

# Grenzen der klassischen Störaussendungs- und Störfestigkeitsmessungen: Beeinflussung des Störspektrums durch nichtlineare Elemente

Jan Weber, M.Sc., Universität Duisburg-Essen, Deutschland

Prof. Dr.-Ing. Holger Hirsch, Universität Duisburg-Essen, Deutschland

## 1 Einleitung

Ein zu prüfendes System wird als elektromagnetisch verträglich bezeichnet, wenn es zufriedenstellend in seiner vorgesehenen elektromagnetischen Umwelt arbeitet und dort nur in einem zulässigen Maß zum Störgeschehen beiträgt. [1]

Der Beitrag zum Störgeschehen wird mit Störaussendungsmessungen nachgewiesen, welche je nach Prüfling und Umgebung, z.B. durch CISPR-Normen, vorgegeben sind.

Auf gleiche Weise sind Störfestigkeitsmessungen definiert, welche die Prüfbedingungen, zum Nachweis der ausreichenden Festigkeit gegenüber einwirkenden Störgrößen, vorschreiben.

Besteht das zu prüfende System beide Messungen gemäß der zugehörigen Vorschrift, gilt es als elektromagnetisch verträglich bezüglich der Umgebung, für die es vorgesehen ist. Darauf aufbauend kann der Hersteller in der EU eine CE-Kennzeichnung an seinem System anbringen und es innerhalb der Europäischen Union vertreiben.

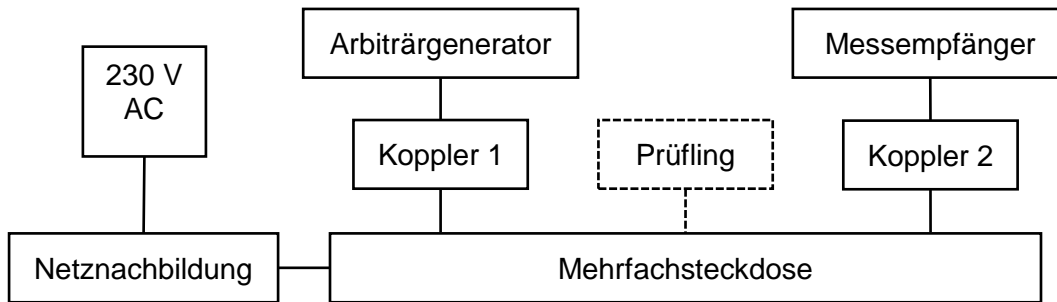
Störaussendungs- und Störfestigkeitsmessungen werden separat durchgeführt. Es wird davon ausgegangen, dass die Ergebnisse überlagert weiterhin ihre Gültigkeit behalten. Außerhalb des Prüflabors liegen allerdings andere Bedingungen vor und zusätzliche Effekte des Prüflings können zum Vorschein kommen.

Zum Beispiel gibt die Störfestigkeitsnorm [2] nur einzelne Störträgerfrequenzen vor, welche mit einer 1 kHz Sinuswelle und einer Tiefe von 80 % amplitudenmoduliert sind. Tatsächlich muss damit gerechnet werden, dass heute eine Vielzahl von Störfrequenzen, ggf. mit diversen unterschiedlichen Modulationstypen, zeitgleich auf das System einwirken. Dies kann, wenn nichtlineare Elemente im System verbaut sind, zu Wechselwirkungen der einwirkenden Einzelfrequenzen führen. Dies sind zum Beispiel Harmonische des Grundstörsignals oder Intermodulationsprodukte (IM). Diese Mischprodukte können nicht nur das System selbst, sondern ebenfalls die Umgebung beeinflussen und ggf. Störungen verursachen. Eine allgemeine Betrachtung des Prüflings als Koppel- oder Mischelement ist in den Prüfnormen bis auf wenige Ausnahmen unüblich.

Diese Arbeit präsentiert Ergebnisse, welche die beschriebenen Wechselwirkungen aufzeigen. Es wird das verwendete Messverfahren erläutert und die Probleme, welche bei der Messung von nichtlinearen Effekten auftreten können, aufgezeigt.

Bei den verwendeten Prüflingen handelt es sich um handelsübliche USB-Schaltnetzteile. Diese beinhalten eingangsseitig eine B2 Gleichrichter-Brücke mit angeschlossenem Kondensator um die anliegende 230 V-Netzwechselspannung gleichzurichten.

## 2 Messaufbau



**Bild 1:** Messaufbau zur zeitgleichen Messung der symmetrischen Störspannung und Einprägung von definierten Störfrequenzen als kombiniertes Arbiträrsignal

Bild 1 zeigt den verwendeten Messaufbau. Die Basis bildet eine Mehrfachsteckdose, welche über eine CISPR16 konforme V-Netznachbildung mit 230 V versorgt wird. In den jeweils äußersten Anschlüssen der Mehrfachsteckdose befinden sich identische Koppler, welche die symmetrische Ein- bzw. Auskopplung von Hochfrequenzsignalen zwischen Phasen- und Neutralleiter erlauben.

Über Koppler 1 kann mit Hilfe des Arbiträrgenerators ein vorab kombiniertes Mischsignal auf die Mehrfachsteckdose gegeben werden. Das Mischsignal besteht aus zwei separaten Sinusfunktionen mit den Frequenzen 10 MHz und 11 MHz.

Die eingekoppelten Signale werden der 50 Hz-Versorgungsspannung überlagert, welche notwendig ist, um den Prüfling mit Spannung zu versorgen. Der Prüfling wird jeweils mittig in der Mehrfachsteckdose zwischen den Kopplern eingesteckt. Ziel dieses Aufbaus ist die Abbildung eines möglichst realitätsnahen und dennoch reproduzierbaren Betriebszustandes für die Prüflinge.

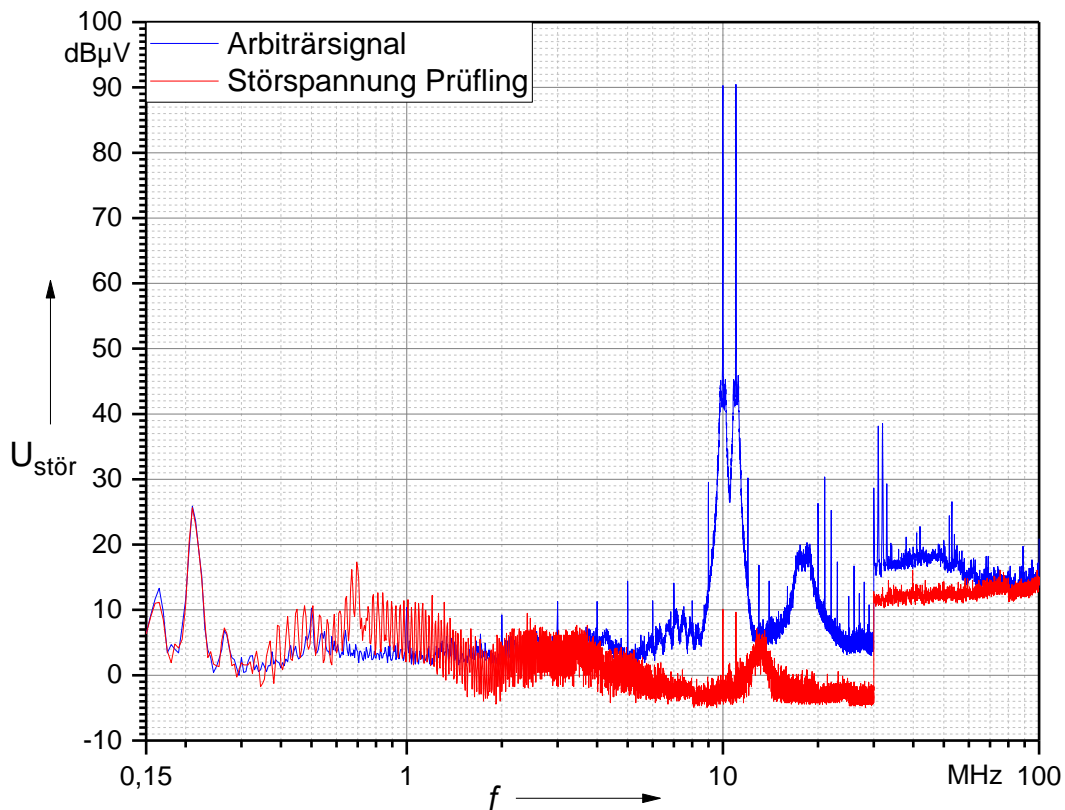
Koppler 2 dient zur Auskopplung der resultierenden Signale bestehend aus den eingepprägten Sinussignalen und denen des Prüflings.

Die Pegel der eingespeisten Signale werden über den Generator so eingestellt, dass an der Auskoppelseite ein Pegel von 90 dB $\mu$ V je injizierter Frequenz mit dem Spitzenwertdetektor gemessen wird.

## 3 Messergebnisse und Auswertung

Bild 2 zeigt exemplarisch die Messergebnisse eines der vermessenen Schaltnetzteile. Die rote Kurve zeigt die Störspannung des Prüflings, ohne Einspeisung des Störsignals. Die blaue Kurve zeigt das reine Arbiträrsignal mit den 2 vorgegebenen Frequenzen und wie diese im Aufbau bereits ohne Prüfling wechselwirken.

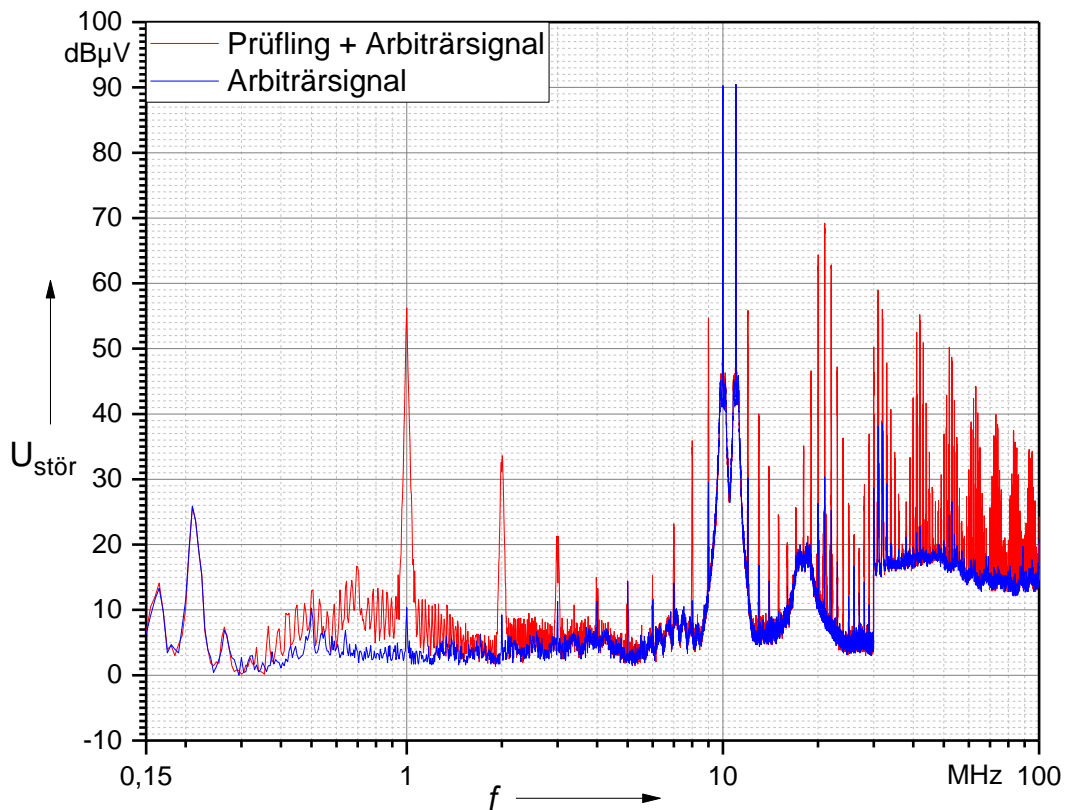
Anzumerken zur Störspannung des Prüflings (rot) ist, dass der Kanal des Arbiträrgenerators zwar ausgeschaltet, aber kontinuierlich mit dem Messaufbau verbunden, sowie das Signal intern geladen ist. Das Arbiträrsignal koppelt daher auch im „ausgeschalteten Zustand“ mit 80 dB $\mu$ V kleinerem Pegel kapazitiv über den Halbleiterschalter des Generatorkanals auf die angeschlossene Leitung und damit in den Aufbau. Dies ist in Bild 2 gut zu erkennen.



**Bild 2:** Messergebnis (Spitzenwertdetektor) - Rot: Störspannung des Prüflings, Blau: Arbiträrsignal ohne Prüfling

Die breitbandige Störung, die in der blauen Kurve im Bereich um ca. 18 MHz zu sehen ist, ist ein Artefakt aus dem Arbiträrgenerator, welches die Messungen nicht nachweisbar beeinflusst. Es ist jeweils die zweite Harmonische bei 20 MHz und 22 MHz, bzw. die dritte bei 30 MHz und 33 MHz deutlich ausgeprägt. Darüber hinaus bilden sich Intermodulationsprodukte zweiter Ordnung (IM2), bei 21 MHz, und dritter Ordnung, bei 9, 12, 31 sowie 32 MHz, vergleichbar aus. Ausgehend von dem eingepprägten Signal sind diese auch ohne Prüfling deutlich sichtbar und weisen eine Pegeldifferenz zum eingepprägten Signal von mindestens 50 dBc auf. Übrige Mischprodukte sind verglichen mit dem Pegel der Sollfrequenzen, mit einer Mindestdifferenz zu diesen von 65 dBc, vernachlässigbar gering.

Anders ist dies, wenn Prüfling und Arbiträrsignal zeitgleich im Messaufbau wirken, dargestellt in Bild 3 als rote Kurve. Oberhalb der eingepprägten Sinusfunktionen bilden sich Harmonische und IM bis 100 MHz und damit bis einschließlich zehnter Ordnung aus. Darüber hinaus endet der hier leitungsgeführt vermessene Frequenzbereich. Es lässt sich allerdings anhand des mit dem Logarithmus der Frequenz linear abfallenden Pegels je Ordnung extrapolieren, dass auch über 100 MHz hinaus Mischprodukte auftreten.



**Bild 3:** Messergebnis (Spitzenwertdetektor) - Rot: Störspannung des Prüflings mit überlagertem Arbiträrsignal, Blau: Arbiträrsignal ohne Prüfling

Auch unterhalb von 10 MHz bilden sich nun deutlich erkennbare IM aus. Der höchste gemessene Pegel liegt hier bei 1 MHz (IM2), welcher ca. 45 dB über dem vorherigen Pegel der Prüflingsstörspannung liegt. Außerdem bilden sich ebenfalls IM4 (2 MHz) und IM höherer Ordnungen (3 MHz und 4 MHz) aus. Insgesamt reduziert sich der Abstand von 50 dBc ohne Schaltnetzteil, auf ca. 20 dBc mit Schaltnetzteil und es bilden sich im gesamten Spektrum Harmonische und IM aller Ordnungen, welche im abgedeckten Frequenzbereich auftreten können, aus.

Typischerweise enden leitungsgeführte Messungen bei 30 MHz, weil angenommen wird, dass darüber hinaus die gestrahlte Kopplung dominant wird, da Strukturen ab der Größenordnung eines Zehntels der Wellenlänge beginnen elektromagnetische Wellen abzustrahlen [3]. Ausgehend davon ist damit zu rechnen, dass bei Anwesenheit eines Schaltnetzteils mit Diodengleichrichter und mehrerer Frequenzen auf einer Leitung, was in der Realität (z.B. durch eine pulsweitenmoduliert betriebene Leistungselektronik) der Fall ist, ein großer Teil des Spektrums mit Mischprodukten gefüllt wird. Diese finden auf ausgedehnten Leitungsstrukturen, wie Hausinstallationen, ausreichend Möglichkeiten zum Abstrahlen. Somit ist die Störung von Funkdiensten durch die Mischfunktion von Geräten im Netz möglich, die für sich betrachtet eine zufriedenstellende Störaussendung und Störfestigkeit aufweisen.

## 4 Fazit und Ausblick

In aktuellen EMV-Prüfnormen werden fast ausschließlich die Quellen- und Senken-Eigenschaften für elektromagnetische Störgrößen adressiert. Eine Charakterisierung des Prüflings als Koppelement erfolgt üblicherweise nicht.

Diese Arbeit zeigt, dass eine allgemeine Betrachtung des Prüflings als Koppelement, zum Beispiel für Schaltnetzteile mit Diodengleichrichter, notwendig sein kann. Aus diesem Grund wird mit dieser Arbeit ein erster Schritt in eben diese Richtung getan. Das Fernziel ist es auf Basis der bislang gewonnenen Erkenntnisse aufzubauen und eine Möglichkeit zu finden, das Störpotential von elektrischen Einrichtungen in der Eigenschaft als Koppelement zu charakterisieren und klar definierte Messbedingungen zu schaffen.

### Literatur

- [1] Richtlinie 2014/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Februar 2014
- [2] DIN EN 61000-4-6 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV – Teil 4-6: Prüf- und Messverfahren – Störfestigkeit gegen leitungsgeführte Störgrößen, induziert durch hochfrequente Felder
- [3] A. J. Schwab und W. Kürner, Elektromagnetische Verträglichkeit, Berlin Heidelberg: Springer, 2011, S. 26