Strom anbieten.

Im Solargenerator werden die Module den Anforderungen des Wechselrichters entsprechend in Serie geschaltet. Diese „Strings“ sind dann in Gruppenkästen mit Sicherheits- und Überwachungseinrichtungen parallel geschaltet und zum Wechselrichter geführt. Dieser wandelt den solaren Gleichstrom in netzkonformen Wechselstrom und prägt ihn über weitere Sicherheitseinrichtungen dem öffentlichen Netz auf.

Solarmodule und Wechselrichter müssen zu einem maximalen Ergebnis sehr genau aufeinander abgestimmt werden. Dabei helfen Simulationsprogramme, die unter Berücksichtigung der gewählten Komponenten, der Lage und der Wetterbedingungen die Lösung mit dem maximalen Ertrag ermitteln. Meist werden hier kommerzielle Programme verwendet (zB PV\*SOL, f-chart) aber auch kostenlose Simulationen (RET-Screen, Greenius, SolEm, Homer) und Hersteller liefern hilfreiche Auslegungsmodelle.

Der typische Ertrag einer Solarstromanlage an einem Sommertag in Deutschland liegt im Mittel bei etwa 5 kWh/kWp, etwa der gleiche Wert wie in der Äquatorzone. Dieser wird in den sonnenreichen Zonen allerdings häufiger und regelmässiger erreicht, und so erntet eine Anlage in Süddeutschland jährlich etwa 1000 kWh/kWp, im südlichen Afrika aber über 2000 kWh/kWp.

Die Kosten dieser Anlagen liegen derzeit bei 2000-4000 €/kWp je nach Größe und Modultyp.

Damit werden über 30 Jahre in sonnenreicher Region Gestehungskosten von 0,033 €/kWh möglich.

Das entspricht also heute schon dem Wert von gewöhnlichem Netzstrom (grid parity). Und während konventioneller Netzstrom sicher weiter teurer wird, hat Solarstrom die klare Perspektive weiterer Kostensenkung.

Oft werden heute die hohen Investitionskosten für PV Anlagen als Hemmnis genannt. Die Förderung von Solarstromanlagen geschieht deshalb am effektivsten über kostenorientierte Einspeise-Vergütungen. So werden private Investoren die Finanzierung aufbringen und gleichzeitig die Stromerzeugung dezentralisieren. Die Einspeisevergütung kann vom Versorgungsbetrieb aufgebracht werden, muss aber in der Höhe und Dauer gesetzlich festgelegt sein, damit der Investor die erforderliche Planungssicherheit erkennt.