

Empfangsstörungen durch PV-Anlage mit Power-Optimizern

Heinrich Häberlin HB9AZO (heinrich.haeblerlin@bluewin.ch)

Unter Verwendung der Methoden gemäss dem Beitrag im HRadio 4/2017 [3] wird gezeigt wie eine bei HB9AZO durch eine 75m entfernte PV-Anlage verursachte Störung quantitativ erfasst, dokumentiert und saniert wurde. Die Störpegel lagen weit über den vom BAKOM in Störfällen angewandten Richtwerten. Mit Hilfe des BAKOM wurde erreicht, dass die Störungen vom Hersteller auf ein erträgliches Mass reduziert wurden.

1. Grundsätzliche EMV-Problematik bei PV-Anlagen mit Optimizern

Eine normale PV-Anlage (PV = Photovoltaik; Strom aus Sonnenlicht) besteht aus einem oder mehreren Strängen, in denen mehrere Solarmodule in Serie geschaltet werden. Die Umwandlung in Wechselstrom geschieht in einem einzigen Gerät (mit einem oder mehreren Eingängen für einen oder mehrere Stränge).

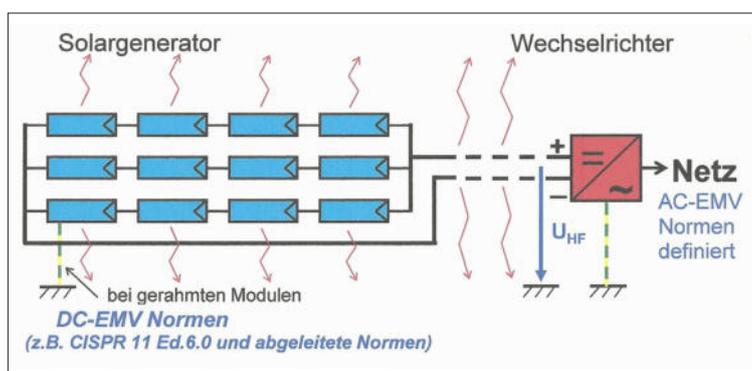


Fig. 1: Prinzipieller Aufbau einer normalen PV-Anlage. Die Stränge mit der Länge l können je nach ihrem Aufbau für bestimmte Frequenzen als resonante Antennen wirken. Mit separater Erdung der Modulrahmen wirkt die Anlage für asymmetrische HF-Störungen tendenziell als Loop-Antenne, ohne Erdung als Top-Loaded Antenne.

Im Innern dieses Wechselrichters wird der Gleichstrom mit möglichst steilen Flanken zerhackt, um einen möglichst hohen Wirkungsgrad zu erhalten. Steile Flanken bedeuten aber einen hohen Gehalt an Harmonischen, die bis in den HF-Bereich reichen. Da die Länge l der verdrahteten Stränge zwischen einigen Metern und etwa 100 m variieren kann können die Stränge einer PV-Anlage im Kurzwellenbereich als recht gute Sendeantennen wirken.

Um die auf Grund der symmetrischen HF-Ströme abgestrahlten Störungen klein zu halten muss in jedem Strang die DC-Hin- und Rückleitung nahe beieinander verlegt werden (im Idealfall verdreht), damit Schleifen möglichst klein gehalten werden. Die meisten Störungen im HF-Bereich werden aber von asymmetrischen Störungen auf der DC-Seite verursacht. Der Wechselrichter sollte deshalb an jedem DC-Eingang die notwendigen Filter zur Einhaltung der Grenzwerte der einschlägigen EMV-Norm CISPR 11 Ed.6 (seit Juni 2015 verbindlich) aufweisen. Wenn diese Grenzwerte nicht eingehalten werden oder wenn die Grundentstörung der Wechselrichter in speziellen Fällen (z.B. zu geringer Abstand zur Antenne) nicht ausreicht kann durch den Einbau von Zusatzfiltern an jedem DC-Eingang leicht die notwendige zusätzliche Dämpfung erreicht werden, da in der Anlage nur eine einzige HF-Störquelle vorhanden ist (siehe **Fig. 2/3**).

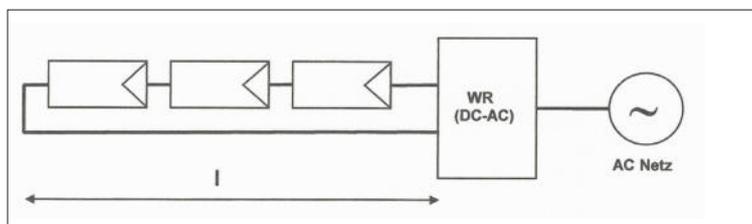


Fig. 2: Prinzipieller Aufbau eines Strangs mit Solarmodulen in einer normalen PV-Anlage. Die Stränge mit der Länge l können je nach ihrem Aufbau für bestimmte Frequenzen als resonante Antennen wirken.

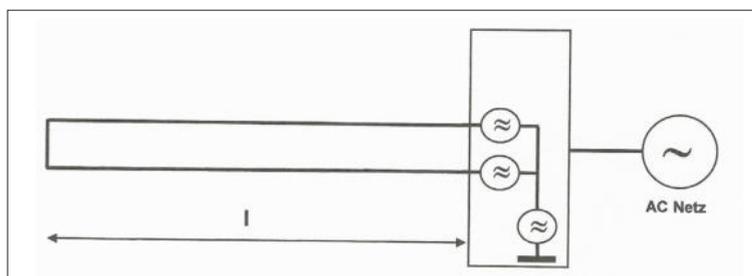


Fig. 3: Bei einer normalen PV-Anlage ist nur eine HF-Störquelle vorhanden, die bei Bedarf leicht mit zusätzlichen Filtern auf der DC-Seite ausgerüstet werden kann. Die Stränge mit der Länge l können je nach ihrem Aufbau für bestimmte Frequenzen als mehr oder weniger gute Sendeantennen wirken.

Bei einer PV-Anlage mit Optimizern (siehe **Fig. 4**) besitzt jedes Modul einen Power-Optimizer, einen speziellen DC-DC-Wandler, der von einem speziellen Wechselrichter mittels dauernder systeminterner Kommunikation so gesteuert wird, dass auch bei Beschattung einzelner Module in einem Strang jedes Modul immer eine möglichst hohe Leistung liefert.

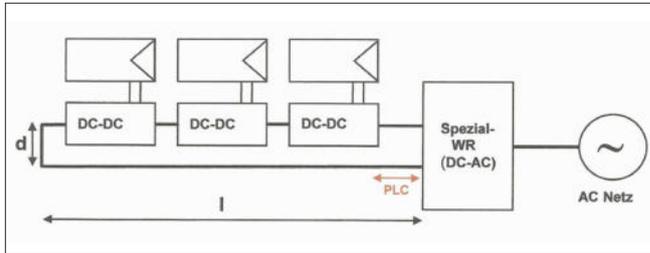


Fig. 4: Bei einer PV-Anlage mit Optimizern an jedem Modul sind in einem Strang neben dem Wechselrichter auch viele schaltende DC-DC-Wandler vorhanden, die dauernd mit einem zentralen Steuergerät über PLC oder Funk kommunizieren.

Da sehr viele im Strang verteilte DC-DC-Wandler vorhanden sind ist die in einen Strang eingespeiste HF-Störleistung viel höher als bei einer normalen PV-Anlage. Zudem ist es wahrscheinlich, dass einige dieser Optimizer an Punkten im Strang liegen, in denen HF-mässig eine relativ gute Anpassung an die dort vorhandene Impedanz der vom ganzen Strang gebildeten Antenne vorhanden ist (siehe **Fig. 5**). Diese Situation ist bezüglich EMV viel ungünstiger.

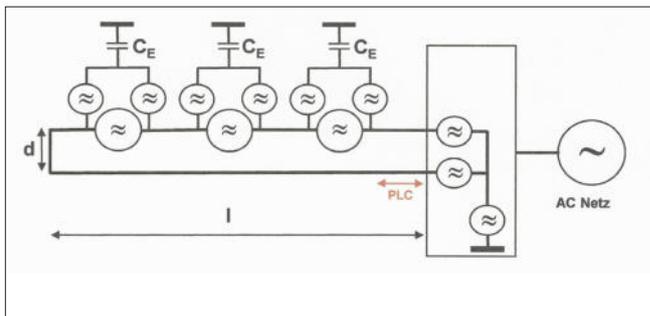


Fig. 5: Bei einer PV-Anlage mit Optimizern sind in jedem Strang neben den vom Wechselrichter erzeugten Störungen sehr viele weitere HF-Störquellen (symmetrisch und asymmetrisch) vorhanden, von denen einige an ihren Anschlusspunkten im Strang recht gut an die dort vorhandene Antennenimpedanz angepasst sein dürften. Diese Situation ist bezüglich EMV sehr ungünstig.

Für Störungen durch PV-Anlagen ist typisch, dass die Störungen vom Tagesanbruch bis zur Abenddämmerung dauernd vorhanden sind. Wichtig: Bei Anlagen mit Optimizern, die dauernd den Kontakt mit ihrem Wechselrichter suchen, werden im Gegensatz zu anderen störenden Geräten nach einer netzseitigen Abschaltung weiterhin (reduzierte) Störungen ausgesendet. Auch wenn nach der Abschaltung keine nennenswerte Energieumwandlung mehr stattfindet müssen die der internen Versorgung der Optimizer-Elektronik dienenden internen DC-DC-Wandler immer noch aktiv sein, um mit dem Wechselrichter kommunizieren zu können, so dass weiterhin gewisse reduzierte Störemissionen vorhanden sind.

2. Störungen bei HB9AZO durch eine PV-Anlage mit Optimizern

Im Mai 2015 wurde etwa in Südrichtung von meinem QTH eine PV-Anlage mit Power-Optimizern eines bekannten Herstellers in Betrieb genommen. Bald war klar, dass sie auf allen HF-Bändern den Funkempfang störte. Die stärksten Störungen traten in einem Raster von etwa 200 kHz auf. Ihre Maxima lagen im vorliegenden Fall bei $n \times 199,99$ kHz ($n = 15$ bis 270). Die stärksten Störpegel lagen im Bereich von etwa 18 bis 22 MHz. Dort dürfte die Antenne, die durch die konkrete Installation der Anlage gebildet wird und die HF-mässig von den Power-Optimizern und dem Wechselrichter gespeist wird, auf Grund der gegebenen Dimensionen gerade den höchsten Wirkungsgrad haben. In einer Entfernung von 75 m, am Standort meiner Antennenanlage, waren die Störungen viel zu stark. Konkret störend waren sie vor allem auf den Amateurbändern, wo bei DX-Verbindungen oft mit sehr tiefen Pegeln gearbeitet wird. Die Störungen hängen von der Einstrahlung auf die PV-Module ab, bei Anlagen mit vielen Optimizern aber auch von der Anzahl der teilbeschatteten Module. Am Nachmittag sind fast das ganze Jahr über jeweils grössere Anlagenteile durch einen grossen Baum teilbeschattet. Die Störungen sind vom Tagesanbruch bis zur Abenddämmerung dauernd vorhanden.

Für einen ersten Überblick dienen die beiliegenden Aufnahmen einiger Spektren der mit meinem IC-7600 empfangenen Signale. Alle Bilder sind mit aktivem Vorverstärker 1 (P.AMP1) aufgenommen, d.h. das Ref. Level beträgt -120 dBm. Die Oberkante der Diagramme mit 7 10dB-Feldern beträgt somit -50 dBm. Weiss sind die Messwerte des letzten Scans, blau die seit Beginn der Messung (einige s bis einige 10s) registrierten Spitzenwerte.

Die Eichung der Spektren erfolgte mit der in Kap. 7 (in [3]) gezeigten Methode und wurde mit einem Messempfänger ESH2 von Rhode&Schwarz kontrolliert (peak Messung).

Hinweise: Damit die Signale auf USB (oberes Seitenband bei Einseitenbandmodulation) gut hörbar sind, ist der Empfänger bei $f > 10$ MHz jeweils auf eine 1 bis 2 kHz tiefere Frequenz eingestellt. Wenn nicht anders angegeben, wurde der Beam resp. der rotierbare Dipol für maximalen Gewinn direkt auf die Störquelle gerichtet. Da die Störungen auf dem 15m- und 17m-Band besonders stark waren werden aus Platzgründen vorwiegend Spektren auf diesen Bändern gezeigt.

Das gedehnte Bild von **Fig. 6** zeigt den bisher registrierten Worst-Case an einem Tag mit wenig Schnee, teilweise bereits abgeglitten, auf den Modulen. Neben dem Maximum von etwa -60 dBm (!) tritt ein Störteppich von -90 bis -80 dBm auf (Störungen, keine Funkverbindungen). Die gemessenen Maximalwerte variierten tagsüber meist zwischen etwa -75 und -60 dBm.



Fig. 6: Spektrum mit $B = 1,8$ kHz von 21.187 MHz bis 21.207 MHz in der Umgebung der Störglocke um die Zentrumsfrequenz von 21,199 MHz an einem sonnigen Tag mit teilweiser dünner Schneebedeckung (21.1.16).

(Ref. Level -120 dBm, Wert an Diagramm-Oberkante -50 dBm, 10 dB/Linie, gemessenes Maximum -60 dBm).

Antennenfaktor $AF_E = -11,5$ dB/m.

Wird die Richtantenne (Yagi mit 3-El. auf 14MHz, Yagi mit 5-El. auf 21 und 28 MHz, rotierbarer Dipol auf 18 und 24 MHz) um 90° weggedreht sind die Störungen mindestens 15 bis 20dB tiefer (siehe Fig. 9). Beim Vorbeispazieren am Haus mit der PV-Anlage mit einem extra beschafften portablen Empfänger steigt der Störpegel bei diesem Haus jeweils markant an.

Für die Auswertung, Interpretation und Beurteilung der Messung muss zunächst aus dem gemessenen Spektrum die Feldstärke E_{75} am Ort der Empfangsantenne bestimmt werden (Abstand 75 m von Störquelle). Liegen die Messwerte in dBm statt in dB μ V vor muss mit (9) (in [3]) erst die Spannung U_E am RX-Eingang gewonnen werden. Aus U_E und dem Antennenfaktor AF_E (Tab.1 in [3]) kann dann mit (7) (in [3]) die Feldstärke E_{75} an der Antenne berechnet werden.

Nahe bei der Störquelle sind die emittierten Feldstärken wesentlich grösser als bei der Antenne in 75 m Entfernung. 10 m und 3 m sind übliche Abstände in einschlägigen Normen für die zulässige elektrische Feldstärke von störenden Emissionen. Mit Formel (4) (in [3]) ergibt sich:

Für einen Abstand zur Störquelle von 10 m sind die E_{10} -Werte um 17,5 dB μ V/m höher als E_{75} .

Für einen Abstand zur Störquelle von 3 m sind die E_3 -Werte um 28 dB μ V/m höher als E_{75} .

Zum Vergleich mit den Richtwerten von für ECC-Rec(09)02 muss also E_3 bestimmt werden.

Berechnung bei **Fig. 6**: $P_E = -60$ dBm $\rightarrow U = 47$ dB μ V $\rightarrow E_{75} = 35,5$ dB μ V/m $\rightarrow E_3 = 63,5$ dB μ V/m.

Der Vergleich mit **Fig. 3** (in [3]) zeigt, dass die resultierende Feldstärke im Abstand von 3 m den zulässigen Richtwert bei 21 MHz (ca. 28,3 dB μ V/m) um etwa 35 dB massiv überschreitet!

3. Sanierungsversuch Anfang April 2016 durch Hersteller der PV-Anlage

Im Februar 2016 wurde beim Eigentümer und bei der Installationsfirma und Anfang März 2016 auch beim BAKOM eine Störungsmeldung eingereicht. Der Hersteller wünschte einen ausführlichen technischen Bericht in Englisch, der ihm Mitte März 2016 zugestellt wurde.

Am 4.04.2016 und am Vormittag des 5.04.2016 wurde die störende PV-Anlage zeitweise abgeschaltet, die Module kurzzeitig demontiert und nach telefonischen Angaben der Installationsfirma mit ausgetauschten, verbesserten Power-Optimizern mit verdrehter Strangverkabelung wieder montiert. Zudem wurde oben beim PV-Generator ein zusätzlicher Filter angebracht. Am 11.04.2016 soll zudem noch eine neue Software geladen worden sein.

Durch diese Massnahmen wurden die stärksten Störspitzen im 200kHz-Raster um etwa 15 bis 20 dB gedämpft und ragen im Spektrum nicht mehr speziell hervor, sondern sind gerade noch hörbar. **Fig. 7** zeigt die immer noch vorhandenen breitbandigen Reststörungen auf dem 15m-Band. **Fig. 8** zeigt die typischen in der Nacht vorhandenen Reststörungen auf 15m. Zum Beweis, dass die Störungen aus Richtung der Störquelle stammen, zeigt **Fig. 9** einen Vergleich zwischen den aus Richtung der Störquelle empfangenen Störungen (blau) und den Störungen, die aus einer um 90° nach Westen abgedrehten Richtung empfangen werden (weiss). **Fig. 10** zeigt die immer noch vorhandenen breitbandigen Reststörungen auf 20m.



Fig. 7: Spektrum von 21.098 MHz bis 21.298 MHz am Morgen eines sonnigen Tages (20.4.16). Breitbandige Störungen zwischen -88dBm und -77dBm. Keine Funkaktivität. Akustisch ist oft ein Brodeln hörbar.

(Ref. Level -120 dBm, Wert an Diagramm-Oberkante -50 dBm, 10 dB/Linie, gemessenes Maximum -77 dBm).

Antennenfaktor $AF_E = -11,5 \text{ dB/m}$.

Berechnung bei **Fig. 7**: $P_E = -77 \text{ dBm} \rightarrow U = 30 \text{ dB}\mu\text{V} \rightarrow E_{75} = 18,5 \text{ dB}\mu\text{V/m} \rightarrow E_3 = 46,5 \text{ dB}\mu\text{V/m}$.

Die Störungen waren gegenüber ECC-Rec(09)02 (in [3], **Fig. 3**) immer noch etwa 18 dB zu hoch. Deshalb wurde die Störungsmeldung ans BAKOM aufrechterhalten.



Fig. 8: Spektrum der Reststörungen in der Nacht von 21.098 MHz bis 21.298 MHz am 21.4.16.

Der Störpegel variiert zwischen -97 dBm und -100 dBm. Keine Funkaktivität.

(Ref. Level -120 dBm, Wert an Diagramm-Oberkante -50 dBm, 10 dB/Linie, gemessenes Maximum -97 dBm).

Antennenfaktor $AF_E = -11,5 \text{ dB/m}$.

Berechnung bei **Fig. 8**: $P_E = -97 \text{ dBm} \rightarrow U = 10 \text{ dB}\mu\text{V} \rightarrow E_{75} = -1,5 \text{ dB}\mu\text{V/m} \rightarrow E_3 = 26,5 \text{ dB}\mu\text{V/m}$.

Die Reststörungen in der Nacht dürften aus anderen Störquellen stammen.

Berechnung bei **Fig. 9** (siehe Seite 15): $P_E = -80 \text{ dBm} \rightarrow U = 27 \text{ dB}\mu\text{V} \rightarrow E_{75} = 15,5 \text{ dB}\mu\text{V/m} \rightarrow E_3 = 43,5 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ (bei Beam 90° W: $P_E = -103 \text{ dBm} \rightarrow U = 4 \text{ dB}\mu\text{V} \rightarrow E_{75} = -7,5 \text{ dB}\mu\text{V/m} \rightarrow E_3 = 20,5 \text{ dB}\mu\text{V/m}$).

Bei gegen Westen weggedrehter Antenne sind die gemessenen Störungen um 15 bis 20 dB tiefer, d.h. die Störungen stammen genau aus der Richtung dieser Anlage.



Fig. 9: Spektrum von 21.098 MHz bis 21.298 MHz am Morgen eines sonnigen Tages (25.4.16). In Blau: Spektrum bei Antennenrichtung direkt gegen Störquelle, in Weiss: Spektrum bei um 90° gegen Westen aus dieser Richtung weggedrehter Antenne.

(Ref. Level -120 dBm, Wert an Diagramm-Oberkante -50 dBm, 10 dB/Linie, gemessene Maxima -80 dBm resp -103 dBm). Funkverkehr auf 21.236 MHz). Antennenfaktor $AF_E = -11,5$ dB/m.



Fig. 10: Spektrum von 14.098 MHz bis 14.298 MHz am frühen Morgen des 26.4.16 bei bereits laufender Anlage. Störungen zwischen -90 dBm und -83 dBm. Beim über das Band Drehen wenige den Rauschpegel nicht übersteigende Funksignale schwach hörbar, kaum verständlich. Akustisch ist ein Brodeln hörbar. Deshalb dürfte so gerade noch eine approximative Bestimmung des Störpegels möglich sein.

Ref. Level -120 dBm, 10dB/Linie, Obere Kante -50 dBm. Antennenfaktor $AF_E = -13,5$ dB/m.

Berechnung bei Fig. 10: $P_E = -83$ dBm $\rightarrow U = 24$ dB μ V $\rightarrow E_{75} = 10,5$ dB μ V/m $\rightarrow E_3 = 38,5$ dB μ V/m. Auch hier waren die Störungen gegenüber ECC-Rec(09)02 (in [3], Fig. 3) noch ca. 10 dB zu hoch.

Am Morgen des 3.5.2016 erfolgte dann die erste Messung durch das BAKOM. Dabei wurde festgestellt, dass die Richtwerte der ECC-Rec(09)02 je nach Band auf dem 20m-, 17m-, 15m- und 12m-Band um bis zu 12 dB überschritten wurden. Die grösste Überschreitung erfolgte wie erwartet auf 15 m; deshalb war es sinnvoll, vor allem auf diesem Band zu messen. Die Abweichung zwischen meinen Schätzwerten und den BAKOM-Messungen dürfte sicher zu einem grossen Teil auf die beschränkte Messgenauigkeit der verwendeten Amateurmittel und Abweichungen zwischen Theorie und Praxis (Nahfeldeffekte) zurückzuführen sein. Etwas dazu beigetragen hat möglicherweise auch die Tatsache, dass bei der BAKOM-Messung der Abstand zwischen Messantenne und PV-Anlage etwas grösser als 3m war.

Während den BAKOM-Messungen wurde die PV-Anlage wie bei der Störungssuche üblich temporär auf der AC-Seite abgeschaltet. Mit etwas Glück war es möglich, genau während dieser Abschaltung ein Spektrum zu messen. Da die ganze Verdrahtung der Anlage auf dem Dach unverändert bestehen blieb und die Solarmodule unbedeckt und an ihren Optimizern angeschlossen blieben war, wie bereits in Kap. 1, erwähnt eine gewisse reduzierte Aktivität der Optimizer weiterhin möglich. Die während dieser kurzzeitigen Netzunterbrüche aufgenommenen Spektren zeigten erwartet deutliche Veränderungen (siehe Fig. 11). Nach dem Netzunterbruch waren die gemessenen Störungen um 3 bis 15 dB tiefer, aber immer noch deutlich höher als typische nächtliche Störpegel (Fig. 8).



Fig. 11: Spektrum von 21.097 MHz bis 21.297 MHz während den BAKOM-Messungen am 3.5.16. Der Wechselrichter der PV-Anlage wird während dieser Messung auf der AC-Seite abgeschaltet. Die im Normalbetrieb gemessenen Störungen (blau) werden nach dem Abschalten um 3 dB bis 15 dB reduziert. In Weiss ist das letzte in abgeschaltetem Zustand gemessene Spektrum dargestellt.

Ref. Level -120 dBm, 10dB/Linie, Obere Kante -50 dBm. Antennenfaktor $AF_E = -11,5$ dB/m.

Nach den Messungen setzte das BAKOM eine Sanierungsfrist bis Ende Sept. 2016 an, die auf Wunsch des Herstellers bis Ende März 2017 verlängert wurde. Er versuchte zunächst während langer Zeit das Problem mit Softwareänderungen zu lösen und bezweifelte auch die Anwendbarkeit der Richtlinie ECC-Rec.(09)02 [1]. Wie in Kap. 1 dargelegt besteht aber beim Einsatz von Optimizern konzeptbedingt ein viel gravierendes EMV-Problem als üblich, das sich nur hardwaremässig mit zusätzlichen Filtern lösen lässt. Dies ist auch in einem Beitrag in der April-Nummer 2016 der ARRL-Zeitschrift QST klar dargelegt, leider ohne die Massnahmen und Resultate mit konkreten Daten zu beschreiben [2].

Ich hatte lange das Gefühl, dass mich der Hersteller trotz gelegentlicher E-Mail Kontakte bloss hinhalten wollte und auf Zeit spielte. Ich erstellte in dieser Zeit mehrere ausführliche Berichte in Englisch über die durchgeführten weiteren Tests für den Hersteller und das BAKOM. Das Thema Optimizer-Störungen konnte aber auch erfolgreich in die EMV-Normenkommission eingespeist werden. Es wurde beschlossen die Norm CISPR 11 Ed.6 durch einen Anhang zu erweitern, der sich unter anderem spezifisch mit zusätzlichen EMV-Tests von Optimizern befasst, und ich konnte auf Grund meiner Erfahrungen dort als Vertreter der USKA dazu wesentliche Beiträge einbringen. Da das BAKOM an der endgültigen Frist von Ende März 2017 festhielt lenkte der Hersteller erfreulicherweise schliesslich ein und beschloss einen weiteren Sanierungsversuch vor Ort durch Einbau zusätzlicher Filter in die störende Anlage zu machen. Dies geschah vermutlich auch in Hinblick auf die Tatsache, dass das Problem wegen der laufenden normativen Entwicklung ohnehin angegangen werden musste.

4. Vorläufige Sanierung Ende März 2017 durch Hersteller der PV-Anlage

Kurz vor Ablauf der Sanierungsfrist rückte der Hersteller mit einer imposanten Sanierungsequipe (4 Mann vom Hersteller, zeitweise verstärkt durch 2 Mann einer Schweizer PV-Installationsfirma) an. Sie war auch für eigene Feldstärkemessungen während der Sanierungsarbeiten ausgerüstet und verfügte über umfangreiches Entstörmaterial in Form von Ringkernen und Metallrohren. Während der Sanierungsversuche führte ich Messungen an Entstörfiltern durch und nahm laufend Spektren der noch vorhandenen Störungen auf verschiedenen Bändern auf. Ich demonstrierte diese auch dem Chef der Sanierungsequipe und konnte mit ihm das weitere Vorgehen besprechen.

Eine Verbesserung der Störungssituation bei Optimizern ist neben dem Einbau von zusätzlichen Filtern im Optimizer selbst (Idealfall) durch Einbau zusätzlicher asymmetrischer HF-Impedanzen in den Strangverdrahtungen möglich, welche die HF-Störströme reduzieren und dafür sorgen, dass die Anpassung der Optimizer an ihren Anschlusspunkten im Strang schlechter wird (**Fig. 12**). So kann die abgestrahlte Störleistung deutlich verringert werden.

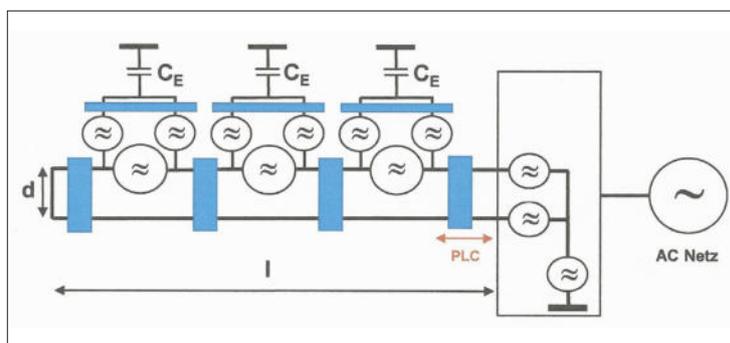


Fig. 12: PV-Anlage mit Optimizern und eingebauten HF-Zusatzimpedanzen auf der Modulseite und der Strangseite bei jedem Optimizer. Dadurch werden die asymmetrischen HF-Störströme und damit die abgestrahlte Störleistung deutlich reduziert.

Um dies zu erreichen waren (wie in [2] erwähnt) Filter an beiden Optimizer-Ports sowohl auf dem modulseitigen Eingang (1 Stück) als auch auf dem strangseitigen Ausgang (2 Stück) nötig. Relativ einfach anzubringen (ohne Steckerwechsel) waren geteilte Ferritkerne mit je drei bifilaren Windungen. Auf diese Weise ergab sich auf den Bändern von 14 bis 28 MHz für jede Drossel eine im Labor messbare Impedanz im Bereich von etwa 400 Ω . Am strangseitigen Ausgang des Optimizers wurde jeder der beiden Drähte jeweils zusammen mit dem Strang-Rückleiter durch den Ringkern geführt, d.h. an diesem Ausgang wurden zwei Ringkerne benötigt (siehe **Fig. 12**). Es wären zwar noch effizientere Ringkerne vorhanden gewesen, mit denen Impedanzen von bis zu 2 k Ω realisierbar gewesen wären, was aber viele relativ heikle Steckerwechsel erfordert hätte und in der verfügbaren Zeit kaum realisierbar gewesen wäre.

Durch diese Massnahmen konnte endlich eine weitere Reduktion der abgestrahlten Störungen um etwa 8 bis 15 dB erreicht werden. Dies scheint nicht unbedingt sehr viel, bedeutet aber oft den Unterschied zwischen möglichen und unmöglichen Verbindungen. Geübte Funkamateure können oft noch SSB-Signale von wenigen dB über dem Rauschpegel verstehen.

Die **Fig. 13** bis **Fig. 21** dokumentieren die auf den 21MHz-, 18MHz- und 28MHz-Bändern erreichten Verbesserungen.



Fig. 13: Spektrum am 23.3.17, einem recht sonnigen Tag, von 21.110 bis 21.310 MHz, VOR den Entstörmassnahmen.

Der Wechselrichter-Aktivität anzeigende Träger auf 21.198 MHz ist klar hörbar. Breitbandige Störungen zwischen -77 dBm und -90 dBm. Blubberndes Rauschen und Träger auf vielen Frequenzen.

Ref.Level -120 dBm, 10dB/Linie, Obere Kante -50 dBm.

Antennenfaktor $AF_E = -11,5$ dB/m.

Berechnung bei **Fig. 13**: $P_E = -77$ dBm $\rightarrow U = 30$ dB μ V $\rightarrow E_{75} = 18,5$ dB μ V/m $\rightarrow E_3 = 46,5$ dB μ V/m



Fig. 14: Spektrum am 31.3.17, einem sonnigen Tag, von 21.098 bis 21.298 MHz, NACH den Entstörmassnahmen.

Der Wechselrichter-Aktivität anzeigende Träger auf 21.198 MHz ist noch hörbar. Breitbandige Störungen zwischen -92 dBm und -100 dBm. Auf einigen Frequenzen noch blubberndes Rauschen und Träger. Funkverkehr auf 21.208 MHz. Ref.Level -120 dBm, 10dB/Linie, Obere Kante -50 dBm.

Antennenfaktor $AF_E = -11,5$ dB/m.

Berechnung bei **Fig. 14**: $P_E = -92$ dBm $\rightarrow U = 15$ dB μ V $\rightarrow E_{75} = 3,5$ dB μ V/m $\rightarrow E_3 = 31,5$ dB μ V/m (zulässig nach **Fig. 3** (in [3]) resp. [1]): 28,3 dB μ V/m), also ist E_3 nur noch gut 3 dB zu hoch).



Fig. 15: Spektrum am 22.3.17 in der Nacht, von 21.098 bis 21.298 MHz, vor den Entstörmassnahmen. Breitbandiges Rauschen zwischen -97 dBm and -100 dBm. Ref.Level -120 dBm, 10dB/Linie, Obere Kante -50 dBm.

Antennenfaktor $AF_E = -11,5$ dB/m.

Resultat der Entstörung auf 21 MHz

Reduktion der maximalen Störungen um etwa 15 dB. Restliche Störspitzen etwa 5 dB über den nächtlichen Störspitzen und 8 dB über dem nächtlichen Grundrauschen.



Fig. 16: Spektrum am 23.3.17, einem recht sonnigen Tag, von 18.013 bis 18.213 MHz, VOR den Entstörmassnahmen.

Der Wechselrichter-Aktivität anzeigende Träger auf 18.198 MHz ist klar hörbar. Breitbandige Störungen zwischen -77 dBm und -90 dBm. Blubberndes Rauschen und Träger auf vielen Frequenzen.

Ref.Level -120 dBm, 10dB/Linie, Obere Kante -50 dBm.

Antennenfaktor $AF_E = -5,5$ dB/m.

Berechnung bei Fig. 16: $P_E = -77$ dBm $\rightarrow U = 30$ dB μ V $\rightarrow E_{75} = 24,5$ dB μ V/m $\rightarrow E_3 = 52,5$ dB μ V/m.



Fig. 17: Spektrum am 30.3.17, einem sonnigen Tag, von 18.045 bis 18.245 MHz, NACH den Entstörmassnahmen.

Der Wechselrichter-Aktivität anzeigende Träger auf 18.198 MHz ist noch hörbar. Breitbandige Störungen zwischen -90 dBm und -98 dBm. Auf einigen Frequenzen noch blubberndes Rauschen und Träger.

Ref.Level -120 dBm, 10dB/Linie, Obere Kante -50 dBm.

Antennenfaktor $AF_E = -5,5$ dB/m.

Berechnung bei Fig. 17: $P_E = -90$ dBm $\rightarrow U = 17$ dB μ V $\rightarrow E_{75} = 11,5$ dB μ V/m $\rightarrow E_3 = 39,5$ dB μ V/m (zulässig nach Fig. 3 (in [3]) resp. [1]): 29 dB μ V/m, E_3 ist hier nur noch ca. 10 dB zu hoch).



Fig. 18: Spektrum am 22.3.17 in der Nacht, von 18.044 bis 18.244 MHz, vor den Entstörmassnahmen. Breitbandiges Rauschen zwischen -94 dBm und -98 dBm.

Ref.Level -120 dBm, 10dB/Linie, Obere Kante -50 dBm.

Antennenfaktor $AF_E = -5,5$ dB/m.

Resultat der Entstörung auf 18 MHz

Reduktion der maximalen Störungen um etwa 13 dB. Restliche Störspitzen etwa 4 dB über den nächtlichen Störspitzen und 8 dB über dem nächtlichen Grundrauschen.



Fig. 19: Spektrum am 23.3.17, einem recht sonnigen Tag, von 28.273 bis 28.473 MHz, VOR den Entstörmassnahmen.

Der Wechselrichter-Aktivität anzeigende Träger auf 28.398 MHz ist klar hörbar. Breitbandige Störungen zwischen -86 dBm und -94 dBm. Blubberndes Rauschen und Träger auf vielen Frequenzen.

Ref.Level -120 dBm, 10dB/Linie, Obere Kante -50 dBm.

Antennenfaktor $AF_E = -9$ dB/m.

Berechnung bei Fig. 19: $P_E = -86$ dBm $\rightarrow U = 21$ dB μ V $\rightarrow E_{75} = 12$ dB μ V/m $\rightarrow E_3 = 40$ dB μ V/m.



Fig. 20: Spektrum am 30.3.17, einem sonnigen Tag, von 28.298 bis 28.498 MHz, NACH den Entstörmassnahmen.

Der Wechselrichter-Aktivität anzeigende Träger auf 28.398 MHz ist noch hörbar. Breitbandige Störungen zwischen -94 dBm und -100 dBm. Auf einigen Frequenzen noch blubberndes Rauschen und Träger.

Ref.Level -120 dBm, 10dB/Linie, Obere Kante -50 dBm.

Antennenfaktor $AF_E = -9$ dB/m.

Berechnung bei Fig. 20: $P_E = -94$ dBm $\rightarrow U = 13$ dB μ V $\rightarrow E_{75} = 4$ dB μ V/m $\rightarrow E_3 = 32$ dB μ V/m (zulässig nach Fig. 3 (in [3]) resp. [1]): 27,2 dB μ V/m, E_3 ist also nur noch knapp 5dB zu hoch).

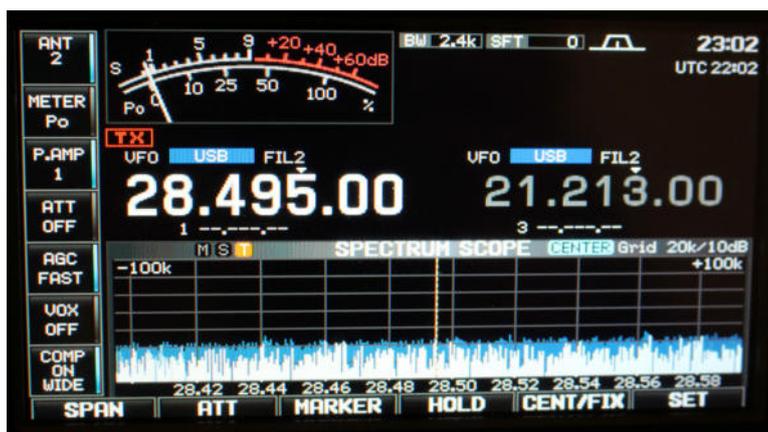


Fig. 21: Spektrum am 22.3.17 in der Nacht, von 28.395 bis 28.595 MHz, vor den Entstörmassnahmen. Breitbandiges Rauschen zwischen -98 dBm und -100 dBm.

Ref.Level -120 dBm, 10dB/Linie, Obere Kante -50 dBm.

Antennenfaktor $AF_E = -9$ dB/m.

Resultat der Entstörung auf 28 MHz

Reduktion der maximalen Störungen um etwa 8 dB. Restliche Störspitzen etwa 4 dB über den nächtlichen Störspitzen und 6 dB über dem nächtlichen Grundrauschen.

Da seit Anfang Nov. 2016 an meinem QTH aus Südosten auf 14 MHz eine breitbandige Dauerstörung von bis zu -78 dBm vorhanden ist, die von einer anderen noch nicht näher bekannten Störquelle aus einem Nachbargebäude stammt, konnte die auf 14 MHz erreichte Verbesserung nur während ganz wenigen kurzen Unterbrüchen dieser Störung gemessen werden. Auch auf 14 MHz ist eine vergleichbare Reduktion der Störung von der PV-Anlage erfolgt.

Da die nun erreichten Störpegel nach meinen Berechnungen alle nur noch zwischen 0 bis 10 dB über den vom BAKOM angewandten Richtwerten nach ECC-Rec.(09)02 [1] und damit meist im Bereich der Messgenauigkeit lagen zog ich meine Beschwerde beim BAKOM zurück. Eine vom BAKOM durchgeführte Nachmessung im April 2017 bestätigte, dass die Richtwerte nun knapp eingehalten wurden. Die Störungen sind zwar noch hörbar, aber viel weniger stark.

Die zweimaligen Entstöraktionen im April 2016 und vor allem im März 2017 bedeuteten für den Hersteller einen beträchtlichen Aufwand. Dafür möchte ich ihm und dem Eigentümer der PV-Anlage ausdrücklich danken. Zu einem solchen Aufwand sind nur wenige Hersteller von störenden Geräten und Anlagen bereit.

Es ist festzuhalten, dass die Anlage zwar schwächere, aber weiterhin deutlich hörbare Störungen abstrahlt. Da aber viele PV Anlagen überhaupt keine hörbaren Störungen emittieren entspricht diese Anlage mit ihren Optimizern trotz der erreichten Verbesserung bezüglich EMV noch nicht ganz dem bei anderen PV-Anlagen üblichen Stand der Technik. Eine andere, noch etwas grössere konventionelle PV-Anlage von etwa 12 kW im Abstand von 40m von meinen Antennen stört beispielsweise überhaupt nicht. Deshalb sind weitere Anstrengungen zur Reduktion der Störungen nötig, um eine friedliche Koexistenz zwischen PV und Amateurfunk zu erreichen. Es wäre sinnvoll die Entstörmittel in einem separaten Gehäuse unterzubringen, das bei Bedarf neben jedem Optimizer montiert werden könnte. Der Hersteller hat versprochen die in der Anlage verbauten Optimizer durch verbesserte Modelle zu ersetzen sobald diese verfügbar sind.

Der Hersteller hat aus dieser Entstörung anscheinend gelernt. Beim ebenfalls durch eine solche Anlage gestörten Kollegen HB9TNW wurde offenbar unter Verwendung der gleichen Ringkerne auch eine erfolgreiche Entstörung in Kulanz durchgeführt. Da in der Schweiz noch einige andere Störfälle mit Optimizern des gleichen Herstellers pendent sind hoffe ich für die betroffenen Amateurkollegen, dass diese Störfälle gleich kulant abgewickelt werden.

Literatur:

- [1] 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
- [2] TonyBrock-Fisher, K1KP: "Can Home Solar Power and Ham Radio Coexist?" QST 4/2016, p.33 – p.37.
- [3] Heinrich Häberlin, HB9AZO: "Zunehmende Empfangsstörungen bei KW-Amateurstationen durch neue Technologien". HBradio 4/2017, S. 8 - 16.

EMV: Heini Häberlin HB9AZO wird unterstützt vom BAKOM und von Japan

Seit die USKA in den massgeblichen EMV-Gremien der Schweiz aktiv mitwirkt (CISPR, TK 77) leistet Heini Häberlin einen unermüdlichen Einsatz "hinter den Kulissen". Pro Tag kommen über diesen Verteiler im Schnitt 5 Mails herein, welche studiert werden müssen. Zum Teil sehr komplexe und technisch anspruchsvolle Normierungs-Entwürfe und -Änderungen. Dazu finden mehrere Sitzungen pro Jahr statt.

In dieser Intensität und Professionalität (!) hat sich in der IARU-R1 meines Wissens bisher nur der DARC mit den EMV-Interessen des Amateurfunks befasst, auch die RSGB. Es muss m.E. Pflicht jedes nationalen Verbandes sein in seinen nationalen Gremien professionell vertreten zu sein und aktiv mitzuwirken. DL und HB sind hier leuchtende Vorbilder!

Ein Erfolg des bewundernswerten Einsatzes von HB9AZO besteht in der Tatsache, dass das BAKOM Heini vollumfänglich unterstützt. Leider schief die ITU (ITU-R) viel zu lange und liess die Verursacher von Elektromog im HF/VHF-Bereich einfach ungehindert gewähren. Nun wird dies auch den Japanern zu dumm. Auch bei unserem Kontaktmann bei der ITU ist jahrelange Funkstille eingekehrt. Dabei ist die Besitzstandwahrung des Amateurfunks gerade längst nicht bloss mit der Verteidigung unserer Frequenzen getan! Was nützen uns Frequenzen, wenn diese zunehmend mit «man made Störnebel» zugemüllt werden ?? Als ehemaliger Fachhochschuldozent geniesst Heini überdies in Fach-Kreisen grosses Ansehen und vertritt die Interessen des Amateurfunks sachlich, unaufgeregt, hochprofessionell und äusserst glaubwürdig.

Leider haben die meisten USKA-Mitglieder (und Nichtmitglieder...) keine Ahnung von der grossen Arbeit, die Heini für uns fast täglich leistet. Für mich ist diese Tätigkeit einer der grössten Erfolge welche die USKA in den letzten Jahren vorweisen kann.

Willi Vollenweider HB9AMC, USKA-Präsident