

# Baubiologische Bewertung von Photovoltaik-Anlagen (Solarstrom-Anlagen)

von Arthur Düser

Die Zahl der Photovoltaikanlagen zur Erzeugung von Strom aus dem Sonnenlicht hat in den letzten Jahren einen enormen Aufschwung genommen. Ökonomisch stellen diese Anlagen ein Rechenexempel dar, während das ökologische Bewußtsein durch angebotene Fördermaßnahmen und Subventionen zunimmt. Aber wie sieht es mit der baubiologischen Bewertung aus? Ist der produzierte Strom so sauber wie das Sonnenlicht und entspricht er baubiologischen Kriterien? Schließlich verbirgt sich in einer Photovoltaik-Anlage eine Menge Technik, und die ist nicht immer so innovativ, wie sie sein könnte. Im Folgenden wird dargestellt, ob Photovoltaik-Anlagen Felder und Strahlen verursachen, allgemein als Elektrosmog bekannt, von dem die Industrie nur allzugerne behauptet, er wäre gesundheitlich nicht relevant.

Betrachten wir zunächst einmal, welche Felder und Strahlen theoretisch von den Komponenten einer Photovoltaik-Anlage abgestrahlt werden können.

Die Anlage besteht aus den Komponenten:

1. Die Solar-Module z.B.auf dem Dach
2. Die Kabelverbindungen zwischen den einzelnen Modulen
3. Das Ableitungskabel von den Modulen zum Wechselrichter
4. Der Wechselrichter (meist im Keller oder Energieraum )
5. Die übrige vorhandene Elektroinstallation des Hauses.

## **Folgende Felder und Strahlungen können theoretisch entstehen:**

### 1.Die Solar-Module

Die Solar-Module erzeugen einen Gleichstrom, folglich können die Module von einem magnetischem Gleichfeld umgeben sein. Ist der von dem Wechselrichter entnommene Gleichstrom nicht konstant, sondern pulsierend (Ripple), sind die Module zusätzlich von einem magnetischen Wechselfeld umgeben. Je nach Wechselrichtertyp (ohne galvanische Trennung) können die Module eine Wechselspannung mit der Frequenz 50 Hz oder 100 Hz und/oder 16kHz mit Oberwellen bis in den Langwellenbereich hinein führen. Damit sind die Module dann von einem elektrischen Wechselfeld mit der entsprechenden Frequenz umgeben.

### 2. Die Verbindungsleitungen

Die Module sind meist bis zu einer bestimmten Anzahl in Reihe geschaltet, die Verbindungen zwischen den Modulen führen den gleichen Strom wie die Module, entsprechend sind auch diese Verbindungen von einem magnetischen Gleichfeld und einem eventuellen geringen magnetischen Wechselfeld umgeben. Wie bei den Modulen sind elektrische Wechselfelder je nach Wechselrichtertyp möglich.

### 3. Das Ableitungskabel

Das Ableitungskabel von den Modulen zum Wechselrichter führt den erzeugten Gleichstrom mit einer eventuellen Wechselstromkomponente, ist also auch von einem magnetischen Gleichfeld mit einer eventuellen Anteil an einem magnetischen Wechselfeld umgeben. Bei einer Reihenschaltung der Module beträgt die Spannung auf dem Ableitungskabel bis über 600 Volt, es kann somit zusätzlich ein elektrisches Gleichfeld entstehen. Auch das Ableitungskabel kann ein elektrisches Wechselfeld verursachen, je nach Wechselrichtertyp.

### 4. Der Wechselrichter

Der Wechselrichter formt die von den Solar-Modulen abgegebene Gleichspannung in eine Sinus-Wechselspannung von 230 Volt mit einer Frequenz von 50 Hz um, entsprechend der Spannung aus der Hausstromversorgung. Je höher der von Modulen zugeführte Gleichstrom ist, desto höher ist der abgegebene Wechselstrom.

Vereinfacht beschrieben, wird die Gleichspannung pro Sekunde in ca. 16.000 Teile zerhackt und aus diesen Teilen die sinusförmige Wechselspannung zusammengesetzt. Da die Ausgangswechselspannung noch Anteile dieser getakteten Gleichspannung enthält, ist die abgegebene Wechselspannung nicht perfekt sinusförmig mit einer Frequenz von 50 Hertz, sondern von Störungen überlagert.

Durch diese Technik können von einem Wechselrichter folgende Felder und Strahlungen abgegeben werden:

- magnetische Wechselfelder mit der Frequenz von 50Hz
- magnetische Wechselfelder mit der Frequenz von ca. 16 kHz und Oberwellen
- Störspannungen am Ausgang (Netzseite) mit der Frequenz von ca. 16 kHz und Oberwellen bis über 100 kHz. Die Folge ist ein sogenanntes "Dirty Power".
- Bei Wechselrichtern ohne Trafo (ohne galvanische Trennung) können auf der Eingangsseite (Zuleitung zu den Solarmodulen) Spannungen mit einer Frequenz von 50 Hz/100Hz und mit 16 kHz und deren Oberwellen hinzukommen.

Bei den Wechselrichtern unterscheidet man verschiedene Schaltungsvarianten. Ein wesentliches Merkmal ist eine galvanische Trennung zwischen Ein- und Ausgang (Trafogeräte) und die Möglichkeit, einen Pol des Eingangs (Modulanschluß) zu erden (Verbindung mit N bzw. PE). Diese Erdung ist bei Trafogeräten meist immer möglich, bei traflosen Geräten ist bei bestimmten Ausführungen eine Verbindung mit N vorhanden. Ist eine Erdung nicht gegeben, kann der Eingang des Wechselrichters und damit auch die Module mit einer Wechselspannung von 50Hz, 100Hz und/oder 16kHz und Oberwellen beaufschlagt sein.

Eine Erdung eines Modul-Pols (meist der negative) hat zudem den Vorteil, die sogenannte potentialinduzierte Degradation (PID) zu verhindern, die einen vorzeitigen drastischen Leistungsabfall bestimmter Module zur Folge haben kann.

Da der Wechselrichter ein abgeschaltetes Stromnetz erkennen muß (Vermeidung eines Inselbetriebs), wird die Impedanz des Netzes gemessen, indem z.B. im Sekundentakt ein hoher Stromimpuls auf das Netz gegeben wird. Dies bedeutet eine zusätzliche gepulste Störung und damit eine Erhöhung der Elektromogbelastung.

Zu beachten ist auch die Geräusentwicklung der Wechselrichter. Je nach Fabrikat und Typ kann es zu Brummtönen oder hohen Pfeiftönen (die aber meist nur von Hund, Katze oder den Hausmäusen wahrgenommen werden und sie in die Flucht treibt) kommen. Kühlgebläse (nicht in allen Fabrikaten) stellen ebenfalls oft ein Geräusch-Problem dar.

Manche Wechselrichter sind mit einer Bluetooth-Schnittstelle ausgerüstet, um Betriebsdaten an einen PC zu senden. Dies stellt eine Belastung durch Hochfrequenz dar.

## 5. Die Hausstrominstallation

Der vom Wechselrichter erzeugte Wechselstrom wird über einen Zähler in das Netz des EVU eingespeist. Dadurch werden auch die vom Wechselrichter produzierten Störspannungen in das Hausstromnetz übertragen und können somit zu einer Belastung durch elektrische Wechselfelder (hoher Frequenz) in den Räumen (und auch in den Nachbarhäusern) führen.

### Soweit die Theorie.

#### Wie sieht es in der Praxis tatsächlich aus?

Anhand der Meßwerte, die bei der Überprüfung einer 3 mal 3,5 kVA Anlage aufgenommen wurden, sind nachfolgend die Störfelder beschrieben, die aus baubiologischer Sicht eine relevante Größe darstellen. Gleichzeitig sind Maßnahmen aufgeführt, wie sich diese Felder und Strahlungen reduzieren lassen.

#### 1.+ 2. Die Module und die Verbindungsleitungen:

Je nach installierter Leistung können die magnetischen Gleichfelder bis zu einer

Entfernung von 1 bis 3 Meter Werte erreichen, die aus baubiologischer Sicht nicht unbedeutend sind, jedoch in den meisten Anwendungsfällen kein größeres Problem darstellen. Falls ein Aufenthaltsbereich (mit länger dauerndem Aufenthalt) innerhalb dieser Distanz liegt, sollte durch eine geeignete Anordnung und Zusammenschaltung der Module eine weitgehende Kompensation der Magnetfelder erreicht werden. Abschirmen lassen sich Magnetfelder nicht bzw. nur mit einem untragbar hohen Aufwand.

Bei bestimmten traflosen Wechselrichtern können die Module nieder-und hochfrequente Wechselfelder führen, die auf Ober-und Unterseite elektrische Wechselfelder zur Folge haben. In diesen Fällen ist eine Abschirmung gegen elektrische Wechselfelder zwischen den Modulen und dem Aufenthaltsbereich anzudenken.

Magnetische Wechselfelder durch den Ripple des entnommenen Gleichstroms sind in den meisten Fällen unbedeutend.

### 3. Das Ableitungskabel

Sofern die beiden Adern des Hin-und Rückleiters nahe ( $< 5\text{cm}$ ) zusammengeführt sind, sollten die magnetischen und elektrischen Gleichfelder keine Rolle spielen. Elektrische Wechselfelder können jedoch eine relevante Größe annehmen, wenn der Wechselrichter diese auf der Eingangsseite abgibt. Gegebenenfalls ist das Ableitungskabel abzuschirmen, hier bietet sich eine Verlegung in einem Metall-Wellschlauch an.

### 4. Der Wechselrichter

Die vom Wechselrichter produzierten magnetischen Wechselfelder können in 50 cm Abstand zum Gehäuse Werte von über 2000 nT aufweisen. In einer Entfernung von über 2 Meter kann von geringen Meßwerten ausgegangen werden, die aus baubiologischer Sicht nicht mehr relevant sind. Da diese Felder nicht durch Mauerwerk ö.ä. abgeschirmt werden, sollte sich ein Aufenthaltsbereich in einem Abstand von mindestens 2 Metern auch nicht hinter der Montagewand befinden. (Da kann die stolze Schilderung eines Energieberaters, er hätte die Wechselrichter im Wohnzimmer montiert, nur ungläubiges Kopfschütteln hervorrufen) Das größte Problem stellen die Störspannungen auf der Ausgangsseite des Wechselrichters dar. Diese Störspannungen werden als Klirrfaktor beschrieben und durch VDE bzw. EN-Normen begrenzt. Leider völlig unzureichend aus baubiologischer Sicht. Diese Störspannungen können Werte von mehreren Volt bei ca 16 kHz aufweisen, die Oberwellen erreichen Frequenzen bis über 100 kHz, so auch der betrachteten Anlage.

Die Höhe dieser Störspannungen ist nicht unbedingt von der Leistung des Wechselrichters abhängig, sie kann daher auch bei kleinen Anlagen und bei geringer Sonneneinstrahlung relevant sein. Bei der untersuchten Anlage war ein trafloser Wechselrichter eingesetzt, eine Erdung der Module lag ebenfalls nicht vor. Die Folge waren aus baubiologischer Sicht nicht tragbare elektrische Wechselfelder im Bereich der Module.

### 5. Die Hausinstallation

Die vom Wechselrichter abgegebenen Störspannungen mit einer Frequenz von 16 kHz und deren Oberwellen bis über 100 kHz (Langwellenbereich) betragen mehrere Volt. Diese Spannungen waren in der gesamten Hausstrominstallation zwischen den Phasen und Nulleiter bzw. Schutzleiter zu messen. Eine geringere Spannung trat zwischen Nulleiter und Schutzleiter auf. In der Elektrobiologie wird die Körperstromdichte im Menschen, verursacht durch elektrischen Wechselfelder, bewertet. Gegenüber der ohnehin vorhandenen Belastung durch die spannungsführende (230 V/50Hz) Elektro-Installation erhöhte sich die Körperstromdichte durch den Betrieb der Photovoltaik-Anlage auf das etwa 10 fache. Dies ist mehr oder weniger bei allen Wechselrichtertypen der Fall.

## **Zusammenfassung: Technik nach baubiologischen Grundsätzen**

Soll die Anlage streng nach baubiologischen Grundsätzen errichtet werden oder wird die Anlage in sensiblen Bereichen wie z.B. Wohnhäusern und insbesondere Schulen oder Kindergärten etc. installiert, sind folgende Maßnahmen anzuraten, die über die ausschließliche Funktionalität hinausgehen:

- Bei der Planung der Anlage sind in erster Linie der Typ des Wechselrichters in Bezug auf galvanischer Trennung (also mit Trafo) zwischen Ein- und Ausgang und Höhe der Störspannungen am Ein- und Ausgang auszuwählen. Ein Pol des Eingangs soll sich niederohmig erden lassen. Diese Faktoren sollten vor dem Kauf abgefragt werden und sind als baubiologisches Qualitätsmerkmal anzusehen. Weiterhin ist der Montageort des Wechselrichters genau zu überlegen.

- Die Anordnung der Module und der Verbindungsleitungen ist zu optimieren, um die magnetischen Gleichfelder weitgehend zu kompensieren. Bei einer Erdung eines Pols der Module ist eine Abschirmung gegenüber einem Aufenthaltsraum nicht erforderlich.

- Werden Räume zu den Betriebszeiten\* einer sich in der Nähe befindlichen Photovoltaik-Anlage genutzt, ist eine konsequente Abschirmung der gesamten Elektroinstallation dringend anzuraten. Dies wird meistens nur bei Neubauten möglich sein. \*(d.h. bei Lichteinstrahlung. Die üblichen Anlagen schalten sich bei Dunkelheit ab und produzieren damit keinen Elektrosmog mehr.)

Weiterhin ist ein sogenanntes TT-Netz anzuraten.

Es darf aber nicht übersehen werden, daß auch bei einer baubiologisch optimierten Installation die Nachbarn weiter von dem ins Netz eingespeistem Dirty Power und damit einer erhöhten Elektrosmogbelastung betroffen sind, da sich die vom Wechselrichter abgegebenen Störspannungen über das Stromnetz verteilen – allerdings abnehmend mit zunehmender Distanz. Ein "Sicherheitsabstand" kann nicht benannt werden, da dieser von zu vielen Faktoren abhängig ist.

- Das Ableitungskabel von den Modulen zum Wechselrichter sollte abgeschirmt sein.

- Nach Inbetriebnahme sollten die elektrischen Wechselfelder im Bereich der Module überprüft werden, die bei geerdeten Modulen kein Problem darstellen sollten. Weiterhin sollten insbesondere die Störspannungen auf der Ausgangsseite des Wechselrichters und die dadurch verursachten elektrischen Wechselfelder hoher Frequenz in den Räumen gemessen werden und in Abhängigkeit der Meßwerte Möglichkeiten der Reduzierung gesucht werden, die aber in den meisten Fällen ohne abgeschirmte Elektro-Installation aussichtslos sind. Die Messung sollte mittels Spektrumanalyse im Bereich von ca 10 kHz bis ca 200 kHz erfolgen.

### **Zusammenfassung:**

Eine Photovoltaik-Anlage, die baubiologischen Maßstäben genügt, ist nicht ohne individuelle Maßnahmen zu bekommen. Da jede Anlage zumindest von den Montagebedingungen her unterschiedlich ist, können oben aufgeführte Hinweise nur zur Orientierung dienen, es kann keine allgemeingültige Bauanleitung aufgestellt werden.

Natürlich sind auch hier wieder die Hersteller der Wechselrichter gefordert, Produkte zu entwickeln, die baubiologische Erfordernisse erfüllen. Aber Probleme werden wohl lieber verschwiegen, dazu passt auch, dass in diversen Gutachten oder Stellungnahmen die Elektrosmog-Problematik gänzlich ignoriert wird oder nur die Eingangsseite der Wechselrichter betrachtet wird, während das relevante Problem mit den Ausgangsstörungen schlichtweg "übersehen" wird.

Wenn die ökonomischen Überlegungen positiv ausfallen sollten, wird sich das Problem der baubiologischen Unbedenklichkeit stellen und dies wird in den meisten Fällen nicht zu lösen sein oder weitgehend nur mit einer konsequenten Elektro-Installation nach baubiologischen Grundsätzen. Ein Einsatz auf Schulen und insbesondere auf Kindergärten ist damit wohl kaum zu verantworten. Leider lassen sich die Verantwortlichen meist nur von ökonomischen und vielleicht noch ökologischen Vorteilen blenden, dies zeigt sich auch am Einsatz von sogenannten Energiesparlampen in gleichen Bereichen.

Und übrigens: Ein lesenswerter Artikel im Ökotest-Heft 11/2011 läßt die "Leistungsgarantie" für Solarmodule in einem bedenklichen Licht erscheinen.

Stand 3.11.2011