

EMV – eine Begriffsanalyse aus systemtheoretischer Sicht

Ernst Habiger

Motiviert durch bestehende Unschärfen im gängigen EMV-Vokabular wird die zurzeit gesetzesverbindliche, objektbezogene EMV-Definition einer kritischen Wertung unterzogen. Im Einzelnen werden dazu, ausgehend von einer systemischen Interpretation des gesamten technischen Zivilisationsumfelds, die darin zwischen den einzelnen Systemkomponenten möglichen Beziehungen erfasst, die EMV-relevanten herausgefiltert und der Begriff „elektromagnetische Verträglichkeit“ als Qualitätsbewertungsmaßstab für den Zustand des elektromagnetischen Beziehungsgefüges zwischen betrachtungsrelevanten Komponenten, Geräten und Systemen mathematisch exakt formuliert. Darauf gestützt werden wiederum die für die EMV-Teamfähigkeit erforderlichen elektromagnetischen Verträglichkeitseigenschaften von Betriebsmitteln charakterisiert und schließlich gezeigt, wie ein elektromagnetisch verträglichkeitsgerechtes Beziehungsgefüge im stark evolvierenden Technikumfeld weltweit führungstechnisch aufrechterhalten wird.

EMC – „The ability of electronic and electrical equipment to work correctly when they are close to each other“ (2) oder in [7]: „Electromagnetic compatibility describes a state in which the electromagnetic environments produced by natural phenomena and by other electrical and electronic devices do not cause interference in electronic equipment and systems of interest.“ (3)

Des Weiteren findet man z. B. im IEC-Normenwerk, z. B. in IEC 61000-2-2:2002-03 bzw. DIN EN 61000-2-2 (VDE 0839-2-2):2003-02 (Kapitel 3.1.3, IEC 161-01-07 modified, [9, 10]) Anmerkungen wie diese: „Note 1 – Electromagnetic compatibility is a condition of the electromagnetic environment such that, for every phenomenon, the disturbance emission level is sufficiently low and im-

Das EMV-Arbeitsvokabular

Erhebt man zu Beginn die Frage: „Was ist eigentlich elektromagnetische Verträglichkeit, was ist EMV?“, so ist dies, wie es scheint, eine naive, höchst überflüssige Frage. Kennt doch jeder damit Befasste die seit rund fünfzig Jahren im Fachsprachgebrauch fest verwurzelte und seit mehr als einem Jahrzehnt im Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten (EMVG, [1]) verankerte Antwort: EMV – „Fähigkeit eines Geräts in der elektromagnetischen Umwelt zufriedenstellend zu arbeiten, ohne dabei selbst elektromagnetische Störungen zu verursachen, die für andere in dieser Umwelt vorhandene Geräte unannehmbar wären.“ (1)

Diese Aussage repräsentiert sich in dieser unscharfen Definition als gesetzlich einforderbare Produkteigenschaft, als spezielles, technisch gestaltbares, konkret überprüfbares, nicht funktionelles Attri-

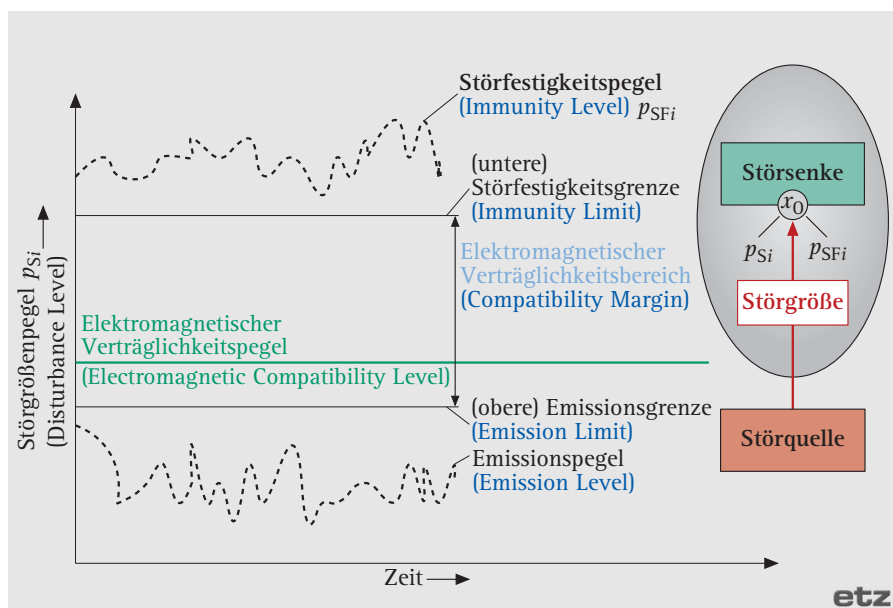


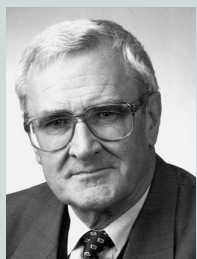
Bild 1. EMV-Vokabular für ein bestimmtes Störphänomen an einem definierten Ort x_0 (Quelle: IEC-Kapitel 161, [12])

but von elektrischen und elektronischen Objekten. Daran wird auch die 2007 zu erwartende Neufassung des EMVG nichts ändern [2]. Daneben existieren allerdings im Fachsprachgebrauch, aus der Notwendigkeit geboren, eine Reihe inhaltlich ganz anderer EMV-Interpretationen. Beispielsweise artikulieren sich namhafte Repräsentanten der EMC-Community in IEC-Weiterbildungsveranstaltungen und in ihren Publikationen wie folgt [4–6]:

community levels are sufficiently high so that all devices, equipment and systems operate as intended.“ (4)

Dann findet man im Fachsprachgebrauch, vgl. z. B. [11] die Begriffe Intra-system-EMC bzw. interne oder innere EMV als einen traditionellen Begriff, der den sog. inneren Verträglichkeitszustand eines Systems charakterisiert. Von außen auf das System einwirkende Störgrößen bleiben dabei unberücksichtigt (5). Des

Prof. i. R. Dr.-Ing. habil. Ernst Habiger (74), VDE, war von 1971 bis 1997 ordentlicher Professor und Lehrstuhlinhaber für industrielle Steuerungstechnik mit den Arbeitsgebieten SPS-Technik und EMV. Er ist weiterhin Angehöriger der TU Dresden und engagiert sich als Mitglied nationaler und internationaler Fachgremien auf dem Gebiet der EMV. E-Mail: ernst.habiger@mailbox.tu-dresden.de





Weiteren Intersystem-EMC bzw. externe oder äußere EMV als einen traditionellen Begriff zur Kennzeichnung des Verträglichkeitszustands zwischen einem System und der äußeren elektromagnetischen Umgebung, in der es eingebettet ist bzw. zwischen zwei oder mehreren Systemen bei wechselseitig möglichen elektromagnetischen Beeinflussungen (6).

Dann gibt es, vgl. [11] und IEC 161-03-10 [12], den sog. elektromagnetischen Verträglichkeitspegel. Das ist ein spezifizierter *Störgrößenpegel*, der im Zuge von Systemgestaltungsmaßnahmen als Referenzwert zur Festlegung von Emissions- und Störfestigkeitsgrenzwerten für die einzusetzende Gerätetechnik dient (7). Er ist jedoch kein Maß für die elektromagnetische Verträglichkeit im Sinne der unter (1) gegebenen Definition, wie man von der Bezeichnung her vermuten könnte.

Und schließlich existiert auch noch als deutsche Spezialität der irreführende Begriff EMVU – elektromagnetische Verträglichkeit zur Umwelt, der sich auf die Belange der biologischen Wirkungen elektromagnetischer Felder bezieht (8).

Irreführend deshalb, weil der darin enthaltene Passus „elektromagnetische Verträglichkeit“ eine Verbindung zu der unter (1) gesetzlich fixierten EMV-Definition suggeriert, die sachinhaltlich nicht existiert.

Weitere für die folgenden Betrachtungen relevante Begriffe und Bezeichnungen finden sich in **Bild 1**. Sie beziehen sich auf die in der **Tabelle 1** gelisteten normierten elektromagnetischen Störgrößen.

EMV aus systemtheoretischer Sicht

Um EMV-Inhalte, -Probleme und Strategien zu ihrer Bewältigung im Zeitalter weltweiten Wirtschaftens besser und auch logisch-inhaltlich korrekter zu verdeutlichen, ist es angebracht, sich bezüglich des Phänomens „elektromagnetische Verträglichkeit“ einer allgemeineren, mathematisch fundierten Ausgangsbasis zu bedienen. In diesem Sinne zunächst ein

Blick auf das Ökosystem einer modernen Industriegesellschaft (**Bild 2**).

Solche Gesellschaften sind von hochkomplexen, gegenwärtig rasant evolvierenden technischen Umfeldern umgeben. Auf diese Weise ist Technik schlechthin mit allen Bereichen privaten und öffentlichen Lebens auf vielfältige Weise engmaschig verknüpft. Unzählige Kompo-

ponenten und Systeme einer riesigen Zivilisationsmaschine erleichtern und bereichern das Leben, schaffen Arbeitsplätze und interessante Arbeit, ermöglichen relativ sicheres und komfortables Wohnen, leistungsfähige Gesundheitsvorsorge, abwechslungsreiche Unterhaltung, weltweite Kommunikation und Mobilität. Ihr Betrieb birgt bekanntermaßen aber auch

Niederfrequente Phänomene auf Leitungen	<ul style="list-style-type: none"> • Oberschwingungen, Zwischenharmonische • Signalspannungen • Spannungsschwankungen, Spannungseinbrüche, Kurzzeitunterbrechungen • Spannungsunsymmetrien • Frequenzvariationen • Gleichanteile in Wechselstromnetzen
Hochfrequente Phänomene auf Leitungen	<ul style="list-style-type: none"> • 100/1 300 ms Stoßspannung/-strom • Blitz 1,2/50 µs bis 8/20 µs Stoßspannung/-strom • Blitz 10/700 µs (Telekommunikation) • Burst n· 5/50 ns • Ring Waves 0,5 µs/100 kHz • gedämpfte Welle 0,1 MHz und 1 MHz • hochfrequente induzierte Spannung
Niederfrequente Felder	<ul style="list-style-type: none"> • netzfrequente Magnetfelder • impulsförmiges Magnetfeld • gedämpft schwingendes Magnetfeld
Hochfrequente Felder	<ul style="list-style-type: none"> • elektrisches Feld • elektromagnetisches Feld • Magnetfeld
Entladung statischer Elektrizität	<ul style="list-style-type: none"> • ESD – Electrostatic Discharge
NEMP	<ul style="list-style-type: none"> • nuklearer elektromagnetischer Puls

Tabelle 1. Elektromagnetische Störphänomene nach IEC/TS 61000-2-5 [13]

viele Risiken und Bedrohungen in sich. Damit wird die Aufrechterhaltung ihrer funktionalen Stabilität zu einer Frage von höchster Brisanz. Aus technischer Sicht entscheidend dafür sind u. a. die Zuverlässigkeit aller beteiligten Geräte, Maschinen und Anlagen, die Qualität der zu ihrem Betrieb bereitgestellten Energie, die elektrische, funktionale und informationstechnische Sicherheit aller implizierten elektronischen Steuerungs-, Über-

wachungs-, Kommunikations- und Computersysteme, deren Schutz vor missbräuchlichen und böswilligen Zugriffen sowie die Gewährleistung eines umfassenden Arbeits- und Gesundheitsschutzes. Hier leistet die EMV-Technologie auf der ganzen Linie einen immer gravierender ins Gewicht fallenden risikomindernden Beitrag. Zur Fundierung und Diskussion des gesamten EMV-Schutzanliegens aus dieser Sicht bietet sich die System-

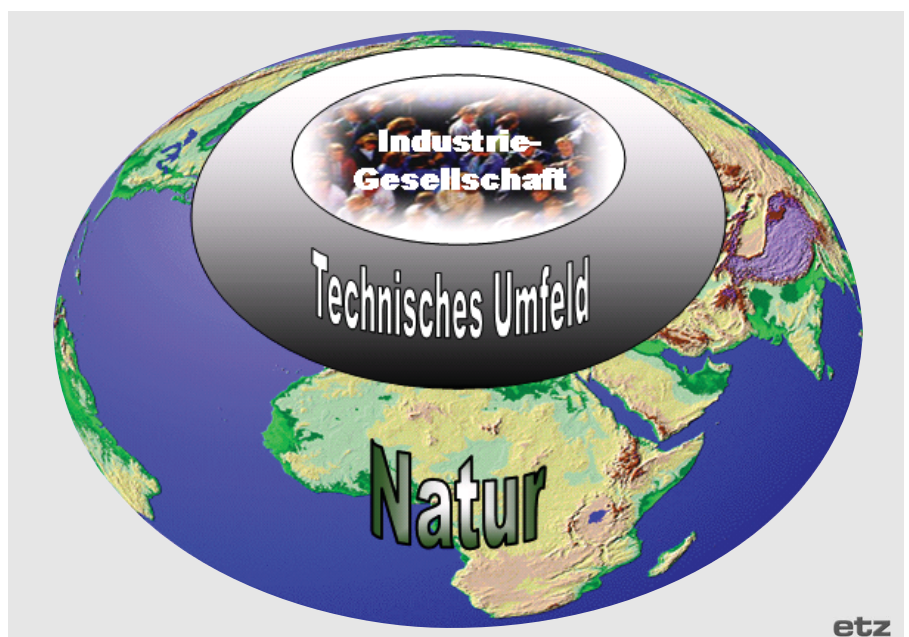


Bild 2. Ökosystem einer Industriegesellschaft

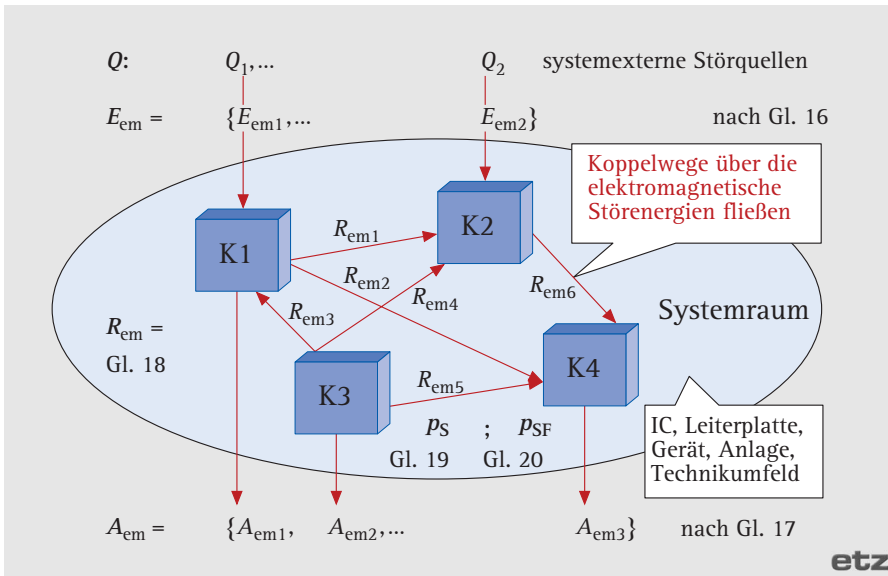


Bild 3. Zur Verdeutlichung von Gl. 16 bis 20 anhand eines einfachen Beispiels mit willkürlich angenommenen Koppelwegen (K1 bis K4: Systemkomponenten)

theorie an. Bekanntlich lässt sich ein beliebiges System theoretisch abstrakt auf mengentheoretischer Basis durch folgendes Quintupel beschreiben [14]:

$$S = (E, A, K, R, F), \text{ wobei } (9)$$

$$E = \{E_i | i \in (1, 2, \dots, m)\} \quad (10)$$

Menge der Systemeingangsgrößen (Stoff-, Energie- und/oder Informationsströme bzw. sie charakterisierende Größen),

$$A = \{A_i | i \in (1, 2, \dots, n)\} \quad (11)$$

Menge der Systemausgangsgrößen (Stoff-, Energie- und/oder Informationsströme, die das System in modifizierter Form verlassen),

$$K = \{K_i | i \in (1, 2, \dots, q)\} \quad (12)$$

Menge der Systemkomponenten (materielle oder virtuelle Systemelemente, Subsysteme, Komponenten),

$$R = [\{K_i | i \in (1, 2, \dots, q)\} \times \{K_j | j = 1+q-i\}] \setminus \{K_i; K_j | j = i\} \quad (13)$$

Menge der gerichteten Relationen/Beziehungen zwischen den Komponenten. Sie entspricht i. d. R. einer Teilmenge des Kreuzprodukts $K \times K$ abzüglich der Eigenschleifen. Die Mächtigkeit von R , d. h. die Anzahl der Relationen ergibt sich bei q Komponenten und z Verbindungen von einer Komponente zur anderen zu

$$|R| = r = q(q-1)z. \quad (14)$$

Schlussendlich gilt

$$F: (E \rightarrow A) \text{ bzw. } F: (f(K_i); R) \quad (15)$$

für die Systemfunktion. Sie repräsentiert sich als Abbildung von E auf A bzw. wird durch die Elementfunktionen $f(K_i)$ und die zwischen den Systemkomponenten im konkreten Fall bestehenden Beziehungen R bestimmt.

Aus praktischer Sicht gelten für unsere Betrachtungen folgende Einschränkungen:

- In realen Systemen steht nicht jede Systemkomponente zwingend mit jeder anderen in Verbindung,

- für die EMV-Belange interessieren nur die elektromagnetischen Relationen (Koppelwege), über die feld- oder leitungsgebunden Störenergien fließen.

Das heißt, im Weiteren interessieren nur Teilmengen von E , A und R , und zwar

$$E_{em} = \{E_{emi} | i \in (1, 2, \dots, m^*), \text{ wobei } m^* \leq m\} \subseteq E, \quad (16)$$

mit E_{em} als Menge der elektromagnetischen Systemeingangsgrößen,

$$A_{em} = \{A_{emi} | i \in (1, 2, \dots, n^*), \text{ wobei } n^* \leq n\} \subseteq A, \quad (17)$$

mit A_{em} als Menge der elektromagnetischen Systemausgangsgrößen,

$$R_{em} = \{R_{emi} | i \in (1, 2, \dots, r^*), \text{ wobei } r^* \leq r = q(q-1)z\}. \quad (18)$$

mit R_{em} als Menge der systeminternen gerichteten elektromagnetischen Relationen zwischen den Systemkomponenten.

Betrachtet man nunmehr ein konkretes technisches System (IC, Leiterplatte, Baueinheit, Gerät, Großgerät, Anlage oder auch das gesamte technische Zivilisationsumfeld), so ist im Systemvolumen ein von allen inneren und äußeren künstlichen und natürlichen Störphänomenen gebildeter sehr komplexer Störpegel p_S vorhanden. Bezüglich seiner Intensität ist er zeit- und ortsabhängig. Ordnet man den über die verschiedenen Koppelwege

laufenden elektromagnetischen Störgrößen Störpegel zu, und zwar $p_{Si}(E_{emi})$ für die Eingangsgrößen, und $p_{Si}(R_{emi})$ für die Beziehungen zwischen den Komponenten, dann gilt:

$$p_S = \sum_{i=1}^{m^*} p_{Si}(E_{emi})(x, y, z, t) + \sum_{i=1}^{r^*} p_{Si}(R_{emi})(x, y, z, t). \quad (19)$$

Auf die gleiche Weise ergibt sich für den Systemraum ein komplexer Störfestigkeitspegel

$$p_{SF} = \sum_{i=1}^{m^*} p_{SF_i}(E_{emi})(x, y, z, t) + \sum_{i=1}^{r^*} p_{SF_i}(R_{emi})(x, y, z, t). \quad (20)$$

der sich aus den, den einzelnen Koppelwegen zugeordneten, Störfestigkeitspegeln p_{SF_i} ($i = 1, 2, 3, \dots, [m^* + r^*]$) konfiguriert. p_S und p_{SF} sind dabei als gleichmächtige Mengen zu verstehen. Bild 3 und Tabelle 2 veranschaulichen diesen Sachverhalt an einem einfachen Beispiel (System mit vier Komponenten).

In der praktischen EMV-Arbeit geht es inhaltlich im Wesentlichen um zwei Dinge:

- um die technisch-organisatorische Verwirklichung und Aufrechterhaltung eines elektromagnetisch verträglichen Beziehungsgefüges zwischen den elektrischen/elektronischen Komponenten in Systemräumen;
- um die technisch-organisatorische Bereitstellung dazu erforderlicher, verträglichkeitsgerecht gestalteter Betriebsmittel (Subsysteme und Komponenten).

Elektromagnetische Verträglichkeit in Systemräumen

Bei Kenntnis des Störpegels p_S und des Störfestigkeitspegels p_{SF} , entsprechend Gl. 19 und 20 lässt sich die Qualität des elektromagnetischen Beziehungsgefüges

Interne Störquellen	Interne Störseenen			
Systemkomponenten	K1	K2	K3	K4
Komponente 1	K1	×		×
Komponente 2	K2			×
Komponente 3	K3	×	×	×
Komponente 4	K4			
Externe Störquellen				
Quelle 1	Q1	×		
Quelle 2	Q2		×	

Tabelle 2. Beeinflussungsmatrix zu Bild 3

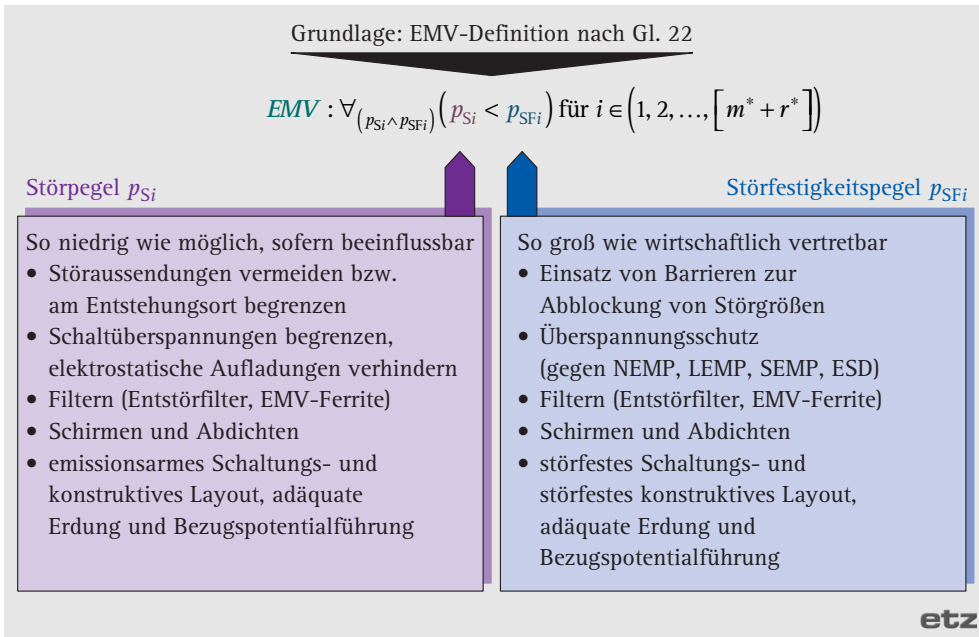


Bild 4. Allgemeine Anforderungen an die EMV-gerechte Systemgestaltung

innerhalb eines beliebigen Systemraums nunmehr einfach bewerten und der Zustand „elektromagnetische Verträglichkeit, EMV“ zunächst verbal wie folgt definieren: „In einem definierten Systemraum besteht der Zustand EMV, wenn darin an jedem Ort zu jeder Zeit die dort wirksamen Störpegel $p_{Si} \in p_S$ hinreichend kleiner sind als die jeweils dort herrschenden minimalen Störfestigkeitspegel $p_{SF_i} \in p_{SF}$.“ (21)

Konkret: Elektromagnetische Verträglichkeit besteht, wenn Art und Intensität der gegenseitigen Wechselwirkungen zwischen den Objekten eines definierten Betrachtungsraums zulässige Werte nicht überschreiten, d. h. kein Objekt für die jeweils anderen unzumutbare Emissionen aussendet, aber auch jedes Objekt die Emissionen der anderen unbeschadet erträgt. Mathematisch lässt sich damit die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV), wie in Gl. 22 oder auch Gl. 23 dargestellt, charakterisieren.

Aus Gl. 22 bzw. 23 leiten sich unmittelbar die allgemeinen Forderungen für eine EMV-gerechte Systemgestaltung ab (Bild 4), was nebenbei bemerkt auch für eine wissenschaftlich fundierte EMV-Grundlagenausbildung ganz nützlich ist.

EMV von Subsystemen

Für den Fall, dass ein System als Subsystem oder Komponente im Verbund mit anderen (Baugruppen, Geräten, Betriebsmitteln) in einer größeren funktionalen Einheit kooperiert, muss es bezüglich der dazu erforderlichen EMV-Eigenschaften einerseits die Gl. 22 bzw. 23 erfüllen, andererseits müssen an allen m^* -Eingängen, siehe Gl. 16 und Bild 3, die Störfestigkeitspegel p_{SF_i} größer oder wenigstens gleich den für konkreten Einsatzbedingungen geforderten Werten p_{SFNi} sein und darüber hinaus an allen n^* -Ausgängen, siehe Gl. 17 und Bild 3, die Störaussendungspegel p_{SAi} unterhalb der zulässigen Werte p_{SAZi} liegen. Für p_{SFNi} und p_{SAZi} gelten dabei die in den Fachgrundnormen bzw. den Produktnormen festgeschriebenen Grenzwerte. Das heißt, ein Subsystem ist dann elektromagnetisch verträglich und in einem Geräte-Ensemble EMV-teamfähig, wenn es

- der Gl. 22 bzw. 23 genügt, d. h. die sog. „innere EMV“ siehe (5) gewährleistet ist und
- wenn es die folgende Bedingung B_{EMV} erfüllt, d. h. es den in den EMV-Normen festgelegten Störfestigkeits- und Störemissionsgrenzwerten genügt (Gl. 24).

$$EMV : \forall_{(p_{Si} \in p_S) \wedge (p_{SF_i} \in p_{SF})} (p_{Si} < p_{SF_i}) \text{ für } i \in (1, 2, \dots, [m^* + r^*]) \quad (22)$$

$$EMV : \forall_{(p_{Si} \in p_S) \wedge (p_{SF_i} \in p_{SF})} \left(\left[\frac{p_{SF_i}}{p_{Si}} \right] > 1 \right) \text{ für } i \in (1, 2, \dots, [m^* + r^*]) \quad (23)$$

$$B_{EMV} : \forall_{(p_{SF_i}, p_{SFNi}, p_{SAi}, p_{SAZi})} \left[(p_{SF_i} \geq p_{SFNi}) \text{ für } i \in (1, 2, \dots, m^*) \right] \wedge \left[(p_{SAi} \leq p_{SAZi}) \text{ für } i \in (1, 2, \dots, n^*) \right] \quad (24)$$

Vereinfacht in Worten führt dies zu der folgenden definitorischen Aussage: „Ein Betriebsmittel ist elektromagnetisch verträglich, wenn es die Fähigkeit hat, in seiner elektromagnetischen Umgebung zu friedensstellend zu arbeiten, ohne dabei selbst elektromagnetische Störungen zu verursachen, die für andere in dieser Umgebung arbeitende Betriebsmittel unannehmbar wären.“ (25).

Dies ist nahezu wörtlich die in der neuen EMV-Richtlinie 2004/108/EG [15] und auch im zu erwartenden neuen EMV-Gesetz [2] wiederum enthaltene EMV-Definition. Das ist nicht sonderlich glücklich, da nicht, wie eigentlich wünschenswert, der Begriff „elektromagnetische Verträglichkeit“ als Qualitäts-Charakteristikum eines elektromagnetisch verträglichen Beziehungsgefüges zwischen beteiligten Objekten, sondern „nur“ die zur Konfiguration solcher Anordnungen erforderlichen Objekteigenschaften definiert sind.

Das ist zwar praktisch durchaus notwendig, führt aber immer wieder zu den bekannten Schwierigkeiten, vgl. die Wortpassagen (1) bis (8), und damit im Zusammenhang stehende in sich nicht schlüssigen EMV-Interpretationen, wenn man den elektromagnetischen Verträglichkeitszustand innerhalb eines definierten Betrachtungsraums auf dieser Basis charakterisieren will.

EMV und EMVU

Der Mensch als Element von Mensch-Maschine-Systemen stellt im Zusammenhang mit Verträglichkeitsbetrachtungen einerseits als Verursacher elektrostatischer Körperentladungen (ESD) eine systeminterne oder -externe Störquelle dar. Alle damit im Zusammenhang stehenden Probleme sind weitgehend erkundet und eindeutig der technischen EMV zuzuordnen.

Andererseits kann der Mensch berufsbedingt aber auch in allen öffentlichen Bereichen den Wirkungen elektromagnetischer Felder ausgesetzt sein. Dies ist eine Angelegenheit des Arbeits-, Gesundheits- und Umweltschutzes und betrifft die Gesamtheit der Fragen bezüglich der biologischen Wirkungen elektromagnetischer Felder, d. h. ein ganz anderes Problemfeld als das der gerätebezogenen EMV mit lebenden Betrachtungsobjekten (Mikro- und Makroorganismen, Menschen, Tieren und Pflanzen), mit anderen damit verbundenen Zielstellungen (im Besonderen Vermeidung gesundheitlicher Risiken und Schädigungen) sowie dafür autorisierten Fachexperten (Mediziner, Biologen, Biophysiker, Arbeitswissenschaftler) und entsprechend besetzten



Fachgremien (ICNIRP, CENELEC TC106X, SSK [16], u. a.). Im Übrigen sind die menschlichen „Störfestigkeitswerte“, d. h. die zulässigen Feldexpositionswerte in der 26. Bundesimmissionsschutzverordnung [17] und in berufsgenossenschaftlichen Vorschriften hinterlegt [18]. Das zugehörige Fachgebiet wird weltweit unter der Kurzbezeichnung EMF (Electromagnetic Fields = elektromagnetische Felder) geführt. Die im Deutschen im Nachgang dafür geprägte Bezeichnung EMVU ist wenig hilfreich und in Verbindung mit (1) irreführend, wie eingangs bereits erläutert. Berührungspunkte zur technischen EMV sind allein dadurch gegeben, dass EMV-Technologie zur Untersuchung und Verwirklichung von EMF-Schutzkonzepten herangezogen wird.

Globales EMV-Management

Die Aufrechterhaltung der Stabilität des technischen Zivilisationsumfelds ist bekanntermaßen ein sehr komplexes politisches, wirtschaftliches und technisches Unterfangen. Dem Elektrofachmann fällt darin die Aufgabe zu, weltweit sicherzustellen, dass die Funktionalität aller elektrischen und elektronischen Betriebsmittel und Systeme störungsfrei gewährleistet ist und in Zusammenarbeit mit den dafür zuständigen Experten dafür zu sorgen, dass auch die belebte Natur durch elektromagnetische Wirkungen keinen Schaden nimmt. Die Behandlung dieser Problematik ist dabei kein einmaliger Vorgang, sondern ein kontinuierlicher, unter Beachtung immer neuer Aspekte

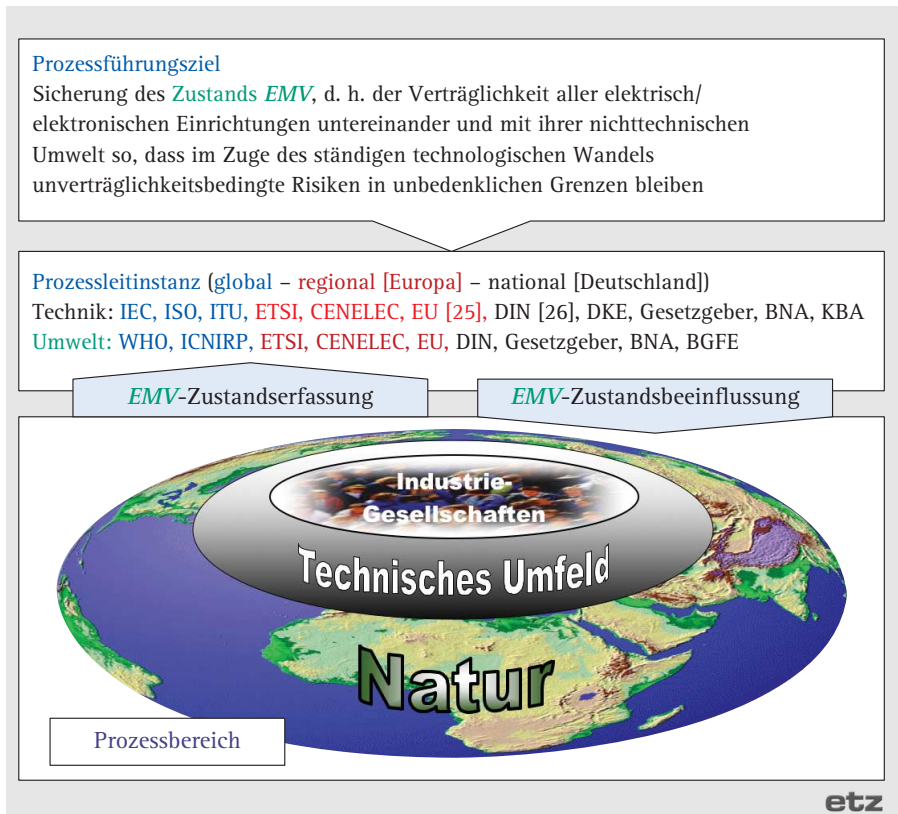


Bild 5. Globales EMV-Management

zielgerichtet zu führender dynamischer Prozess. Er ist gekennzeichnet durch die weltweit rasch fortschreitende technologische Entwicklung, durch steigenden Elektroenergieumsatz, vermehrten Einsatz von Leistungselektronik, starke Durchdringung und Vernetzung aller Lebens-, Wirtschafts- und Dienstleistungsbereiche mit immer mehr stationären und

mobilen elektronischen Komponenten, durch die massive Verbreitung neuer Kommunikations- und Funktechnologien wie UMTS, WLAN, WLL, Bluetooth [19], Zigbee [20], UWB u. v. a., durch die Verwendung immer höherer Frequenzen und Taktraten, höherer Packungsdichten, Stromstärken und niedrigeren Versorgungsspannungen in den Elektronikbereichen. Dadurch ist das gesamte technische Umfeld einem ständigen Wandel unterworfen. Dazu begleitend ist zwingend sicherzustellen, dass ein globaler, lokal und sicherheitstechnisch gestufter Verträglichkeitsstatus aufrechterhalten bleibt, in dem die aus allen natürlichen und künstlichen Quellen gespeiste elektromagnetische Umgebung die Funktion der darin befindlichen Geräte und Systeme, auch beim Nebeneinander unterschiedlicher Gerätegenerationen, aus technisch funktionaler Sicht nicht beeinträchtigt und die Feldbelastung der belebten Natur aus medizinisch-biologischer Sicht zulässige Grenzen nicht überschreitet.

Bild 5 vermittelt hierzu eine Übersicht und verdeutlicht die Grundstruktur des globalen EMV-Managementsystems sowie die darin im Sinne einer EMV-Prozesszustandssteuerung zu verwirklichende Zielfunktion. Funktional gesehen handelt es sich dabei um eine statische Prozessoptimierung [14], in der Steuer-

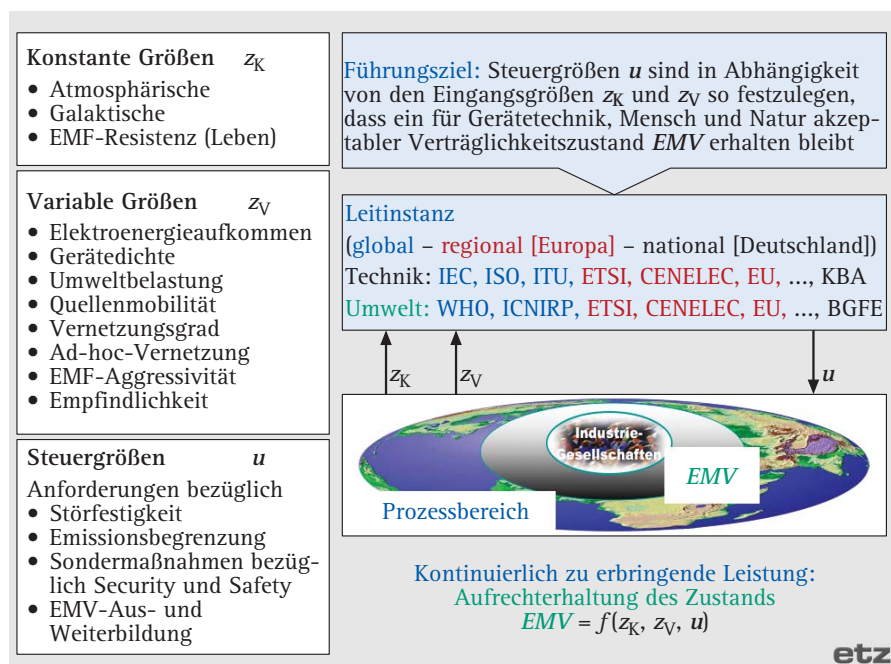


Bild 6. Funktionale Struktur eines globalen EMV-Controllings

größen u in Abhängigkeit von konstanten Größen z_k und driftenden Parametern z_v durch die Gremien der Leitinstanz so festzulegen sind, dass ein für Gerätetechnik, Mensch und Natur akzeptabler elektromagnetischer Verträglichkeitszustand $EMV=f(z_k, z_v, u)$ auf Dauer aufrechterhalten bleibt (Bild 6). Dabei werden i. d. R. Mischstrategien, bestehend aus Vorwärts- und Rückwärtsoptimierungsbestandteilen, angewandt.

Ausblick

Der Begriff EMV ist weltweit in Normen, Richtlinien und darauf basierenden Gesetzen als Objekt-/Produkteigenschaft definiert, wird aber notwendigerweise davon abweichend bei der Diskussion EMV-spezifischer Sachverhalte auch als Charakteristikum für ein elektromagnetisch verträgliches Beziehungsgefüge zwischen Objekten benutzt. Hilfreich wäre es in den EMV-Normen, diesem Sachverhalt Rechnung zu tragen. Das heißt,

- einerseits den Begriff EMV als Zustand des elektromagnetischen Beziehungsgefüges zwischen den Komponenten eines Betrachtungsobjekts, z. B. basierend auf (21) zu definieren, und
- andererseits den Begriff „elektromagnetisch verträgliches Betriebsmittel“ davon getrennt gemäß (25) zu determinieren.
- Der Begriff EMVU ist verzichtbar.
- Die Funktionalität des globalen EMV-Managements lässt sich aus Sicht einer Prozesssteuerung als statische Prozesszustandsoptimierung interpretieren.

Literatur

- [1] Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten (EMVG) vom 18.9.1998. BGBl. I 50 (1998) Nr. 64, S. 2 882–2 892 (ISSN 0341-1095). Online-Dokument unter www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/emvg_1998/gesamt.pdf
- [2] Entwurf eines Gesetzes über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln (EMVG). Stand: 09/2006. Online-Dokument unter www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Gesetz/emvg-entwurf.property=pdf
- [3] International Electrotechnical Commission (IEC), Genf/Schweiz: www.iec.ch
- [4] Kerry, P. J.: CISPR Emission Standards. IEC ACEC EMC Workshop am 18. Oktober 2005 in Kapstadt/Südafrika. Online-Dokument unter www.iec.ch/zone/emc/cape_town/3_Kerry.ppt
- [5] Radasky, W. A.: The IEC Advisory Committee on EMC (ACEC) and Introduction to Emissions. IEC ACEC EMC Workshop am 18. Oktober 2005 in Kapstadt/Südafrika. Online-Dokument unter www.iec.ch/zone/emc/cape_town/1_Radasky.ppt
- [6] Möhr, D. E. C.: The ABCs of EMC. IEC ACEC EMC Workshop am 13. November 2003 in Buenos Aires/Argentinien. Online-Dokument unter [www.fi.uba.ar/materias/6510/Clase%2013\(%B405\)-Seminario%20EMC-Selecci%20F3n/B02%20ABCs%20of%20EMC.ppt](http://www.fi.uba.ar/materias/6510/Clase%2013(%B405)-Seminario%20EMC-Selecci%20F3n/B02%20ABCs%20of%20EMC.ppt)

Abkürzungen

BGFE	Berufsgenossenschaft Feinmechanik und Elektrotechnik [32]
BNA	Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen [28]
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Electrotechnique [24]
DKE	DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE [27]
EMC	Electromagnetic Compatibility
EMF	Electromagnetic Fields
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
EMVG	Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten [1]
EMVU	Elektromagnetische Verträglichkeit zur Umwelt
ESD	Electrostatic Discharge
ETSI	European Telecommunication Standard Institute [23]
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection [31]
IEC	International Electrotechnical Commission [3]
IEV	International Electrotechnical Vocabulary [8]
ISO	International Organization for Standardization [21]
ITU	International Telecommunication Union [22]
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt [29]
LEMP	Lightning Electromagnetic Pulse
NEMP	Nuklearer Elektromagnetischer Impuls
SEMP	Switching Electromagnetic Pulse
SSK	Strahlenschutzkommission
TC	Technical Committee
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UWB	Ultra Wide Band
WHO	World Health Organization [30]
WLAN	Wireless Local Area Network
WLL	Wireless Local Loop

- [7] Radasky, W. A.: EMC Challenges for Electronic Systems. Compliance Engineering Annual Reference Guide (2001) H. Spring. Online-Dokument unter www.ce-mag.com/archive/01/Spring/Radasky.html
- [8] IEV Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch. DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (Hrsg.). Berlin: Beuth
- [9] IEC 61000-2-2:2002-03 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-2: Environment – Compatibility levels for lowfrequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems. Genf/Schweiz:

- Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale (ISBN 2-8318-6260-4)
- [10] DIN EN 61000-2-2 (VDE 0839 Teil 2-2): 2003-02 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 2-2: Umgebungsbedingungen – Verträglichkeitspegel für niederfrequente leitungsgeführte Störgrößen und Signalübertragung in öffentlichen Niederspannungsnetzen. Berlin · Offenbach: VDE VERLAG
 - [11] Habiger, E.: EMV-Lexikon – Begriffe und Kurzbezeichnungen aus der Welt der EMV. Reihe Weka Praxislösungen. Kissing: Weka Media, 2004 (ISBN 3-8111-7895-4)
 - [12] IEC 60050-161:1990-08 International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 161: Electromagnetic Compatibility. Genf/Schweiz: Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale (ISBN 2-8318-1831-1)
 - [13] IEC/TS 61000-2-5:1995-09 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2: Environment – Section 5: Classification of electromagnetic environments. Basic EMC publication. Genf/Schweiz: Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale (ISBN 2-8318-3523-2)
 - [14] Habiger, E.: A&D-Lexikon – Begriffe und Kurzbezeichnungen der industriellen Automation. München: Publish-Industry, 2006 (ISBN 3-934698-42-5)
 - [15] Richtlinie 2004/108/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Dezember 2004 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit und zur Aufhebung der Richtlinie 89/336/EWG. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 390 vom 31.12.2004, S. 24–37. Luxemburg: Amt für aml. Veröffentlichungen (ISSN 1725-2539)
 - [16] Strahlenschutzkommission, Bonn: www.ssk.de
 - [17] Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) vom 16. Dezember 1996. BGBl. I 48 (1996) Nr. 66 vom 20.12.99, S. 1966–1968 (ISSN 0341-1095)
 - [18] BG-Vorschriften. Berufsgenossenschaft Feinmechanik und Elektrotechnik, Köln: www.bgfe.de/praev/praev_bgvorschriften.html
 - [19] Bluetooth Special Interest Group, Bellevue, Washington/USA: www.bluetooth.com
 - [20] The ZigBee Alliance, San Ramon, Kalifornien/USA: www.zigbee.org
 - [21] International Organization for Standardization, Genf/Schweiz: www.iso.org
 - [22] International Telecommunication Union, Genf/Schweiz: www.itu.int
 - [23] European Telecommunication Standard Institute, Sophia-Antipolis/Frankreich: www.etsi.org
 - [24] Comité Européen de Normalisation Electrotechnique, Brüssel/Belgien: www.cenelec.org
 - [25] Europäische Union: www.europa.eu
 - [26] Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin: www.din.de
 - [27] DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, Frankfurt/M.: www.dke.de
 - [28] Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, Bonn: www.bundesnetzagentur.de
 - [29] Kraftfahrt-Bundesamt, Flensburg: www.kba.de
 - [30] World Health Organization, Genf/Schweiz: www.who.int
 - [31] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Oberschleißheim: www.icnirp.net
 - [32] Berufsgenossenschaft Feinmechanik und Elektrotechnik, Köln: www.bgfe.de