

**Zeitschrift:** Landtechnik Schweiz  
**Herausgeber:** Landtechnik Schweiz  
**Band:** 74 (2012)  
**Heft:** 5

**Artikel:** Wechselrichter sind das Herz der Solaranlage  
**Autor:** Hunger, Ruedi  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1082358>

#### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 04.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**



Wenn die Sonnenbestrahlung aller Module gleichmässig ist, kann ein einziger Wechselrichter eingesetzt werden. Bei unterschiedlicher Dachneigung empfiehlt es sich, für die jeweiligen Modulflächen separate Wechselrichter zu nutzen. (Bilder: Ruedi Hunger)

# Wechselrichter sind das Herz der Solaranlage

Wechselrichter wandeln den Gleichstrom aus den Solarmodulen in netzkompatiblen Wechselstrom um. Sie regeln den Strom, die Stromspannung und überwachen den Netzanschluss.

Ruedi Hunger

Die Umwandlung von Sonnenenergie in Elektrizität erfolgt auf rein elektronischem Weg; das heisst, es sind keine mechanischen, thermischen oder chemischen Zwischenstufen notwendig. Ort des Geschehens ist die Solarzelle. Aufgrund ihrer Konstruktion wird in der Solarzelle Strom produziert.

## Grosse diffuse Strahlung

Ein Grundproblem der Photovoltaik (PV) sind die zeitlichen Unterschiede der Sonnenstrahlung infolge des Wechsels von Tag und Nacht, von Sonnenschein und Regen und von Sommer und Winter. Photovoltaikanlagen können nicht nur die direkte Sonnenstrahlung nutzen, sondern auch die diffuse Strahlung kann in Ener-

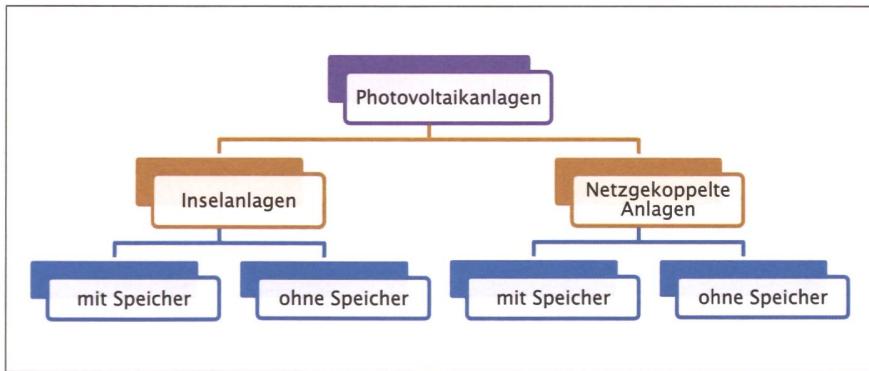
gie umgesetzt werden. Messungen zeigen, dass im schweizerischen Mittelland der Anteil an diffuser Strahlung bei rund 50 Prozent der Gesamtstrahlung liegt. Wegen der zeitlichen Variation der Sonnenstrahlung kann der in Photovoltaikanlagen erzeugte Strom meistens nicht direkt einer Last zugeführt werden, sondern muss in geeigneter Form aufbereitet oder gespeichert werden.

## Anforderungen an Wechselrichter für Netzverbundanlagen:

- Absolut synchroner Betrieb mit dem Verbundnetz. Wechselstromquelle: Die Frequenz wird durch das Netz bestimmt
- Automatisches Aufstarten und Synchronisieren (z.B. am Morgen), Ab-

## Definitionen

- Eine Inselanlage ist eine Stromversorgungsanlage, die einen oder mehrere Verbraucher unabhängig von einem Stromnetz mit Energie versorgt (Beispiele: Uhren, Taschenrechner). Für Verbraucher, die auf eine dauernde Stromversorgung angewiesen sind, ist ein Energiespeicher (üblicherweise Akkumulatoren) notwendig. Ein Akku verteilt die Stromkosten um etwa 1 Fr./kWh.
- Netzgekoppelte Photovoltaikanlagen speisen den in der PV-Anlage produzierten Solarstrom mithilfe eines Wechselrichters in ein ausgebautes öffentliches Stromnetz. Damit können Speicher Kosten eingespart werden.



Grafik 1: Einteilung von Photovoltaikanlagen nach ihrem Aufbauprinzip

- schalten bei zu geringer Einstrahlung
- Anlauf nur mit vorhandenem Netz möglich (kein Inselbetrieb)
- Keine Gleichstromeinspeisung ins Netz
- Hoher Wirkungsgrad auch im Teillastbereich
- Geringe Leerlaufverluste
- Speisung der Steuerelektronik von der Gleichstromseite
- Hohe Zuverlässigkeit, Lebensdauer im Bereich üblicher Grosshaushaltgeräte (15 bis 20 Jahre)
- Einwandfreie Maximalsteuerung über einen weiten Leistungsbereich
- Schutz gegen Überspannung auf Gleich- und Wechselstromseite
- Immunität gegen Netzkommmandos im Bereich 110 Hz – 2 Hz (Rundsteuersignale)
- Geringe Blindleistungsaufnahme aus dem Netz
- Möglichst sinusförmige Stromkurvenform
- Keine Störungen benachbarter elektronischer Geräte (z.B. Radio)
- Isolationsüberwachung des Solargenerators

### Wechselrichterarten

Für den Anlagebetreiber sind der Wirkungsgrad der Module und die Qualität des Wechselrichters zwei ertragsbestimmende Faktoren. Wechselrichter unterscheiden sich in drei Gruppen, es sind dies:

- **String- und Multistringwechselrichter:** Stringwechselrichter sind meistens einphasige Geräte, die dazu dienen, den Strom von einem oder wenigen Modulträgern ins Netz einzuspeisen. Im Gegensatz dazu sind Multistringgeräte für mehrere Stränge geeignet. Sie sind mit mehr als einem MPP-Tracker (MPP= Maximum Power Point; Punkt im Spannungsdiagramm einer Solarzelle, an dem die grösste Leistung entnommen werden kann) ausgerüstet und daher in der Lage, auch Strom von unterschiedlichen Modulsträngen auszugleichen einzuspeisen

(Grösse, Bestrahlungsstärke, Temperatur, Solarzellentyp).

- **Zentralwechselrichter:** Sind relativ gross und werden ab einer Leistung von 100 kWp eingesetzt.
- **Modulwechselrichter:** Wie der Name schon verrät, sind Modulwechselrichter direkt am Solarmodul angebracht. Sie weisen einen tieferen Wirkungsgrad aus als Stringwechselrichter. Modulwechselrichter konnten sich daher bisher nicht grossflächig durchsetzen.

### Schaltungstechnik in Wechselrichter

Diesbezüglich wird zwischen Geräten mit Trafo und trafolosen Geräten unterschieden. Der Transformator der ersten Gerätengruppe hat eine galvanische Trennung zwischen Gleich- und Wechselspannungsseite zu übernehmen. Diese Geräte können geerdet werden; dies bedeutet, dass keine freischwebenden Potenziale in der Anlage bestehen. Ein Trafo verursacht etwas höhere Kosten und reduziert den Gerätewirkungsgrad um circa zwei bis drei Prozent. Bisher war die Sicherheit von Wechselrichtern mit Trafo höher eingestuft.

Im Moment liegen aber trafolose Geräte im Trend. Ihre Sicherheit wurde durch verschiedene Massnahmen, wie eine Erdanschlussüberwachung oder die laufende Überwachung des Ableitstromes durch einen Fehlerstrom-Schutzschalter (AFI), verbessert.

### Eignung der Wechselrichter zum Modul

In Deutschland hat das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE die Eignung der verschiedenen Wechselrichter für jede Modulsorte geprüft. Laut ISE besteht zwischen konventionellen kristallinen Modulen kein Zusammenhang zwischen einer Degradation (siehe Tabelle) und dem verwendeten Wechselrichter. Bei neuen kristallinen und modernen Dünnschichtmodu-

Mit ihren multifunktionalen Fähigkeiten innerhalb der PV-Anlage können Wechselrichter als Herz der Anlage angesprochen werden. ▼



len können Probleme auftreten. Es ist daher mit dem Modulhersteller beziehungsweise dem Wechselrichteranbieter abzuklären, ob die beiden Bauteile optimal zusammenpassen. Die Dachneigung, der Aufstandswinkel der Module sowie die Anlageleistung sind wesentliche Kriterien für die Auslegung des Wechselrichters. Bei gleichmässiger Sonnenbestrahlung aller Module kann ein einziger Wechselrichter eingesetzt werden. Wenn aber die Module unterschiedlich auf den Dachflächen angebracht sind, empfiehlt es sich, für die jeweiligen Dach- bzw. Modulflächen separate Wechselrichter einzurichten.

### Besonderheiten beachten

Die Umweltbedingungen für Wechselrichter in der Landwirtschaft unterscheiden sich oft von anderen Standorten. Das Konzept der Wechselrichterkühlung ist von der Staubbelastung der unmittelbaren Umgebung abhängig. In verstaubter Umgebung ist unter Umständen von einer Lüfterkühlung abzusehen. Weiter sind die Standortfeuchtigkeit und die Ammoniakbelastung Kriterien, die vor einem Kauf abgeklärt werden sollen.

### Herausforderungen im Mittelspannungsnetz

Für das europäische Verbundnetz, insbesondere im deutschen Stromnetz, hat die grosse Anzahl der installierten Anlagen für erneuerbare Energien einen Einfluss auf die Netzstabilität. Im Normalbetrieb



**Beispiel einer Inselanlage mit Energiespeicher: Viehhüteapparat mit Solarpanel und Speicherakku. Die Kosten für den Akkumulator machen bis 40% der Investitionskosten aus (periodischer Ersatz notwendig).**



**Derselbe Viehhüteapparat von vorne.**

weist die Netzfrequenz 50,2 Hertz auf. Frequenzschwankungen werden von elektronischen Strombezügern schlecht ertragen. Daher ist es einleuchtend, dass heute eine stabile Netzfrequenz von grosser Bedeutung ist. Wechselrichter waren schon bisher so ausgelegt, dass sie sich bei Überschreitung einer Leistungslinie vom Netz abkoppeln. Theoretisch kann es mit einer wachsenden Anzahl Solaranlagen an sehr sonnigen Tagen (wolkenloses Wetter über weiten Teilen Europas) dann zu gravierenden Netzschwankungen kommen, wenn eine grosse Anzahl Anlagen gleichzeitig vom Netz geht. Daher schreibt in Deutschland die sogenannte «Mittelspannungsrichtlinie» seit dem 1.1.2009 und seit dem 1.4.2011 verbindlich vor, dass bei Anlagen mit über 10 kWp eine sanfte Trennung vom Netz möglich sein muss. Neue Geräte sind bereits entsprechend ausgerüstet, so auch die SolarMax-

Wechselrichter des Schweizer Herstellers Sputnik Engineering AG in Biel. Bereits installierte Geräte können nachgerüstet werden. Diese Technik trennt die Anlage im Moment einer Überfrequenz «sanft» vom Netz. Die Leistungsreduktion erfolgt zwischen 50,2 und 51,5 Hz. Eine erneute Zuschaltung erfolgt bei 50,05 Hz. Generell wird dieser Zustand sehr selten vorkommen. In der Schweiz sind derzeit noch keine entsprechenden Vorehrungen notwendig.

#### **Dynamische Netzunterstützung**

Kommt es zu kurzzeitigen Netzunterbrüchen, muss der Wechselrichter diese als solche erkennen und überbrücken. Er darf sich nicht vom Netz trennen. Im Fachjargon wird dieses Verhalten eines

Wechselrichters auch Fault-Ride-Through FRT, genannt. FRT-Technologie ist für Niederspannungsnetze keine Notwendigkeit.

#### **Herausforderungen im Niederspannungsnetz**

Nach einer Übergangsfrist bis am 31. Dezember 2011 gelten seit dem 1. Januar 2012 im Deutschen Stromnetz vergleichbare Richtlinien wie im Mittelspannungsnetz. Der grösste Unterschied besteht darin, dass die Notwendigkeit einer dynamischen Netzstützung (FRT) wegfällt. Der Befehl zur Reduktion einer produzierenden PV-Anlage wird gegenwärtig über ein Funk-Rundsteuersignal vom Netzbetreiber zu den einzelnen PV-Anlagen übertragen. Ein entsprechendes Empfangsgerät setzt die Signale wieder in digitale Signale um, diese werden in Form von Relaiskontakten zur Schaltung eingesetzt.

#### **Zusammenfassung**

Eine zunehmende Anzahl Solaranlagen produziert Strom. Im Wechselspiel von Wolken und Sonne wird unterschiedlich viel Strom produziert. Bei einer kleinen Anzahl Solaranlagen spielte diese Wechselwirkung noch keine Rolle. Die zu erwartenden Frequenzschwankungen können dank Funktionserweiterungen bei Wechselrichtern aufgefangen werden. Aufgrund ihrer technischen Fähigkeiten können Wechselrichter wahrlich als Herz einer PV-Anlage bezeichnet werden.

Literatur: [1] HÄBERLIN; Photovoltaik, Verlag electrosuisse; ART-Bericht 694/2008 ■

<b>Solarstromertrag</b>	<b>Gewonnene elektrische Energie</b>
SA: Strahlungsangebot	Eingestrahlte Sonnenenergie respektive Licht; abhängig unter anderem vom geografischen Standort, von der Witterung, von der Ausrichtung der Fläche und von der Beschattung
AF: Ausrichtungsfaktor	Wert der Abweichung von der optimalen Ausrichtung; optimale Ausrichtung (gekürzt)
WG: Modulwirkungsgrad %	Umwandlungsfähigkeit des Moduls. Wirkungsgrad = elektrische Leistung/Strahlungsangebot
SV: Systemverlust %	Verlust primär durch Temperatureinfluss, Wirkungsgrad des Wechselrichters, Kabel und Strahlungsreflexion
D: Degradation	Rückgang des Wirkungsgrades der Solarmodule (zum Beispiel durch zunehmendes Alter)
Temperatureinfluss	Mit steigender Zellentemperatur verringert sich die Leistung; eine Montageart mit Hinterlüftung vermindert die Erwärmung
Wirkungsgrad des Wechselrichters und Verluste durch Kabel	Umwandlungsfähigkeit des Wechselrichters von Gleichstrom in netzkonformen Wechselstrom sowie Kabelwiderstand
Reflexion	Verlust durch Reflektieren der Strahlung am Modul

# Lassen Sie sich vom Wetter nicht um den Lohn Ihrer Arbeit bringen.

Wir unterstützen Sie in Ihrem Risikomanagement mit einer umfassenden Deckung gegen Wetterrisiken.

2012

3%

Rückvergütung  
Ristourne  
Ristorno



Postfach, 8021 Zürich  
Tel.: 044 257 22 11  
Fax: 044 257 22 12  
info@hagel.ch  
www.hagel.ch



*Schweizer Hagel  
Suisse Grêle  
Assicurazione Grandine*

IM DIENST DER LANDWIRTSCHAFT

## > PRODUKTE UND ANGEBOTE PUBLITEXT

### Sie sind der Profi – wir haben den geeigneten Traktoranhänger für Sie

Sicherheit, Arbeitserleichterung und Zufriedenheit sind uns ein grosses Anliegen. Mit grossem Erfolg konnten wir in den letzten Jahren den Allzweckanhänger Typ Müller verkaufen. Die Ansprüche wachsen stetig und somit auch die Anforderungen an den Anhänger. Fast kein Anhänger gleicht dem anderen, da die Anhänger speziell nach den jeweiligen Kundenwünschen angefertigt werden. Somit besteht ein hoher Kundennutzen. Korrekt nach den gesetzlichen Anforderungen berechnete Achsdimensionen, Trommelgrössen, die richtige Bremslast, abgestimmt auf das Gesamtgewicht, ist für die Sicherheit ein absolutes Muss. Der Allzweckanhänger Typ Müller zeichnet sich durch die geringe Ladehöhe und dank der Zwillingsbereifung durch einen ruhigen Lauf aus. Seine vielseitige Einsatzmöglichkeit erleichtert Ihre Arbeit enorm und spart kostbare Zeit. Durch die praktische Kippbrücke wird das Beladen und Entladen des Anhängers zum Kinderspiel. Die Zwillingsbereifung weist eine hohe Tragkraft auf, und die gefederten Tandem-Schnellläu-



ferachsen erlauben eine absolut sichere Fahrweise. Der Anhänger Typ Müller ist serienmäßig mit hydraulischen Bremsen oder Luftdruckbremsen, einer Fest-

stellbremse sowie einem hydraulischen Stützfuss ausgerüstet, was optimale Sicherheit gewährleistet. Mit seiner Breite von 2,55 m und seiner Länge von 5,00 m bis 8,00 m weist der Anhänger ideale Masse auf. Natürlich können auf Wunsch auch andere Modelle und Masse geliefert werden. Den Möglichkeiten sind fast keine Grenzen gesetzt. Haben wir Ihr Interesse geweckt? Für weitere Auskünfte sind wir gerne für Sie da.

**Jürg Müller AG**  
Landmaschinen  
5078 Effingen  
Tel. 062 876 10 16  
[www.mueller-landmaschinen.ch](http://www.mueller-landmaschinen.ch)

Hohe Erträge und Rentabilität erzeuge ich nur mit Qualität.

**KUHN, das ist meine Stärke!**

0798u/GC-EU-CH-DE - Foto: D. Roussetot

Im Ackerbau sind Sie ständigen Veränderungen ausgesetzt. Standortfaktoren, schwankende Erzeugerpreise, Termindruck und die Wahl der richtigen Produktionstechnik sind immer wieder miteinander in Einklang zu bringen. Da ist es wichtig, dass Sie sich bei Ihren Maschinen auf einen Ackerbauspezialisten verlassen können. Ob in der Bodenbearbeitung, der Sätechnik, im Pflanzenschutz oder beim Häckseln und Mulchen – KUHN bietet Ihnen innovative Lösungen, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit. Dabei spielt es keine Rolle, welche Produkte Sie erzeugen, auf welchen Böden Sie arbeiten und wie groß Ihr Betrieb ist. Wenn es Sie interessiert, wie die Produkte und Dienstleistungen von KUHN Ihre Wettbewerbsfähigkeit stärken können, wenden Sie sich bitte an Ihren KUHN-Vertriebspartner oder an:

**KUHN Center Schweiz, 8166 Niederweningen**  
Telefon +41 44 857 28 00 • Fax +41 44 857 28 08  
[www.kuhncenterschweiz.ch](http://www.kuhncenterschweiz.ch)

**Interessante Säkombi-Angebote!  
Fragen Sie Ihren Kuhn-Händler**

Pflanzenbau | Tierhaltung | Landschaftspflege

**be strong, be KUHN**