

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) und funktionale Sicherheit für Leistungsantriebssysteme, Steuerungen und Sensoren mit integrierten Sicherheitsfunktionen

1 Allgemeines

Zur Steuerung von Maschinenbewegungen setzt man häufig elektronische Betriebsmittel ein, die naturgemäß durch elektromagnetische Phänomene beeinflusst werden können. Antriebssteuerungen oder Komponenten mit integrierter funktionaler Sicherheit werden überwiegend nach DIN EN 61508 [1] geprüft. Diese Normenreihe sieht eine erhöhte Störfestigkeit für elektronische Betriebsmittel vor, die sicherheitsbezogene Funktionen ausführen, und verweist direkt auf die DIN EN 61000-1-2 [2] (Elektromagnetische Verträglichkeit – Teil 1-2: Allgemeines – Verfahren zum Erreichen der funktionalen Sicherheit von elektrischen und elektronischen Systemen einschließlich Geräten und Einrichtungen im Hinblick auf elektromagnetische Phänomene).

Die DIN-EN 61000-1-2 [2] ist im Industriebereich die Basisnorm für die EMV-Störfestigkeit bei funktionaler Sicherheit und beschreibt die allgemeine Methodik zum Erreichen der funktionalen Sicherheit im Hinblick auf elektromagnetische Phänomene. Sie enthält aber keine Festlegung für Prüfpegel, sondern verweist diesbezüglich auf die DIN EN 61000-6-7 [3].

Die DIN-EN 61000-6-7 [3] ist im Industriebereich die Fachgrundnorm für die EMV-Störfestigkeit bei funktionaler Sicherheit. Diese Norm legt die absoluten Mindestanforderungen an die EMV-Störfestigkeit fest und wird benutzt, wenn keine Produktnorm vorhanden ist, keine Prüfpegel definiert sind oder die EMV-Anforderungen nicht die Aspekte der funktionalen Sicherheit berücksichtigen. Die DIN EN 61000-6-7 [3] soll verhindern, dass weitere Produktnormen entstehen und EMV-Anforderungen definieren, die der funktionalen Sicherheit nicht ausreichend entsprechen.

Produktnormen haben zwar grundsätzlich Vorrang vor Fachgrundnormen, allerdings müssen nicht betrachtete EMV-Phänomene oder reduzierte Prüfanforderungen gegenüber dieser Fachgrundnorm technisch begründet werden und auch vertretbar sein.

Weitere Produktnormen zu EMV und funktionaler Sicherheit

- *DIN EN 61800-5-2 [4] (Elektrische Leistungsantriebssysteme mit einstellbarer Drehzahl – Teil 5-2: Anforderungen an die Sicherheit)*

Speziell für Leistungsantriebssysteme und Drehgeber sind in der Produktnorm DIN EN 61800-5-2 [4] für die EMV-Störfestigkeit erhöhte Prüfpegel definiert. In Anlehnung an die DIN EN 61000-6-7 [3] wurden die EMV-Phänomene und Prüfpegel übernommen, Prüfanschlüsse (Ports) wurden neu angepasst. Die deutsche Version der IEC 61800-5-2 befindet sich zurzeit noch in der Übersetzung.

- *DIN EN 61326-3-1 [5] Elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte – EMV-Anforderungen – Teil 3-1*

Die DIN EN 61326-3-1 [5] regelt die Störfestigkeitsanforderungen für sicherheitsbezogene Systeme und für Geräte, die für sicherheitsbezogene Funktionen vorgesehen sind (funktionale Sicherheit). Sie befindet sich zurzeit in der Überarbeitung und lehnt sich bei EMV-Phänomenen und Prüfpegeln an die Regelungen der DIN EN 61000-6-7 [3] an.

- *DIN EN 61326-3-2 [6] Elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte – EMV-Anforderungen – Teil 3-2*

Die DIN EN 61326-3-2 [6] definiert die Prüfpegel in einer speziellen EMV-Umgebung, beispielsweise mit Handyverbot und erhöhten Störmagnetfeldern.

- *DIN EN 62061 [7] Sicherheit von Maschinen – Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer, elektronischer und programmierbarer elektronischer Steuerungssysteme*

Die Anwendungsnorm DIN EN 62061 [7] verweist bei den EMV-Anforderungen auf die DIN EN 61326-3-1 [5].

- *DIN EN 61496-1 [8] Sicherheit von Maschinen – Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfungen*

Speziell für „Berührungslos Wirkende Schutzeinrichtungen“ (BWS) werden die EMV-Anforderungen in der DIN EN 61496-1 [8] definiert. Diese erreichen aber nicht die Prüfschärfegrade der DIN EN 61000-6-7 [3]. Die DIN EN 61496-1 [8] befindet sich zurzeit in der Überarbeitung.

- *ISO 13766-2 [9] Erdbaumaschinen und Baumaschinen – Elektromagnetische Verträglichkeit von Maschinen mit internem elektrischem Bordnetz – Teil 2: Zusätzliche EMV-Anforderungen für die funktionale Sicherheit*

Für Baumaschinen und Erdbaumaschinen mit integrierter funktionaler Sicherheit ist die ISO 13766 2 [9] (EMV-Störaussendung und -Störfestigkeit) zurzeit noch in Arbeit (Final Draft International Standard, FDIS). Diese Norm benutzt als Sicherheitsnorm die DIN EN ISO 13849 (Sicherheit von Maschinen) [10].

Einen Überblick über die oben aufgeführten Normen und deren Verweise aufeinander vermittelt Abbildung 1. Die DIN EN 61496-1 hat keinen direkten Bezug zu den anderen aufgeführten Normen und definiert eigene EMV-Anforderungen (gelb dargestellt).

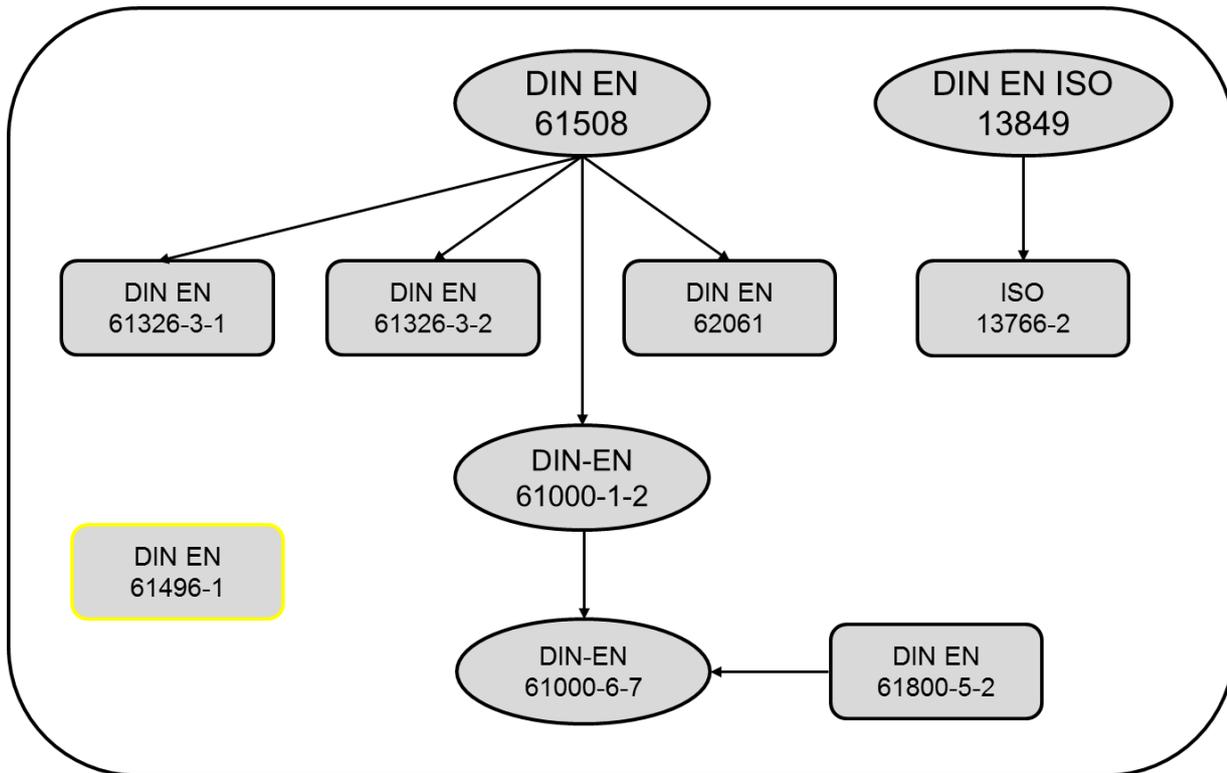


Abbildung 1: Normen zu EMV und funktionaler Sicherheit im Überblick

2 Festlegung der Prüfpegel

Antriebssteuerungen oder Komponenten mit integrierter funktionaler Sicherheit nach DIN EN 61508 [1], die heute in Verkehr gebracht werden, müssen einer erhöhten Störfestigkeit gegenüber elektromagnetischen Störfeldern entsprechen. Als pragmatischer Ansatz werden dabei die Prüfpegel verdoppelt bzw. der nächsthöhere Prüfschärfegrad aus den bisher definierten Standard-EMV-Prüfungen ausgewählt, um die erhöhten Prüfpegel zu erhalten. Ist Safety Integrity Level 3 (SIL3) erforderlich, wird zusätzlich die Prüfungsdauer oder die Anzahl der Störimpulse erhöht. Die EMV-Phänomene Spannungsschwankungen und Spannungsunterbrechungen sowie Magnetfelder erfahren dabei keine Erhöhung der Prüfpegel oder Prüfdauer.

Die in Abschnitt 1 angegebenen Normen unterscheiden sich in den definierten Prüfpegeln etwas voneinander. So werden z. B. in der DIN EN 61326-3-1 [5] für die Störfestigkeit gegenüber Burst (Einwirkung von schnellen Transienten) maximal 3 kV anstelle 4 kV sowie für die Störfestigkeit gegenüber leitungsgeführter Hochfrequenz 10 V_{eff} anstelle 20 V_{eff} definiert. Für die EMV-Prüfung müssen daher die produktspezifische Norm herangezogen und die darin festgelegten Prüfpegel verwendet werden.

3 Prüfbedingungen und Prüfkriterium

Die Erfüllung der Anforderungen der DIN EN 61508 [1] soll sicherstellen, dass sicherheitsrelevante Produkte durch elektromagnetische Einwirkungen nicht unsicher ausfallen. Es werden hingegen keine Anforderungen an die *Produktverfügbarkeit* gestellt.

Konsequenterweise wird in DIN EN 61326-3-1 [5] und in der Produktnorm DIN EN 61800-5-2 [4] (Power Drive Systems, Safety Requirements) das Prüfkriterium FS (fail safe) eingeführt. Die DIN EN 61000-1-2 [2] und 61000-6-7 [3] dagegen haben das Kriterium FS umbenannt in DS (defined state). Beide Kriterien haben aber die gleiche Bedeutung.

In der DIN EN 61000-6-7 [3] heißt es:

- a) *Die Funktionen des zur Verwendung in Sicherheitsanwendungen vorgesehenen Prüflings*
- 1) *werden nicht so beeinflusst, dass sie außerhalb ihrer Spezifikation geraten oder*
 - 2) *dürfen vorübergehend oder dauerhaft beeinflusst werden (auch durch die Zerstörung von Komponenten bzw. Bauteilen), wenn der Prüfling auf eine Störgröße in einer Weise reagiert, dass der detektierbare und definierte Zustand (oder Zustände) des Prüflings*
 - i) *aufrechterhalten wird oder*
 - ii) *nach einer angegebenen Zeit (wieder) erreicht wird.*
- b) *Die Funktionen, die nicht zur Verwendung in Sicherheitsanwendungen vorgesehen sind, dürfen vorübergehend oder dauerhaft gestört werden.*

Führt eine Prüfung zum Ausfall mit oder ohne Zerstörung von Bauteilen, ist es oftmals nicht möglich, analytisch zu zeigen, dass der sichere Zustand immer erhalten bleibt. Zum Nachweis der Einhaltung des Kriteriums „Failed State/Defined State“ (FS/DS) ist in diesen Fällen ein Verfahren zu definieren, das einerseits eine ausreichende Zuversicht erlaubt und andererseits den Materialverbrauch durch Bauteilzerstörungen und den Zeitaufwand für die Durchführung der Prüfungen begrenzt. Hierzu wird im IFA folgendes Konzept angewendet: Sofern eine Beeinflussung festzustellen ist, gilt das Kriterium FS/DS als erfüllt, wenn bei dreimaliger Prüfung mit höchstem Störpegel immer der sichere Zustand eingehalten wurde.

Vor und nach den einzelnen Prüfungen ist ein Funktionstest des Prüflings durchzuführen. Dieser Funktionstest soll sicherstellen,

- dass der Prüfling nach einer Prüfung keine Schäden durch die Prüfung erlitten hat und
- dass der Prüfling vor einer Prüfung korrekt funktioniert.

3.1 Erkennung einer Beeinflussung

Der Prüfaufbau und der Prüfablauf sind so zu gestalten, dass eine mögliche Beeinflussung auch tatsächlich festgestellt werden kann. Hierbei muss nicht zwangsläufig ein lückenloser Test aller vorgesehenen Sicherheitsfunktionen erfolgen, sofern eine vollständige Abdeckung der zu testenden Hardware gewährleistet ist. Als hilfreiche Testmittel haben sich Speicherrelais, Zählrelais und Fehlermeldungen am Prüfling bewährt. Die Stillstandsüberwachung des Motors kann über mechanische Hilfsmittel oder einen Drehgeber erfolgen.

Geschwindigkeitsüberschreitungen können über ein zusätzliches Tachometer sicher erkannt werden. Schnelle Analogsignale oder Datenbussignale sollten während einer EMV-Prüfung grundsätzlich hinsichtlich des elektromagnetischen Potentials über ein optisches System (Infrarot-LED, Lichtwellenleiter, Signalübertrager) entkoppelt sein und nicht über ein Netzteil, sondern über

Batterien oder Akkumulatoren betrieben werden. Hierdurch erzielt man eine rückwirkungsfreie und EMV-feste Entkopplung der Prüflingsüberwachung.

3.2 Verwendete Kabel und zusätzliche Maßnahmen während der EMV-Prüfung

Wurden bei der Prüfung abgeschirmte Kabel verwendet, so müssen diese auch in der Benutzerdokumentation für die Installation vorgeschrieben werden. Eine Verwendung von Netzfiltern oder Blitzschutzelementen muss dort ebenso vorgeschrieben werden wie nachträgliche Abschirmungsmaßnahmen (Alufolie, Kupferfolie, Ferritklammer, etc.) oder nachträgliche Filterschaltungen, die ein Bestehen der EMV-Prüfung erst ermöglichen.

3.3 Anforderungen an den Prüfplan

Der EMV-Prüfplan soll eine Beschreibung der Funktion des Prüflings, der Sicherheitsfunktionen und Betriebszustände, der eigentlichen Prüflingsüberwachung und aller sicherheitsrelevanten Anschlüsse mit Angabe der maximal zulässigen Kabellängen des Prüflings enthalten. Der Betriebszustand während der EMV-Prüfung sollte einer der am häufigsten in der Praxis vorkommenden, typischen Auslastung des Prüflings entsprechen. Für einen zweiten zu prüfenden Betriebszustand sollte die jeweilige Sicherheitsfunktion aktiviert werden, die dann aber während des gesamten Prüfungsverlaufs nicht mehr ausgeschaltet werden darf. Die gültigen EMV-Normen sollten neben den Prüfpegeln der einzelnen EMV-Phänomene aufgelistet sein. Spezielle Anschlusskabel (Abschirmung, Doppelschirmung, Verdrillung etc.) sollen ebenfalls beschrieben werden. Eine Beschreibung der Signalzustände mit Unterteilung in „rein funktional“ oder „sicherheitskritisch“ ist für die anschließende Bewertung des Prüfergebnisses notwendig. Eine Auflistung der Fehleranzeigen und Fehlercodes muss ebenfalls im Prüfplan enthalten sein.

3.4 Anforderungen an den Prüfbericht

Der EMV-Prüfbericht dokumentiert die durchgeführte Prüfung und enthält das Prüfergebnis. Die gültigen EMV-Normen sollten neben den Prüfpegeln der einzelnen EMV-Phänomene auch hier aufgelistet sein. Der Prüfaufbau der einzelnen EMV-Phänomene sowie die Prüflingsüberwachung sollen mit Fotos dokumentiert sein. Alle Beeinflussungen des Prüflings (funktional oder sicherheitskritisch) sind in einer Liste aufzuführen. Vor und nach den einzelnen Prüfungen ist ein Funktionstest des Prüflings durchzuführen und zu dokumentieren. Werden für das Bestehen der Prüfung Modifikationen am Prüfling notwendig, so müssen diese ausführlich beschrieben werden.

3.5 Was ist bei funktional sicheren Funkstrecken zu berücksichtigen?

Funktional sichere Funkstrecken enthalten eine Funktionsüberwachung und erkennen sicherheitskritische Fehler wie z. B. den Ausfall der Funkkommunikation (Lebenszeichenfehler). Für die Prüfung der Hochfrequenz-(HF)-Störfestigkeit muss daher nachgewiesen werden, dass keine sicherheitskritischen Zustände entstehen können. Hierzu werden gezielt Störfrequenzen direkt im Übertragungsband der Funkstrecke, z. B. innerhalb einer Bandbreite von 10 MHz mit einer Schrittweite von 100 KHz, eingespeist.

Für die reine Verfügbarkeit der Funkstrecke ist zu beachten, dass diese auch oft auf den Oberwellen tieferer Prüffrequenzen bei erhöhten Störpegeln nicht mehr erreicht wird. Die im Test verwendeten

HF-Verstärker erzeugen unter Vollast, wie auch zunehmend bei den neuen HF-Verstärkern üblich, stärkere Oberwellen. Der Oberwellenabstand der HF-Verstärker kann dann nur noch etwa 20 dB betragen, wodurch die Oberwellen, die in das Übertragungsband der Funkstrecke gelangen, zu Funktionsstörungen führen.

3.6 Störfestigkeit gegenüber starken, durch induktive Ladesysteme verursachten Wechsellmagnetfeldern im kW- und kHz-Bereich

Zurzeit nehmen induktive Ladesysteme im höheren kW-Bereich mit typischen Leistungen von 22 kW wie auch im Bereich 100 bis 200 kW mit Taktfrequenzen von 25 bis 85 kHz hinauf bis in den MHz-Bereich immer mehr zu und können in Zukunft auch im Industriebereich eingesetzt werden. Hierbei entstehen in Spulennähe hohe Magnetfeldstärken im Bereich von 25 μ Tesla bis zu 1-2 mTesla.

Die auf dem Markt befindlichen Industriesensoren und funktions-sicheren Komponenten wurden hierfür weder entwickelt noch geprüft und können daher ausfallen – unter Umständen auch sicherheitskritisch.

Nach der aktuellen EMV-Richtlinie (Richtlinie 2014/30/EU über die elektromagnetische Verträglichkeit) sind EMV-Risikoanalyse und -Risikobewertung gefordert und die Ergebnisse zu berücksichtigen. Es ist daher sinnvoll, spezielle Umgebungsbedingungen nahe induktiver Ladesysteme über ein Entfernungszonenkonzept bei der Risikoanalyse zu betrachten.

Inwieweit später neue Störfestigkeitsprüfungen gegenüber starken Magnetfeldern im kHz-Bereich auch normativ berücksichtigt werden, kann zurzeit noch nicht abgesehen werden.

4 Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN 61508:2011: Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/ programmierbarer elektronischer Systeme
- [2] DIN EN 61000-1-2:2017-07; VDE 0839-1-2:2017-07: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 1-2: Allgemeines – Verfahren zum Erreichen der funktionalen Sicherheit von elektrischen und elektronischen Systemen einschließlich Geräten und Einrichtungen im Hinblick auf elektromagnetische Phänomene
- [3] DIN EN 61000-6-7:2015-12; VDE 0839-6-7:2015-12: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 6-7: Fachgrundnormen – Störfestigkeitsanforderungen an Geräte und Einrichtungen, die zur Durchführung von Funktionen in sicherheitsbezogenen Systemen (funktionale Sicherheit) an industriellen Standorten vorgesehen sind
- [4] Entwurf DIN EN 61800-5-2:2014-06; VDE 0160-105-2:2014-06: Elektrische Leistungsantriebssysteme mit einstellbarer Drehzahl – Teil 5-2: Anforderungen an die Sicherheit – Funktionale Sicherheit (IEC 22G/264/CD:2013)
- [5] Entwurf DIN EN 61326-3-1:2015-06; VDE 0843-20-3-1:2015-06: Elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte – EMV-Anforderungen – Teil 3-1: Störfestigkeitsanforderungen für

sicherheitsbezogene Systeme und für Geräte, die für sicherheitsbezogene Funktionen vorgesehen sind (Funktionale Sicherheit) – Allgemeine industrielle Anwendungen (IEC 65A/720/CD:2014)

- [6] Entwurf DIN EN 61326-3-2:2015-07; VDE 0843-20-3-2:2015-07: Elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte – EMV-Anforderungen – Teil 3-2: Störfestigkeitsanforderungen für sicherheitsbezogene Systeme und für Geräte, die für sicherheitsbezogene Funktionen vorgesehen sind (Funktionale Sicherheit) – Industrielle Anwendungen in spezifizierter elektromagnetischer Umgebung (IEC 65A/721/CD:2014)
- [7] DIN EN 62061:2016-05; VDE 0113-50:2016-05: Sicherheit von Maschinen – Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer, elektronischer und programmierbarer elektronischer Steuerungssysteme
- [8] DIN EN 61496-1:2014-05; VDE 0113-201:2014-05: Sicherheit von Maschinen – Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfungen (IEC 61496-1:2012); Deutsche Fassung EN 61496-1:2013
- [9] Entwurf ISO/FDIS 13766-2:2017-03: Erdbaumaschinen und Baumaschinen – Elektromagnetische Verträglichkeit von Maschinen mit internem elektrischem Bordnetz – Teil 2: Zusätzliche EMV-Anforderungen für die funktionale Sicherheit
- [10] DIN EN ISO 13849-1:2016-06: Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen – Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze (ISO 13849-1:2015); Deutsche Fassung EN ISO 13849-1:2015

Autoren: Christian Werner, Werner Grommes
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA),
Sankt Augustin