

# Auswirkungen normativer Änderungen des Prüflingsaufbaus für die Störfeldstärkebewertung am Beispiel der neuen IEC 61800-3 ed. 3

Dipl.-Ing. Christian Paulwitz, EPCOS AG, EMV-Labor Regensburg

## 1 Hintergrund

Die Erwartung des Laien an ein Prüfergebnis für ein bestimmtes Produkt ist eine eindeutige produktbezogene Aussage für im realen Betrieb zu erwartende Eigenschaften. Der technisch Interessierte weiß um den Einfluss von Messunsicherheiten und daher um die Bedeutung des Abstands von Messwerten zum Grenzwert für eine Konformitätsaussage. Mit zunehmender Fachkompetenz gibt es ein Bewusstsein für die Notwendigkeit standardisierter Betriebsbedingungen und Aufbauten, um Prüfergebnisse untereinander innerhalb bestimmbarer Toleranzen vergleichbar zu machen, aber auch für Einschränkungen in Bezug auf die Vergleichbarkeit mit dem realen Betrieb, die sich daraus ergeben. Dass man die Standardisierung von Prüfbedingungen und die Produktentwicklung miteinander auch mit dem Ziel verknüpfen kann, vermeintliche Kostenoptimierungen bei der Freigabe zu erzielen, weiß man im Bereich der EMV bereits lange, bevor dies in Bezug auf Abgasemissionsvorgaben einer breiteren Öffentlichkeit bewusst wurde.

Anhand des Vergleichs der Ausgaben ed. 2 [1] und ed. 3 [2] der IEC 61800-3 wird beispielhaft untersucht, was Änderungen am normativen Prüfaufbau für Störfeldstärkemessungen für die Bewertung des Prüflings bedeuten können. Zunächst deduktiv mit Überlegungen bzgl. erwartbarer Tendenzen, dann verifizierend durch Vergleichsmessungen.

## 2 Änderung an der IEC 61800-3 ed. 3 bezüglich des Aufbaus für die Störfeldstärkemessung und zu erwartende Auswirkungen

### 2.1 Definition des Prüflings

Beide Ausgaben der Norm beziehen sich im Titel auf „*adjustable speed electrical power drive systems*“ (PDS) und definieren ein PDS bestehend aus einem „*complete drive module*“ (CDM), das einerseits aus Frequenzumrichter und Steuerung (BDM: „*basic drive module*“) sowie andererseits Zusatzequipment wie Bremswiderstände, Motor und Sensoren besteht. Angewendet wird die Norm vor allem für die Bewertung von Frequenzumrichtern, aber aufgrund der Definition wurde das PDS in Anwendung der ed. 2 im Sinne der Norm als Prüfling betrachtet und für Störfeldstärkemessungen im Prüfvolumen angeordnet, inklusive der vollständigen Verbindungsleitungen. Eine explizite Definition des Prüflings (EUT) findet sich in beiden Ausgaben der Norm gleichlautend im nur informativen Anhang A - dort wird als *equipment under test* jeweils das PDS genannt. Im Abschnitt 6.3.1.3.2 der ed. 3 wird neu ein Prüfvolumen beschrieben, wobei der Prüfling hier offensichtlich nicht mehr das ganze PDS umfasst, da der Motor unter der Bedingung, dass die Motorleitung über ein CMAD (common mode absorption device) geführt wird, auch außerhalb des Prüfvolumens stehen darf – ansonsten aber auf der Drehscheibe stehen muss („*The motor and all the cables shall be inside the imaginary cylinder unless the cables leave the cylinder through CMAD(s)*“). Eine Definition des EUT findet sich im

normativen Teil der ed. 3 jedoch explizit in der Legende zu „Figure 5“ und „Figure 6“ in der Beschreibung des Prüfvolumens: „*This is the boundary of the imaginary cylinder around the complete configuration of the EUT (BDM/CDM parts of the PDS)*“. Da auf dem Markt nur CMADs verfügbar sind, die für einen maximalen Gesamtquerschnitt der Leitung von 20 mm geeignet sind, ist dieser Aufbau in der Praxis nach heutigem Stand auch nur für die kleineren Leistungen umsetzbar. Aufgrund der Variabilität des Aufbaus sind jedenfalls große Ergebnisunterschiede zu erwarten.

## **2.2 Festlegungen für die Netzleitung hinsichtlich Länge und Abschluss**

Ob für die Netzleitung, die ja das Prüfvolumen verlassen muss, eine CMAD zum Abschluss gefordert ist, wird aus dem Text nicht ganz klar, doch die Bilder suggerieren dies. Es heißt: "*The use of CMADs is recommended, as they contribute to reproducible test results. However, the use of CMADs is not mandatory. They serve to define the common mode impedance and resonances (...), thus improving reproducibility.*" – Eine explizite Länge des im Prüfvolumen verbleibenden Netzleitungsabschnitts ist nicht angegeben, die Bilder zu den Messaufbauten legen jedoch nahe, dass bei Tischaufbauten die Länge bei etwa 1 m liegt (vom Tisch direkt auf den Boden), und bei Standgeräten sicher nicht länger. Auch die vorhergehende Fassung der Norm gibt keine explizite Netzleitungslänge an, sieht keine CMAD vor und enthält auch keine Messaufbau-Bilder.

## **2.3 Festlegungen für die Motorleitung hinsichtlich Länge und Abschluss**

Zur Motorleitung ist festgelegt: "*The load and cable lengths shall be within the manufacturer's specification and the actual load and power interface cable length shall be noted in the test report.*" – Die Länge wird also etwas vage den Herstellervorgaben überlassen, außer sie wird zum außerhalb des Prüfvolumens stehenden Motor geführt. Dann gilt: "*The power interface cable between the CDM/BDM and the motor shall be exposed to the antenna with at least 0,8 m length inside the test volume, (...).*" Abschluss mit CMAD, da die Leitung ja das Prüfvolumen verlässt. In der ed. 2 der Norm ist von CMADs nicht die Rede; die Motorleitung verlässt das Prüfvolumen nicht.

## **2.4 Kritik der normativen Vernunft [3]**

Es ist das Selbstverständnis von Normen, den Stand der Technik zu beschreiben. Entsprechend werden Änderungen von Normen wahrgenommen. Man geht davon aus, dass die Auswirkungen der Änderungen geprüft wurden. Grundlage der Normungsarbeit ist also die Kenntnis der Auswirkungen normativer Änderungen und nicht nur die Beschreibung der Umsetzung eines gerade opportun erscheinenden speziellen Aspekts. Erkenntnisgewinn ist grundsätzlich auf zwei Arten möglich, nämlich deduktiv aus bereits gesichertem Wissen theoretisch abgeleitet, und induktiv aus gesammelten Erfahrungen empirisch gewonnen. Seit David Hume (1711-1776) gilt der deduktive Ansatz mit den Mitteln von Logik und Vernunft der induktiven Methode als überlegen, da die rein empirische Methode nie den Beweis der Allgemeingültigkeit liefern kann. In der Praxis findet jedoch meist eine Mischung des deduktiven und des induktiven Ansatzes statt, z. B. indem durch Grundüberlegungen aus gesichertem Wissen eine Erwartung abgeleitet wird und diese durch Versuche in der Praxis zu bestätigen versucht wird – schon allein um eine gewisse Absicherung gegen fehlerhafter Überlegungen zu liefern.

Als gesichertes Erkenntnis für die Störabstrahlung von Leitungen in das Fernfeld der Umgebung gilt, dass die abstrahlenden Strukturen mindestens ein Zehntel der Wellenlänge erreichen sollten und maximale Abstrahlung etwa bei einem Viertel der Wellenlänge erreicht werden kann. Dies entspricht dem Modell eines Monopols, wobei die Störquelle, die die als Monopol wirkende Leitungsstruktur speist, mit einer fehlangepassten Fußpunktimpedanz behaftet ist, die Bezugsmasse des Monopols durch die Gegebenheiten des Geräts als sehr klein anzusehen ist und die Spitze des Monopols durch eine Impedanz – sei es durch die oben vorgeschlagene CMAD oder durch die Gegebenheiten der Netzinstallation selbst – gegen eine große Groundplane abgeschlossen ist. Parallel dazu wirken parasitäre Kapazitäten zwischen den Abschnitten der Leitung und der Groundplane. So wird auch die abschließende Impedanz selbst durch die Länge der freien Leitung über der Groundplane verändert und beeinflusst die Resonanzfähigkeit. Eine CMAD dürfte aufgrund der Verluste zusätzlich die Güte reduzieren. Grundsätzlich ist jedoch zu erwarten: wird die Länge der abstrahlenden Struktur deutlich kleiner als  $\lambda/4$ , so ist die Störabstrahlung – sofern die Struktur wesentlich dazu beiträgt – wahrscheinlich deutlich niedriger als mit längeren Leitungsstrukturen.

### **3 Auswahl eines Musterprüfaufbaus und Vorgehensweise zur Verifizierung der Überlegungen**

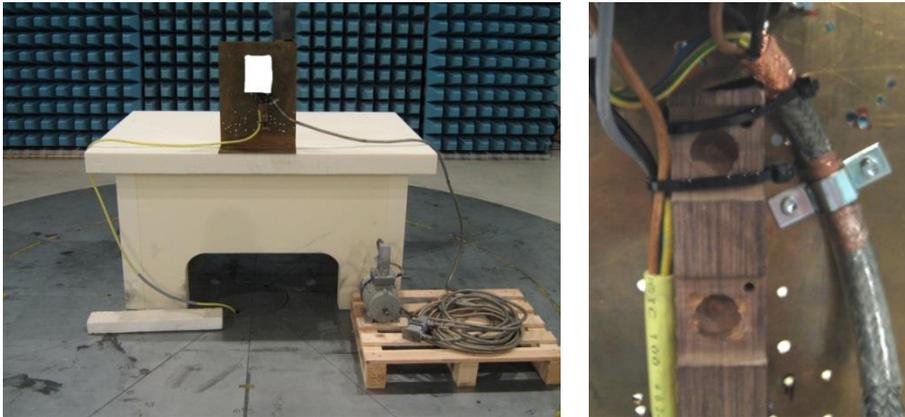
Bei der Auswahl des Prüflings ist das entscheidende Kriterium, dass er über ein signifikantes Störspektrum in dem Frequenzbereich verfügt, das für die Längenänderung abstrahlender Leitungsgeometrien relevant ist. Dies dürfte mit  $\lambda/2 = 80 \text{ cm}$  – also bis etwa 200 MHz ausreichend erfüllt sein. Umrichterleistung und damit der Querschnitt der Motorleitung wurden so gewählt, dass die Anwendung einer CMAD möglich ist. Aus Erfahrungen mit unterschiedlichen Geräten wurde ein 750-W-Umrichter für geeignet befunden und mit einer Motorleitung mit Cu-Querschnitt  $4 \times 1,5 \text{ mm}^2$  betrieben. Die Konfiguration erfolgt als Tischaufbau (Motor und Motorleitung jedoch am Boden). Als Leitungstyp wurde Lappkabel CY100 verwendet. Die Qualität der Schirmung hat einen Einfluss auf das Abstrahlungspotential der Motorleitung. Sie ist typischerweise bei kleineren Querschnitten aufgrund des höheren Abdeckungsgrads von Schirmgeflechten besser als bei größeren. Die Motorleitungslänge beträgt zunächst 20 m.

Ausgehend von einem Prüfaufbau entsprechend der ed. 2 der IEC 61800-3 wird mit einer Netzleitungslänge von 2 m zwischen Groundplane und Prüfling begonnen. Zunächst ohne, dann mit CMAD wird bei nach und nach kürzeren freien Netzleitungsabschnitten der Aufbau an die ed. 3 bzgl. CMAD auf der Netzleitung angenähert, wobei die Motorleitung zunächst unverändert bleibt und der Gesamtaufbau über die ganze Messreihe auf der Drehscheibe verbleibt, um die geometrischen Verhältnisse außerhalb der untersuchten Effekte möglichst wenig zu verändern. Im nächsten Schritt wird die Wirkung der CMAD auf der Motorleitung untersucht.

Die Feldstärkemessungen werden in einer Absorberhalle mit Groundplane und Messentfernung 10 m in einem Frequenzbereich von 30 bis 300 MHz durchgeführt. Um die Messpunkte kontinuierlich vergleichen zu können, wird ein FFT-basierter Messempfänger eingesetzt und mit Quasi-Peak-Detektor gemessen. Dabei werden acht Drehscheibenwinkel und acht Antennenhöhen abgefahren und die Maximalkurve festgehalten. Es wird ausschließlich mit vertikaler Antennenpolarisation gemessen, da dies im Frequenzbereich bis 100 MHz die dominante Komponente ist.

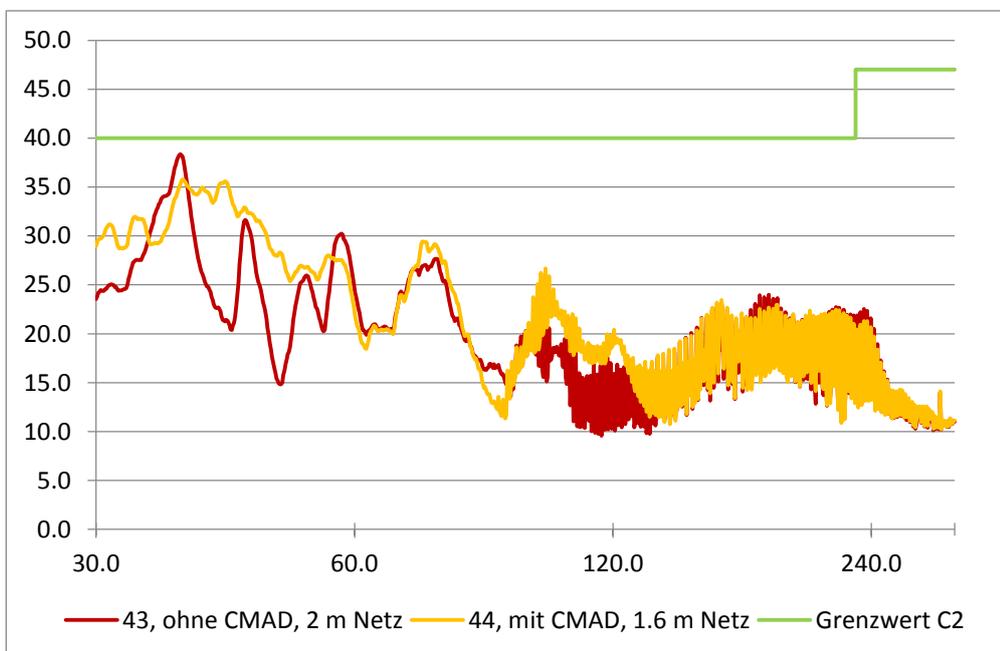
## 4 Durchführung der Untersuchungen und Ergebnisse

### 4.1 Messaufbau für die Ausgangsmessungen



**Bild 1:** Messaufbau entsprechend der ed. 2 der IEC 61800-3, die jedoch Länge der Netzleitung und Leitungslagen nicht eng definiert. Netzleitung von 2 m Länge horizontal und vertikal verlegt, ohne CMADs

Bild 1 zeigt den Messaufbau für die Ausgangsmessung, wie er in Anwendung der ed. 2 der Norm möglich wäre. Der Umrüchter wird auf eine kleine vertikale Metallplatte montiert und die ersten 20 cm von Netz- und Motorleitung zueinander fixiert, damit sich in diesem Bereich bei Änderung der Gesamtlage der Leitung nicht die Kopplungsverhältnisse verändern. Es werden keine CMADs angewendet. Die Netzleitungslänge beträgt 2 m. Wegen der fehlenden Definition der Abschlussimpedanz der Netzleitung ist das Ergebnis der Messungen bei dominanter Abstrahlung über die Netzleitung stark vom Labor und den dortigen Impedanzverhältnissen abhängig.

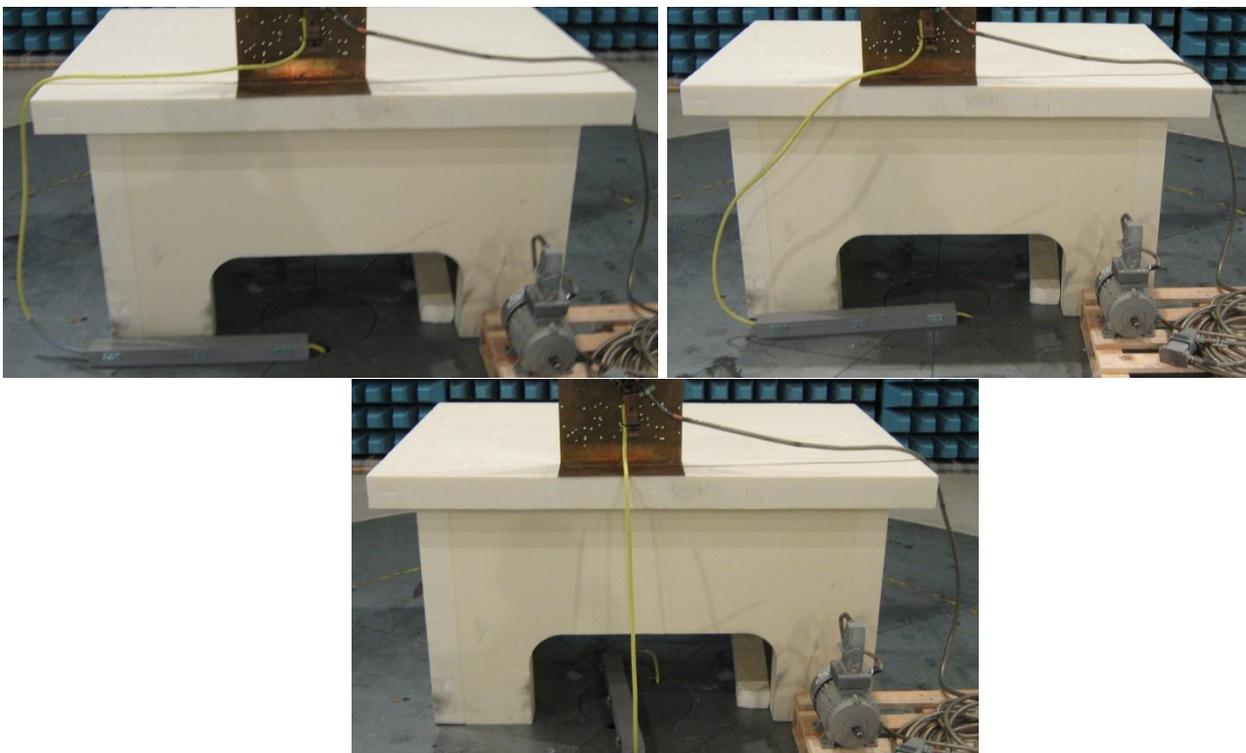


**Bild 2:** Messergebnis mit Aufbau entsprechend Bild 1 (dunkelrote Kurve), Grenzwert Kategorie C2, gleich im Vergleich mit der Anwendung einer CMAD auf der Netzleitung, so dass ich die wirksam abstrahlende Netzleitungslänge auf 1,6 m verkürzt (orangene Kurve), vgl. Bild 3 (Teilbild oben links). Werte in [dBµV/m] über der Frequenzachse [MHz]

Das ermittelte Maximum (dunkelrote Kurve) liegt etwa 2 dB unter dem Grenzwert. Auffallend sind die ausgeprägten Maxima und Minima bis 60 MHz, die auf Resonanzeffekte hindeuten. Oberhalb 100 MHz sind Meßwerte im folgenden zum Teil schwierig vergleichbar wegen der ausgeprägten Aufmodulationen.

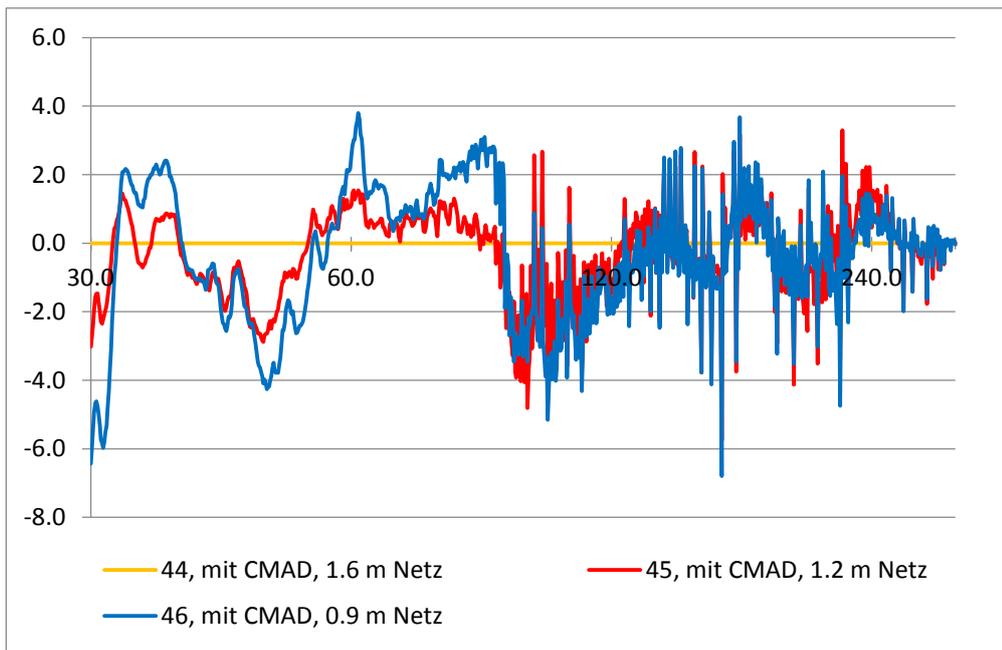
## 4.2 Netzleitung mit CMAD bei verschiedenen Positionen

Eine CMAD ist wirksam durch Ferrite, die nicht nur eine definierte Abschlussimpedanz schaffen, sondern durch ihre Verluste tendenziell auch entstörend wirken können. Dies war der Grund dafür, dass die CMAD nach ihrer normativen Festlegung vor einigen Jahren nur sehr langsam in die Produktfamiliennormen Einzug gefunden hat. Wendet man die CMAD nun auf den Aufbau zur Ausgangsmessung an, so dass der freie Netzleitungsabschnitt sich etwa um die Länge der CMAD auf 1,6 m verkürzt, dann kann eine entstörende Wirkung nur zum Teil bestätigt werden (vgl. Bild 2): Einem nur geringfügig niedrigeren Maximum steht eine deutliche Verringerung der Resonanzausprägung gegenüber. Insgesamt liegt die Kurve im kritischen Frequenzbereich eher höher. Bei einer anderen Netzimpedanz – also in einem anderen Labor – dürfte die Ausgangskurve und Resonanzausbildung ohne CMAD deutlich anders aussehen. Vorteil der CMAD ist die Vereinheitlichung der Abschlussimpedanz und die bessere Vergleichbarkeit von Messergebnissen. Verschiebungen der Resonanzausprägung der Maxima z. B. um 10 MHz, könnten je nach Kontinuität des Störspektrums eines Prüflings zu deutlich unterschiedlichen Püfergebnissen führen. Da die Impedanzen in realen Messaufbauten unbekannt sind, ist jedes Ergebnis in gewisser Weise realistisch. Die hier beobachtete Wirkung der CMAD, die Bereiche der Resonanzauslöschungen bei den Minima deutlich anzuheben, ist daher eine in Summe begrüßenswerte Verbesserung des Messaufbaus und erleichtert insbesondere im Folgenden die Vergleichbarkeit und Aussagekraft der Ergebnisse.



**Bild 3:** Messaufbauten mit CMAD auf der Netzleitung an unterschiedlichen Positionen: 1,6 m / 1,2 m und 0,9 m freie Netzleitung (Annäherung an ed. 3 der Norm).

Denn die eigentliche Problematik der Anwendung der CMAD entsteht, wenn der abstrahlungsfähige Teil der Leitungslänge so weit verkürzt wird, dass sie deutlich kleiner als  $\lambda/4$  wird, also im unteren Frequenzbereich nur noch eingeschränkt wirksam ins Fernfeld abstrahlen kann. Um dies zu verdeutlichen, wird die Länge der Netzleitung zwischen Umrichter und CMAD schrittweise von 1,6 m über 1,2 m auf 0,9 m verkürzt und damit dem Aufbau aus der neuen IEC 61800-3 angenähert (Bild 3), die bei einem Tischaufbau der Umrichterkonfiguration eine CMAD direkt am Boden vorsieht. Die Ergebnisse zeigen die erwartete Auswirkung. Insbesondere bei 30 bis 35 MHz kommt es zu deutlich niedrigeren Bewertungen bei Verkürzung der Netzleitung – stärker als die neuen Überhöhungen an anderen Stellen. Bild 4 referenziert zur Veranschaulichung die Veränderung der Reduzierung der Netzleitungslänge auf 1,2 m und 0,9 m auf das erste Ergebnis mit 1,6 m:



**Bild 4:** Vergleich der verkürzten wirksamen Netzleitungslänge durch unterschiedliche Positionen der CMAD auf der Leitung bezogen auf die erste CMAD-Position mit 1,6 m abstrahlungsfähiger Netzleitung. Werte in [dB] über der Frequenzachse [MHz]

### 4.3 Wirkung der CMAD kombiniert auf Netzleitung und Motorleitung

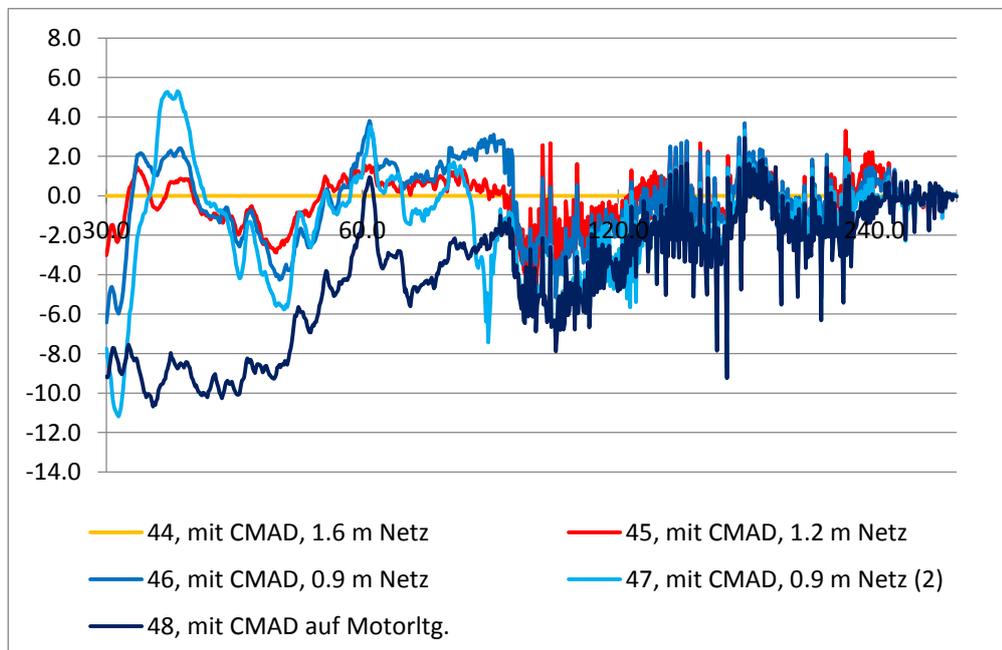
In Abschnitt 4.2 ging es um die Wirkung der CMAD auf die Netzleitung, wie sie in vielen Normen bereits angewendet wird, und wie dies die Bewertung des Prüflings tendenziell verändert. Der Prüfling muss zu seiner Umgebung in definierter Weise abgegrenzt werden – ein Teil der Anschlussleitung gehört zwangsläufig zum Prüfling, ist aber sinnvoll zu begrenzen. Bei der Anwendung der CMAD auf der Motorleitung geht es aber um eine Veränderung des Prüflings selbst, der entweder als vollständiger Aufbau einschließlich Motorleitung und Motor im Prüfvolumen besteht, oder letztere werden nach außerhalb des Prüfvolumens geschoben, wobei Motorleitung und Motor weitgehend mit einer CMAD abgekoppelt sind. Beide Aufbauten sind in der ed. 3 der IEC 61800-3 gleichberechtigt, aber mit dem CMAD-Aufbau ist es leichter, die Bedingungen für kleine Prüflinge und den verringerten Meßabstand von 3 m zu ermöglichen.

Um beispielhaft zu untersuchen, was dies für eine Auswirkung auf die Bewertung haben kann, muss zunächst der obere Grundaufbau verändert werden, in dem die Motorleitung bewusst zunächst auf dem Tisch zur Seite weggeführt war, um Wechselwirkungen mit der Netzleitung möglichst zu verhindern. Dazu wird in einem Zwischenschritt die Motorleitung parallel zur Netzleitung direkt nach unten geführt (Bild 5 links), um sie in einem zweiten Schritt direkt dort am Boden mit einer CMAD zu belegen (Bild 5 rechts).



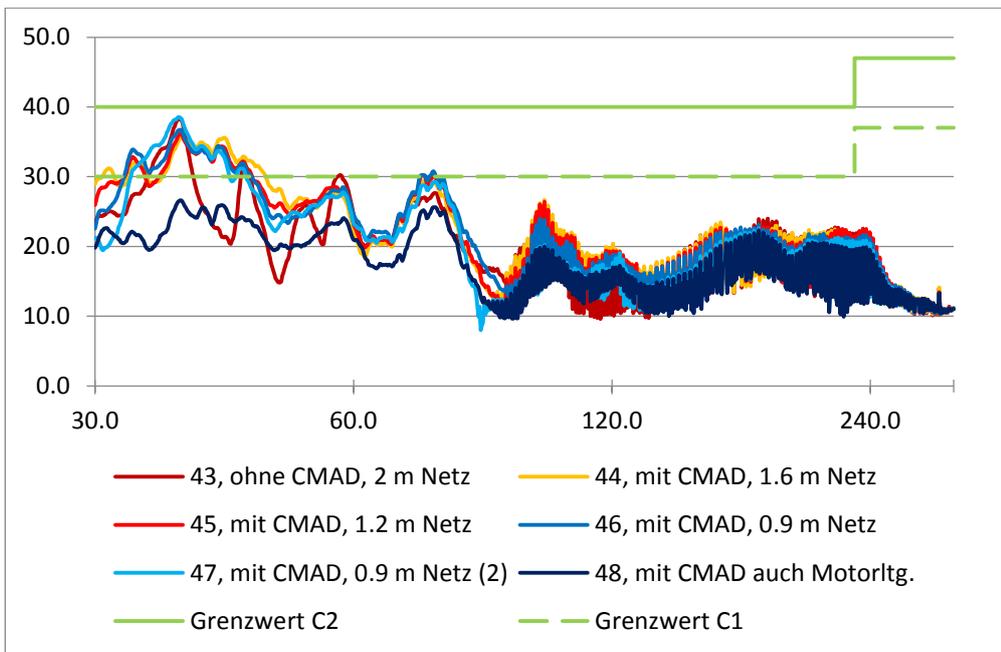
**Bild 5:** Messaufbauten mit CMAD auf der Netzleitung und veränderter Motorleitungslage mit und ohne CMAD zur weiteren Annäherung an den neuen optionalen Aufbau der ed. 3 der Norm.

Motorleitung und Motor bleiben in der Position jedoch unverändert und werden nicht aus dem Prüfvolumen entfernt, da es hier um die Untersuchung der Wirkung der CMAD geht. Werden Prüfling und Motor aus dem Prüfvolumen entfernt, so ist sicher nicht damit zu rechnen, dass die Wirkung der CMAD dadurch aufgehoben wird; es würden eher weitere potentielle abstrahlungsfähige Geometrien aus dem Prüfaufbau verschwinden. Ergänzt man die beiden Messkurven dazu in Bild 4, so erhält man Bild 6:



**Bild 6:** Darstellung von Bild 4 erweitert um eine weitere Messung mit veränderter Motorleitungslage ohne CMAD auf der Motorleitung und dann mit CMAD auf der Motorleitung. Werte in [dB] über der Frequenzachse [MHz].

Bild 7 zeigt die Messkurven, die zu der relativen Darstellung von Bild 6 gehören:



**Bild 7:** Zugrundeliegende Feldstärke-Messkurven zu Bild 6. Werte in [dBµV/m] über der Frequenz [MHz].

## 5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Es wurde begründet und an einem Beispiel verifiziert, dass der optionale Prüflingsaufbau für Störfeldstärkemessungen unter Veränderung der Prüflingskonfiguration und unter Anwendung einer CMAD auf der Motorleitung, der in der neuen Ausgabe der IEC 61800-3 eingeführt wird, die gemessene Störaussendung erheblich reduziert, ohne dass die Störquelle selbst oder in ihrer praktischen Anwendung im Feld in irgendeiner Weise verändert wird. In obigem Beispiel beträgt die Verbesserung deutlich eine Grenzwertklasse. – Erfolgreiche Normung?

Positiv zu sehen ist der Versuch, durch Beschreibungen und Bilder Festlegungen für den Prüfaufbau zu verdeutlichen, doch werden neue Unklarheiten aufgeworfen. Die IEC 61800-3 ed. 3 ist erst Anfang des Jahres erschienen und noch nicht als EN-Fassung verfügbar. Ähnliche Maßnahmen zur Veränderung des Prüflingsaufbaus sind auch bei anderen Normen desselben TCs zu beobachten, z. B. bei der IEC 62040-3 (Unterbrechungsfreie Stromversorgung). Die Möglichkeit, bei „kleinen Prüflingen“ den Messabstand zu verringern, hat einen Anreiz geschaffen, die Betrachtung des Prüflings zu verändern. Damit verbunden sind Umdefinitionen des Prüfaufbaus und Auswirkungen auf die Prüfergebnisse, obwohl Grenzwerte unverändert bleiben.

### Literaturangaben

- [1] IEC 61800-3 ed. 2:2004 + A1:2011: Adjustable speed electrical power drive systems – Part 3: EMC requirements and specific test methods
- [2] IEC 61800-3 ed. 3, Feb. 2017: Adjustable speed electrical power drive systems – Part 3: EMC requirements and specific test methods
- [3] Immanuel Kant: „Kritik der reinen Vernunft“, 1781/1787; erkenntnisphilosophisches Werk, bis heute grundlegend für die Prinzipien wissenschaftlicher Arbeit