

## PV mit Optimizern sind oft QRM-Schleudern

Heinrich Häberlin, HB9AZO, Ehrenmitglied USKA ([hb9azo@uska.ch](mailto:hb9azo@uska.ch))

Seit einigen Jahren ist bekannt, dass Photovoltaik-Anlagen mit Optimizern (speziellen DC-DC-Wandlern in den Modulsträngen) in ihrer Umgebung bei HF-Funkanlagen beträchtliche Empfangsstörungen verursachen können. Im Jahre 2015 wurde in meiner Nachbarschaft eine derartige Anlage in Betrieb genommen. In zwei Beiträgen im HRadio habe ich im Herbst 2017 ausführlich über diese Störungen und die Massnahmen zu ihrer Reduktion bei meiner Funkstation berichtet [1, 2]. Die störende PV-Anlage lag damals in einer Entfernung von 75 m. Sie wurde nach mehreren Versuchen und BAKOM-Messungen beinahe 2 Jahre nach der Inbetriebnahme durch den Hersteller der Optimizer mit vielen Klappferriten schliesslich im Frühling 2017 saniert.

Im September 2019 ging erneut eine solche Anlage mit Optimizern von Solaredge in meiner Umgebung in Betrieb, die sogar in einem Abstand von 175m noch ziemlich starke Störungen verursacht. Die Distanz zur störenden PV-Anlage (P ca. 8 kWp, 27 Optimizer) betrug dabei 175 m (statt wie beim ersten, im HRadio 5/2017 beschriebenen Fall 75 m). Bei voller Sonne zeigte das S-Meter (trotz der relativ grossen Distanz) auch hier im Maximum immer noch etwa S9. Im Spektrum traten die für solche Anlagen typischen Harmonischen im 200-kHz-Raster auf (**Fig. 1**).



**Fig. 1:** Spektrum am 17.09.2019, kurz nach der Inbetriebnahme der Anlage im Abstand von 175 m, von 20.948 MHz bis 21.448 MHz bei mässiger Einstrahlung. Ref.-Level (Wert an oberer Kante) -50 dBm, 10dB/Linie. Antennenfaktor  $AF_E = -11,5$  dB/m (für 5-El. Multiband Beam auf 15 m). Die für Solaredge-Optimizer-Anlagen typischen Harmonischen im 200-kHz-Raster sind auch empfangsmässig gut hörbar.

### Störsituation nach Inbetriebnahme der PV-Anlage

Der Besitzer der ersten, 2017 entstörten PV-Anlage (im Abstand von etwa 75 m) informierte von sich aus den Besitzer der neuen, störenden Anlage (erstellt im Sept. 2019) und deren Installateur, dass wahrscheinlich bei



**Fig. 2:** Gedehtes Spektrum am 18.09.2019, kurz nach der Inbetriebnahme der Anlage im Abstand von 175 m, von 21.098 MHz bis 21.298 MHz, bei maximaler Störintensität.

Ref.-Level (Wert an Oberkante) -50 dBm, 10 dB/Linie. Antennenfaktor  $AF_E = -11,5$  dB/m (5-El. Beam, siehe Tab. 1 in [1]).  
 Maximum  $P_E = -70$  dBm  $\rightarrow U = 37$  dB $\mu$ V.  
 $E_{175}$  (an Antenne) =  $U + AF_E = 25$  dB $\mu$ V/m.  
 $\rightarrow E_3 = E_{175} + 20 \cdot \log_{10}(58) \Rightarrow E_3 = 60$  dB $\mu$ V/m.

mir Empfangsstörungen zu erwarten seien. Als ich mit dem Besitzer der neuen Anlage Kontakt aufnahm, beauftragte dieser seinen Installateur, das Problem mit mir möglichst rasch zu lösen (möglichst auch ohne das BAKOM einzuschalten und eine formelle Verfügung abzuwarten).

Wie in meinem Beitrag im HRadio 5/2017 beschrieben, nahm ich einige Spektren auf, berechnete die approximative Feldstärke im Abstand von 3 m und stellte fest, dass diese immer noch deutlich über den Richtwerten von ECC-Rec (09)02 lag [4]. **Fig. 2** zeigt die maximal registrierte Intensität der Störung am Nachmittag des 18.9.2019.

Wegen der geringen Sonnenaktivität ist gegenwärtig bei höheren Frequenzen die Anzahl der die Mes-

sungen störenden Funkverbindungen gering. Deshalb wurde auch hier wieder vorwiegend auf dem 15-m-Band mit nur geringem Funkverkehr gemessen. Dadurch sind auch die Messungen an dieser neuen Anlage gut mit denen der im HRadio 5/2017 vergleichbar.

**Fig. 2** zeigt das gemessene Spektrum der Störung im 15-m-Band. Die Berechnung der bei der Anlage im Abstand von 3 m (statt 175 m) auftretenden Feldstärke  $E_3$  ergibt etwa 60 dB $\mu$ V/m, also deutlich mehr als der nach ECC-Rec(09)02 (siehe [4] oder [1]) zulässige Richtwert von 28,3 dB $\mu$ V/m bei diesen Frequenzen. Die Anlage sollte also saniert werden.

### Abschaltversuche durch den Hersteller

Um sicherzustellen, dass die beobachtete Störung tatsächlich von der betreffenden Anlage stammt, wurde auf Wunsch des Optimizer-Herstellers zusätzlich ein von ihm vorgegebener Fragebogen ausgefüllt. Zudem wurden am 24.10. und 25.10.2019 einige vom Hersteller über das Internet ferngesteuerte Ein- und Ausschaltversuche an der Anlage durchgeführt. Bei Anlagen mit Optimizern wird bekanntlich die Anlage durch eine einfache Netztrennung nicht vollständig abgeschaltet [2]. Auf Grund der klaren Ergebnisse dieser Messungen (**Fig. 3**) beschloss Solaredge, die Anlage auf Firmenkosten bezüglich EMV ohne eine vorgängige BAKOM-Messung zu sanieren.



**Fig. 3:**  
Gedehntes Spektrum am 24.10. 2019, von 21.298 MHz bis 21.498 MHz. Die Anlage wurde kurz vor Mittag durch Fernsteuerung über das Internet abgeschaltet. Oberhalb von etwa 21.48 MHz sind noch Signale von einer PLC-Anlage in der Umgebung mit ausgeglichtem Amateurband erkennbar. Ref.-Level (Wert an oberer Kante) -50 dBm, 10 dB/Linie. Antennenfaktor  $AF_E = -11,5$  dB/m. Bei Anlagenabschaltung tritt nur noch der Grundstörpegel auf, es ist die richtige Anlage!

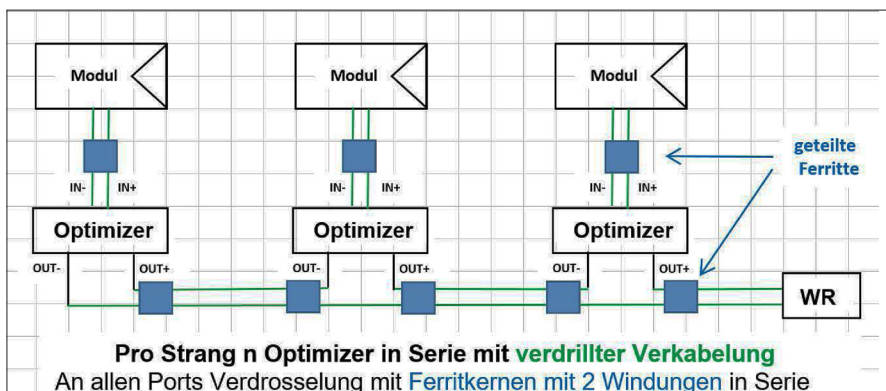
### Realisierte Sanierung

Diese Sanierung wurde am 14.01.2020 von den Mitarbeitern des lokalen Installateurs unter der Leitung eines extra angereisten Mitarbeiters von Solaredge erfolgreich durchgeführt, ohne dass das BAKOM involviert werden musste. Die für die Entstörung notwendigen geteilten Ferritkerne (3 pro Optimizer) wurden dabei vom Hersteller kostenlos zur Verfügung gestellt.

Das Prinzip dieser Sanierung wurde bereits in Fig. 12 in [2] beschrieben und soll hier nochmals anhand von Fig. 4 etwas näher erläutert werden. Jeder Optimizer verfügt über vier An-

schlussdrähte, zwei am DC-Eingang zum Anschliessen des Moduls (IN+ und IN-) und zwei (OUT+ und OUT-) am strangseitigen Ausgang des Optimizers. In jedem Strang sind die Ausgänge OUT+ und OUT- zur Erreichung einer höheren Spannung in Serie geschaltet. Dadurch entsteht durch die Strangverkabelung eine Schleife (einige Meter bis einige zehn Meter), die auf Grund ihrer Dimensionen gut für die Abstrahlung von Störungen im HF-Bereich geeignet ist.

Zur Reduktion der durch symmetrische Störströme in der Strangverkabelung verursachten Störabstrahlung wird zunächst die gesamte Verkabelung bifilar verdrillt (grün in Fig. 4), so dass die von ihr aufge-spannte Fläche und damit die Abstrahlung möglichst klein wird. Da im HF Bereich die Störstrahlung vor allem von asymmetrischen Störströmen verursacht wird, werden im Strang direkt bei jedem Port (OUT+ gegen Rückleitung und OUT- gegen Rückleitung) sowie an jedem moduleseitigen Port mit geteilten Ferritkernen (blau in Fig. 4) zusätzliche asymmetrische HF-Impedanzen eingebaut, welche die asymmetrischen Störströme in der Verkabelung und damit deren Abstrahlung stark reduzieren. Auf Grund einer neueren Anleitung des Herstellers wurden etwas andere Ferritkerne und nur noch 2 statt wie früher 3 Windungen der bifilaren Strangverkabelung verwendet.



**Fig. 4: Prinzip der EMV-Sanierung: Verdrehte Strangverkabelung und Einbau geteilter Ferritkerne**



**Fig. 5:**  
Gedehntes Spektrum, von 21.098 MHz bis 21.298 MHz am Nachmittag des 15.01.2020 nach erfolgter Sanierung. Der Störpegel variiert nur noch ca. zwischen -95 dBm und -100 dBm. Ref.-Level (Wert an Oberkante) -50 dBm, 10 dB/Linie. Antennenfaktor  $AF_E = -11,5$  dB/m. Max. Wert  $P_E = -95$  dBm  $\rightarrow U = 12$  dB $\mu$ V  $\rightarrow E_{175} = U + AF_E = 0$  dB $\mu$ V/m.

### Berechnung bei Fig. 5

$P_E = -95$  dBm  $\rightarrow U = 12$  dB $\mu$ V  $\rightarrow E_{175} = 0$  dB $\mu$ V/m. Aus diesem Wert für  $E_{175}$  kann man zwar rechnerisch noch  $E_3 = 35$  dB $\mu$ V/m bestimmen, was immer noch etwas über dem Richtwert für 21 MHz von etwa 28 dB $\mu$ V/m nach ECC-Rec.(09)02 [4] liegt. Der Wert von  $E_{175} = 0$  dB $\mu$ V/m entspricht aber etwa dem in einer Wohnumgebung generell zu erwartenden Störpegel (Fig. 2 in [1]), d.h. die in dieser Situation (Wohnumgebung, Abstand der Störquelle 175 m) maximal mögliche Entstörung ist beinahe erreicht. Eine weitere Entstörung der PV-Anlage bringt in dieser Umgebung nur noch wenig, weil dann die übrigen Störungen in der Wohnumgebung dominieren.

### Schlussbemerkungen und Ausblick

Es ist sehr erfreulich, dass der Hersteller der kritischen Anlagekomponenten (Optimizer und Wechselrichter) bei diesem gut dokumentierten Störfall vergleichsweise rasch reagiert hat (ca. 3 Monate statt wie früher 2 Jahre), sogar ohne dass eine Messung des BAKOM nötig wurde. Er hat nun offensichtlich realisiert, dass PV-Anlagen mit Optimizern empfindliche Funkverbindungen in einem relativ grossen Umkreis wesentlich stören können und dass er deshalb bei solchen Störfällen die nötigen Gegenmassnahmen vornehmen muss.

## PV mit Optimizern sind oft QRM-Schleudern

### Grüne Technik muss in jeder Hinsicht sauber sein

Dies zeigt sich auch daran, dass der Hersteller (Solaredge) ein spezielles Merkblatt für die Entstörung erstellt hat, in welchem er die Änderung der Verkabelung und den Einbau der geteilten Ferritkerne näher beschreibt. Es ist bei Störfällen erhältlich. Jede Entstörung erfordert aber einen beträchtlichen Aufwand auf Seiten des Herstellers. Ich möchte Solaredge dafür herzlich danken. Es ist zu hoffen, dass auch bei andern gut dokumentierten Störfällen eine ähnlich kulante Reaktion erfolgt und dass die störende PV-Anlage ebenfalls rasch auf Kosten des Herstellers saniert werden kann.

Wie die in [2] beschriebene und im Frühling 2017 entstörte Anlage strahlt auch diese Ende 2019 erstellte Anlage aber noch hörbare Reststörungen aus. Konventionelle PV-Anlagen für Wohnumgebungen, die keine Optimizer verwenden, erzeugen dagegen in den meisten Fällen keine hörbaren Störungen [2], d.h. diese Geräte entsprechen bezüglich EMV dem Stand der Technik. Wie in [2] ebenfalls erwähnt, wäre es sinnvoll, die nötigen Entstörmittel in einem separaten Gehäuse unterzubringen, das bei Bedarf neben jeden Optimizer montiert werden könnte. Auf diese Weise wären keine an der Verkabelung hängenden (und ggf. im Wind schwingende) Ferritkerne mehr nötig. Eine andere Möglichkeit wäre die Verwendung spezieller „Low Noise“ Optimizer mit einem etwas grösseren Gehäuse, in dem die nötigen Entstörmittel bereits fest eingebaut wären. Dies wurde in Gesprächen zwischen dem Autor und dem Hersteller bereits beim früheren Störfall erwähnt [2]. Bisher wurde jedoch leider noch keine dieser Ideen realisiert. ■

### Literatur-Hinweise

- [1] Heinrich Häberlin, HB9AZO: "Zunehmende Empfangsstörungen bei KW-Amateurstationen durch neue Technologien". HBradio 4/2017, S. 8 - 16.
- [2] Heinrich Häberlin, HB9AZO: "Empfangsstörungen durch PV-Anlage mit Power-Optimizern". HBradio 5/2017, S. 11 - 20.
- [3] TonyBrock-Fisher, K1KP: "Can Home Solar Power and Ham Radio Coexist?" QST 4/2016, p. 33 - p.37.
- [4] Electronic Communications Committee (ECC) (c/o CEPT):

ECC-Recommendation (09)02: Specification for the Measurement of Disturbance fields from Telecommunications Systems and Networks in the Frequency Range 9 kHz to 3 GHz

### Leserbrief von Celso HB9TNW

Lieber Heini  
Vielen Dank für den ausgezeichneten Bericht. Die darin enthaltenen Abstrahlungswerte sind meines Erachtens erschreckend. Wenn die Anlage mit einer Distanz von 175 m noch so stark hörbar ist, dann ist es m.E. schon gravierend. Schliesse daraus, dass je nach Abstrahlcharakteristik und Ausbreitungsbedingungen solche Anlagen auch in grossen Distanzen hörbar sein können. Der Hersteller trägt damit erwiesenermassen zur Erhöhung des **weltweiten man-made-noise** bei. Wie Du richtig bemerkst, sollte Solarpower auch bezüglich HF-Smog sauber sein.

Dass der Hersteller die Anlagen beim Vorliegen von Störmeldungen saniert, ist ja dankenswert. Das grundsätzliche Problem ist jedoch damit nicht gelöst. Das Verhalten des Herstellers deutet daraufhin, dass das Interesse zur Sanierung vermutlich lediglich imagegesteuert ist. Es stehen ja nur wenige Anlagen in der Nähe von Funkdiensten, somit ist ein eventueller Imageschaden klein.

Damit kann leicht der Eindruck entstehen, dass dem Hersteller das weltweite Ansteigen des Störpegels egal ist. Unter Berücksichtigung der Produkte von den Herstellern, welche darauf Rücksicht nehmen und eine saubere Technologie vertreiben, ist ein solches Verhalten m.E. unentschuldigbar.

Der Hersteller sollte meines Erachtens nochmals deutlich auf die Problematik und die einfache Möglichkeit zur Problemlösung hingewiesen werden. Die Lösung liegt ja auf der Hand. Vom Produkt-Marketing aus gesehen, könnte der Hersteller die damit erreichte Qualität seiner Produkte positiv nutzen, so nach dem Motto "**Tue Gutes und sprich darüber**". ■