

Erweiterte Analysemethoden zur Unterscheidung der Prüflingsemissionen von überlagerten Umgebungsstörungen bei in-situ Messungen

Tobias Groß, Rohde & Schwarz GmbH & Co.KG, München
Jens Medler, Rohde & Schwarz GmbH & Co.KG, München



Bild 1 Messsetup für in-situ Messung des elektrischen Feldes an einer Windkraftanlage.

1 Problembeschreibung

In Deutschland sind gegenwärtig knapp 30.000 Windkraftanlagen in Betrieb mit einem jährlichen Zuwachs von 743 Anlagen im Jahr 2018 [1]. Nicht zuletzt durch die steigende Bedeutung der Windenergie in der Stromerzeugung wachsen die Sorgen um den Einfluss der Anlagen auf die Umwelt.

Ein entscheidender Teil dessen ist die elektromagnetische Verträglichkeit. Die Leistungselektronik für z.B. die Frequenzumsetzer in der Gondel oder in einem Gerätehaus am Boden sorgen für Störaussendungen bis in den hohen Megahertzbereich. Durch lange Kabel innerhalb des Turms, der Rotorblätter oder auch durch die Metallstruktur des Turms selbst werden diese intensiv abgestrahlt.

Auf Grund der großen Dimensionen einer Windkraftanlage kann diese nicht in einer Absorberhalle vermessen werden. Es wird in-situ, also am Aufstellort des Windrades gemessen. Neben den Umweltbedingungen wie dem Wetter oder geografischen Gegebenheiten erschwert vor allem der Einfluss von elektromagnetischen Störungen aus der Umgebung die Messung.

Im für die Messung von Windkraftanlagen zu berücksichtigenden Frequenzbereich von 150 kHz bis 1 GHz sind vielfältige Umweltstörer zu finden. Neben dem Mobilfunk wie GSM oder LTE im Bereich oberhalb von 700 MHz ist der analoge Rundfunk um 100 MHz, sowie

der digitale Rundfunk um 200 MHz nahezu omnipräsent. Besonders der Rundfunk ist gefährdet durch Störemissionen verursacht durch die Windkraftanlage.

Teilweise überschreiten die Umgebungsstörungen bereits den maximal durch den Standard erlaubten Pegel. Um eine Reproduzierbarkeit für eine verlässliche Messung zu erzielen, müssen diese Umweltstörungen bewertet werden können. Dieser Beitrag befasst sich mit Methoden, um genau diese Klassifikation durchzuführen.

1.1 Standardisierung für in-situ Messungen

Gegenwärtig ist die Messvorschrift IEC 61400-40 [2] zur Erfassung der elektromagnetischen Abstrahlung von Windkraftanlagen in der Entstehung. Diese definiert den in-situ Messprozess spezifisch für Windkraftanlagen mit Antennen Positionierung, Betriebszustand der Anlage, Einstellungen des Messempfängers, usw. Es ist im Frequenzbereich von 150 kHz bis 1 GHz zu messen, wobei im Bereich bis 30 MHz das Magnetfeld und darüber das elektrische Feld untersucht wird. Der Messabstand beträgt 30 m von der Außenkante des Turms bis zum Referenzpunkt der Antenne. Verwendet wird der Quasi-peak Detektor. Die zugehörigen Grenzwerte sind in nachstehender Tabelle 1 aufgeführt.

Frequenz	Messung mit Quasi-peak Detektor	
150 kHz – 490 kHz	Magnetfeld	13,5 dBµA/m
490 kHz – 3,95 MHz		3,5 dBµA/m
3,95 MHz – 20 MHz		-11,5 dBµA/m
20 MHz – 30 MHz		-21,5 dBµA/m
30 MHz – 230 MHz	Elektrisches Feld	30 dBµV/m
230 MHz – 1 GHz		37 dBµV/m

Tabelle 1 Limits nach aktuellem Entwurf von IEC 61400-40 [2] gemessen in 30 m Messabstand mit Quasi-peak Detektor.



Bild 2 E-Feld Messung mit R&S®HL223 Antenne gerichtet auf Windkraftanlage.

Für die Analyse der Umgebungsstörungen wird auf CISPR 16-2-3 [3] verwiesen. Diese Basisnorm beschreibt allgemeine Prozeduren zum Umgang mit verschiedenen klassifizierten Umgebungsstörungen. Die Norm unterscheidet zwischen schmal- und breitbandigen Störeinflüssen in allen vier Kombinationen aus Störungen aus der Umgebung und denen des EUT. Die Klassifizierung selbst wird jedoch vorausgesetzt und ist nicht Bestandteil der Norm.

Für jede mögliche oben benannte Kombination der Störeinflüsse gibt CISPR 16-2-3 detektorabhängige zusätzliche Fehler, die auf den Grenzwert addiert werden müssen. Für den Fall, dass die Umgebungsstörung breitbandig und die des EUT schmalbandig ist, ist nach CISPR 16-2-3 keine Messung ohne Superposition möglich. Dieser Beitrag zeigt nachfolgend eine Lösung dafür auf.

2 Differenzierung von Störungen aus Umgebung und Messobjekt

2.1 Wahl der Messparameter

Es gilt eine Messzeit zu wählen, die größer ist als die Periodendauer aller zeitlichen Prozesse sowohl der Umgebungsstörungen als auch der des Messobjektes. Dazu dient nach IEC 61400-40 [2] die Dauer einer Umdrehung des Windrades. Für eine präzisere Bestimmung wird eine detaillierte zeitliche Analyse des Spektrums vorgenommen. Mit einem Echtzeit-Scan können die zuvor als kritisch beurteilten Frequenzen lückenlos untersucht werden. Ein Messempfänger oder Analyzer mit Echtzeit-Funktionalität (engl. Realtime Mode) sieht auch kürzeste Pulse.

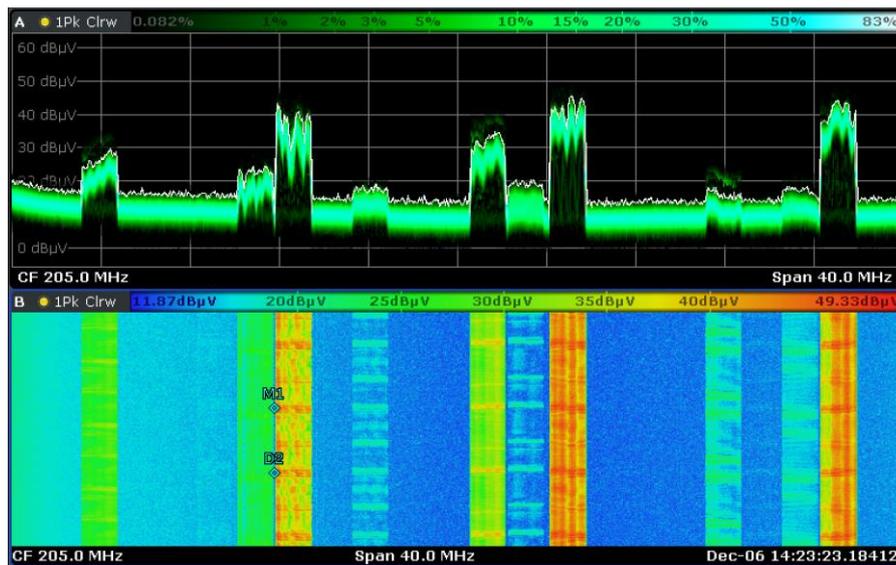
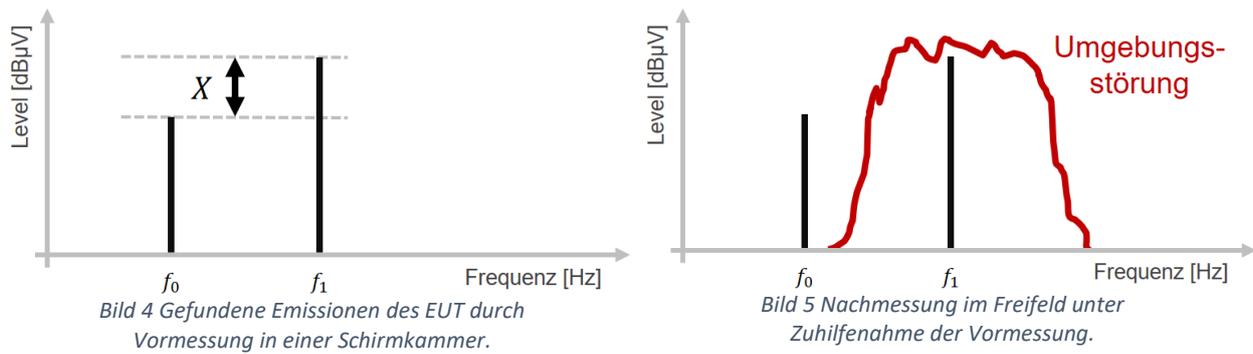


Bild 3 Untersuchung des Echtzeitspektrums im DVB-T Band mit einer Bandbreite von 40 MHz.

In Bild 3 wird das DVB-T Broadcast Band als Umgebungsstörung untersucht. Es ist auf den modulierten Bändern ein gepulstes Verhalten zu erkennen. Der Einfluss des Windrades als Reflektor ist hier zu sehen. Mit einer Periodendauer, die der Drehbewegung entspricht sind die Broadcast Signale stärker oder schwächer zu sehen durch die beständige Änderung des Funkkanals. Dieser Effekt kann ausgenutzt werden, um die Messzeit optimal zu bestimmen. Mittels Markerfunktion wird aus dem Spektrogramm die Periodendauer extrahiert, womit die minimale Messzeit gefunden wurde.

2.2 Voruntersuchung mittels Superposition

Im Standard CISPR 16-2-3 [3] wird vorgeschlagen eine Vormessung in einer Schirmkammer durchzuführen. Dies ermöglicht zwar keine pegelrichtige Messung, jedoch eine gute Abschätzung darüber wo Emissionen des EUT zu finden sind und wie diese sich relativ zueinander verhalten. In nachstehender Bild 4 sind zwei in der Schirmkammer gefundene Störpegel f_0 und f_1 des EUT zu sehen, deren relativer Pegelunterschied mit X bestimmt wird. In der nachfolgenden Freifeldmessung in Bild 5 ist einer der beiden Störer durch Umgebungsstörungen verdeckt, kann jedoch aus der Summe des Pegels von f_0 und X bestimmt werden.



Diese Methode aus CISPR 16-2-3 [3] eignet sich gut für Messobjekte, die zur Voranalyse in einer Schirmkammer gemessen werden können. Für Objekte wie Windkraftanlagen ist dies jedoch nicht möglich. Daher muss auf eine Leermessung im ausgeschalteten Zustand zurückgegriffen werden.

Dazu wird nachfolgend der Frequenzbereich von 200 MHz bis 1 GHz untersucht. Verwendet wird die Antenne R&S®HL223. Für den Bereich 30 bis 200 MHz kann beispielsweise die Antenne R&S®HK116E verwendet werden. Für die Vormessung wird der Quasi-peak Detektor mit einer Messzeit von 3 s gewählt. In Bild 6 ist das Ergebnis mit Vergleich mit den Limits aus Tabelle 1 dargestellt. Gut zu erkennen sind die Störeinflüsse von Funkdiensten wie DAB, GSM oder LTE. Störer, die sich bis auf 6 dB dem Grenzwert nähern sind zu bewerten und werden für die weiteren Messungen notiert.

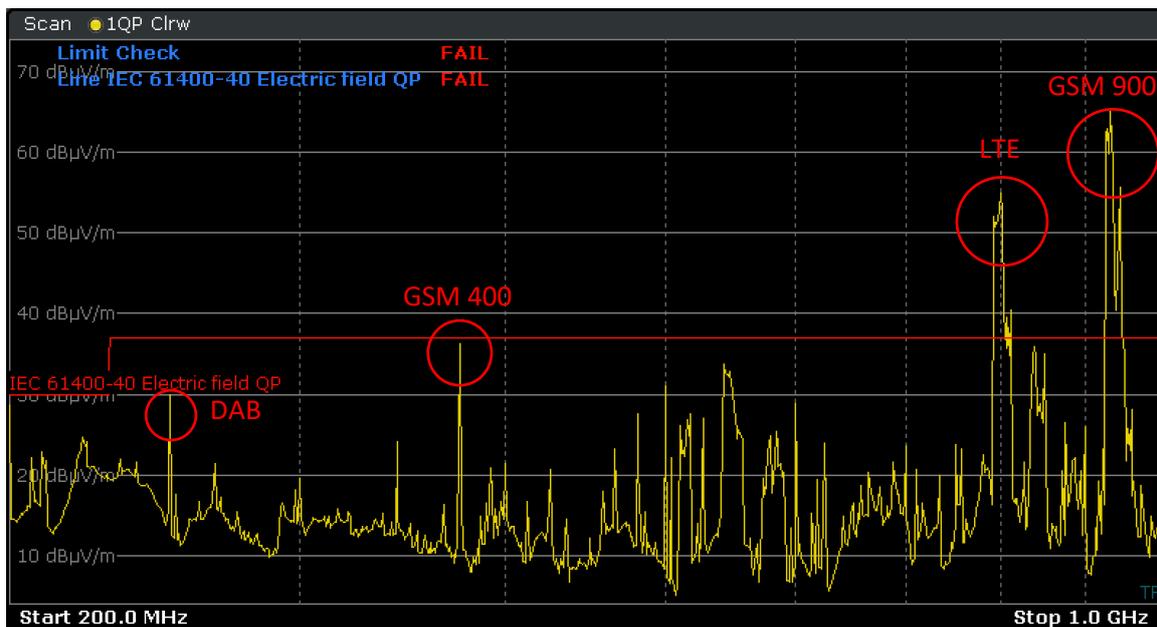


Bild 6 Off Messung mit ausgeschaltetem Windrad zur Aufnahme der Umgebungsstörungen mit QP Detektor.

Nach erfolgter Leermessung wird das Windkraftrad in verschiedene Lastzustände gesetzt. Ist ein worst-case Szenario definierbar, so muss nur in diesem und dem zuvor beschrieben ausgeschalteten Zustand gemessen werden.

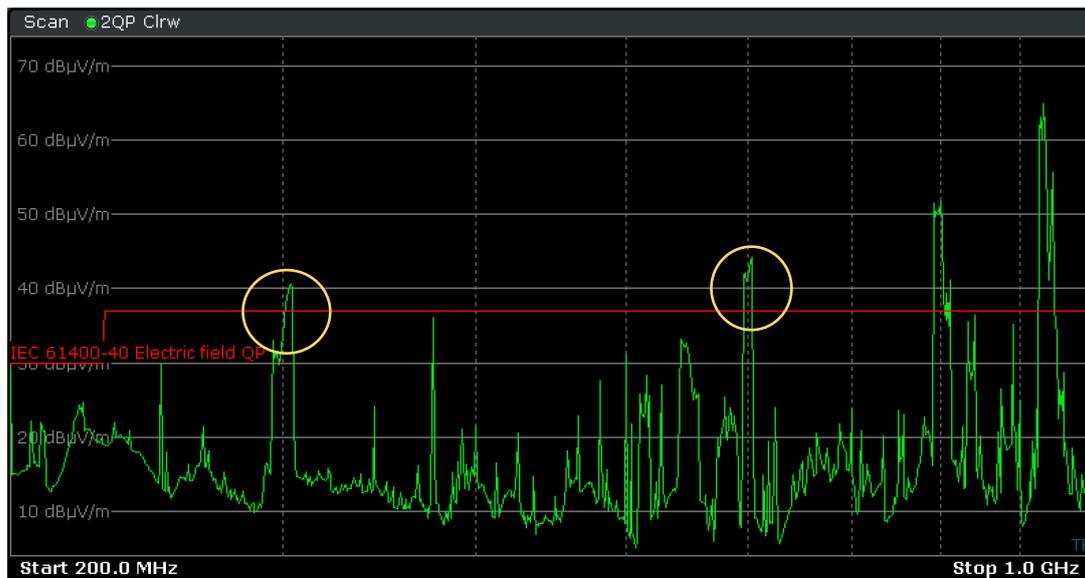


Bild 7 Messung mit eingeschaltetem Windrad mit QP Detektor.

In Bild 7 ist nun die exemplarische Messung unter Last zu erkennen. Nach Abzug der zuvor als Umgebungsstörer erkannten Frequenzen, sind schnell die Peaks bei 300 und 600 MHz als Störer ausgemacht. Im folgenden Schritt wird deren Pegel final gemessen.

2.3 Überlagerung von Prüflings- und Umweltemissionen

In den im vorigen Abschnitt als Umweltstörer bewerteten Frequenzbändern kann es auch zu Prüflingsemissionen kommen. In der beschriebenen Methode aus CISPR 16-2-3 [3] mittels Vormessung in einer Schirmkammer (siehe Bild 4 und 5) sind diese Überlagerungen leicht zu finden. Da dies hier nicht möglich ist, benötigt es andere Verfahren. Mit einem Echtzeit Analyzer werden nicht nur kürzeste Pulse sichtbar, sondern auch der Einblick in zeitliche Veränderungen im Spektrum ermöglicht. In der obigen Last-messung in Bild 7 müssen die zuvor als Umweltstörer erkannten Bänder untersucht werden, um schmalbandige Störungen des EUT zu erkennen. Im Nachleuchtmodus (engl. Persistence Mode) kann der Analyzer sich zeitlich unterschiedlich verhaltende Signale visualisieren. Dies wird dadurch erreicht, dass die Häufigkeit, mit der der Amplitudenwert eines Signals auftritt, die Farbe des betreffenden Bildpunktes bestimmt.

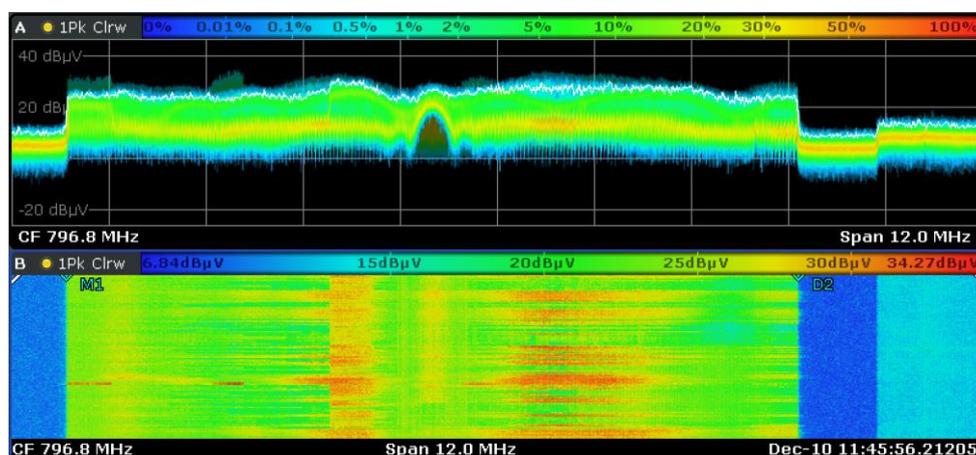


Bild 8 Überlagerung eines schmalbandigen EUT-Störers mit breitbandiger Umweltstörung, gleichzeitig dargestellt im Persistence (oben) und Spektrogramm (unten) Mode.

In Bild 8 ist gut zu erkennen, wie sich ein schmalbandiger Störer im breitbandigen LTE Signal versteckt. Mit Hilfe des Persistence Mode (siehe Bild 8 oben) wird dieser sichtbar, da er dauerhaft präsent ist, während sich das LTE Signal ständig im Pegel ändert. Während ein herkömmliches Spektrum nur den aktuellen Detektorwert liefert, zeigt der Persistence Mode farblich selektiert die Auftrittshäufigkeit des Pegels an. So sind Pegel und zeitliches Verhalten in einem Plot zu sehen, wodurch sich der schmalbandige Störer des EUT leicht erkennen lässt.

Die Störeinflüsse des Messobjekts können auch breitbandig gepulst sein und sich somit ggf. in den Umgebungseinflüssen verstecken. Auch hier bietet eine Real Time Messung Abhilfe. Wie in Bild 9 gut zu erkennen ist, ist der Störer nicht dauerhaft präsent, wird aber dank zeitlicher Darstellung des Spektrums ideal aufgelöst.

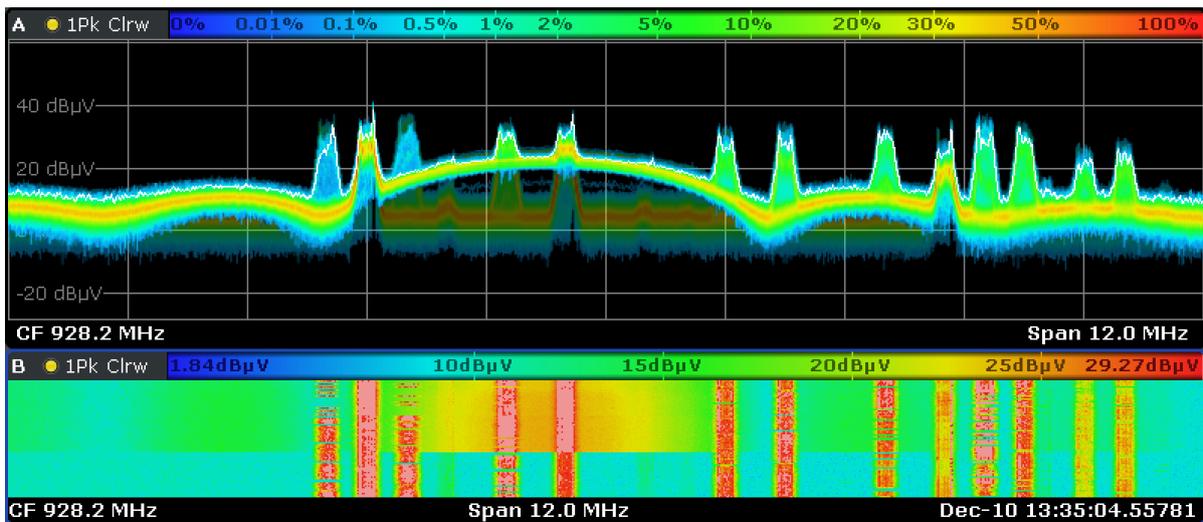


Bild 9 Überlagerung breitbandiger gepulster Störer auf GSM Signal gemessen mit Echtzeit Analyser.

3 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurden die Schwierigkeiten von in-situ EMI Messungen an Windkraftanlagen präsentiert. Durch den Einfluss von Umgebungsstörungen und die mangelnde Möglichkeit einer Vormessung in einer Schirmkammer stellt die Klassifizierung von aufgenommenen Störungen den Prüfenieur vor besondere Herausforderung. Mit einem Echtzeit Analysator kann das Zeitverhalten des Spektrums lückenlos vermessen und so überlagerte Störer identifiziert werden. Damit wird die Klassifizierung deutlich erleichtert. Dies unterstützt die Messungen am Aufstellort der Windkraftanlage nach dem Normentwurf IEC 61400-40 und liefert damit einen Beitrag zur Energiewende.

Literatur

- [1] WindGuard GmbH, Factsheet: Windenergie an Land - Halbjahreszahlen 2019, Abgerufen am 10.12.2019 unter: <https://www.wind-energie.de/themen/zahlen-und-fakten/deutschland/>
- [2] Draft IEC 61400-40 Wind energy generation systems – Part 40: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Requirements and test methods (TC88/724/CD).
- [3] CISPR 16-2-3:2016-09 (Edition 4) Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 2-3: Methods of measurement of disturbances and immunity – Radiated disturbance measurements.