

Schriften der Sudetendeutschen Akademie
der Wissenschaften und Künste
Band 28
Forschungsbeiträge der
Naturwissenschaftlichen Klasse

Seiten 217 - 143

ERNST HABIGER

**Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) –
Eine kritische Begriffsanalyse aus semantischer und systemischer
Sicht**

... Aussagen über Dinge und Aussagen über Beziehungen sind etwas grundsätzlich Verschiedenes und deshalb streng voneinander zu Trennendes ...

Bertrand Russell 1872-1970

Übersicht

Motiviert durch bestehende Unschärfen im gebräuchlichen EMV-Vokabular wird die zurzeit gesetzesverbindliche, objektgebundene EMV-Definition einer kritischen Betrachtung unterzogen. Im Einzelnen werden dazu nach einem kurzen Blick auf die umgangssprachliche Bedeutung der Wörter „verträglich“ und „Verträglichkeit“, ausgehend von einer systemischen Interpretation des gesamten zivilisatorischen Technikumfeldes, die darin zwischen den einzelnen Systemkomponenten bestehenden Beziehungen erfasst, die EMV-relevanten herausgefiltert und der Begriff „Elektromagnetische Verträglichkeit“ als Qualitätsbewertungsmaß 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 zielgerichtet stabil aufrechterhalten wird.

1. Der Verträglichkeitsbegriff in der Umgangssprache

Mit der adjektivierten Form „verträglich“ assoziieren sich in der Umgangssprache bekanntermaßen eine Fülle positiver Objekteigenschaften beziehungsweise Persönlichkeitsmerkmale wie friedlich, friedfertig, gutmütig, vernünftig, kooperativ, tolerant, kompromissbereit, rücksichtsvoll, entgegenkommend, versöhnlich, bekömm-

lich, passfähig, vereinbar, kombinierbar, unbedrohlich, unschädlich, ungefährlich, koexistenzfähig und damit beispielsweise in Verbindung mit Individuen deren Fähigkeit sich relativ problemlos in gegebene soziale Umfeldler einzuordnen, oder in Verbindung mit technischen Objekten, sich unkompliziert in bestimmte Einsatzumgebungen einfügen zu lassen, um dort bestimmungsgemäß zu arbeiten. Das heißt, ein Objekt ist oder verhält sich in einem Objektverband (Bild 1) *verträglich*, wenn es die Gesamtheit der von den anderen Objekten herrührenden Beanspruchungen bis zu einem gewissen Grad unbeanstandet erträgt und selbst nicht die anderen Objekte unzumutbar belastet.

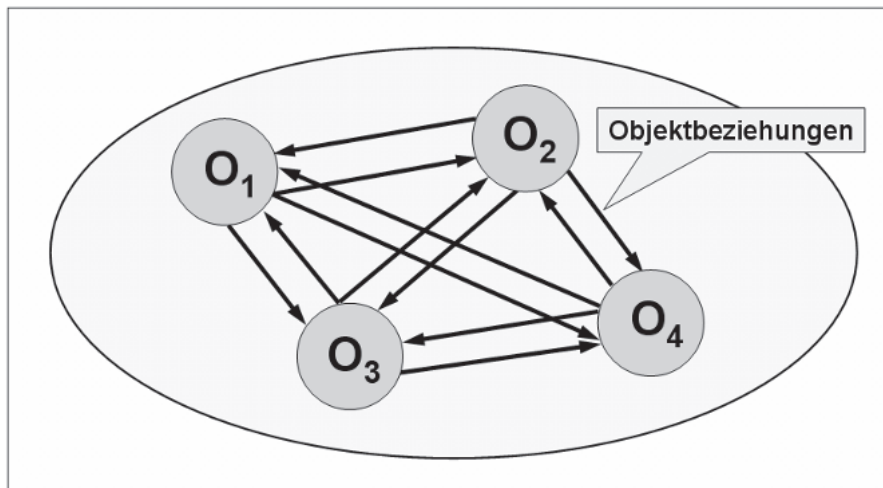


Bild 1 Beispiel für einen Objektverband, bestehend aus vier Objekten O_1 bis O_4 , in dem jedes Objekt mit jedem anderen in Beziehung steht.

Im Gegensatz dazu charakterisiert die substantivierte Form „Verträglichkeit“ nicht die Eigenschaft „eines“ Objekts, sondern sie repräsentiert eine klassifizierend bewertende Zustandsaussage bezüglich der Qualität eines bestehenden Beziehungsgefüges zwischen mindestens zwei, mehreren oder auch sehr vielen in einem Verbund miteinander in Kontakt befindlichen Entitäten (materiellen oder virtuellen Objekten, Gegenständen oder Personen). Und zwar besteht der Zustand „Verträglichkeit“ in einem solchen Objektverband dann, wenn Art und Intensität der gegenseitigen Wechselwirkungen zwischen den Objekten zulässige, einem, wie immer auch gefundenen Konsens entsprechende Werte nicht überschreiten, das heißt, alle Objekte keine für die anderen Objekte unzumutbaren Aussendungen emittieren, aber auch jedes Objekt die Summe der Emissionen der anderen Objekte im Wesentlichen unbeanstandet erträgt. Das heißt, wenn alle Objekte eines abgegrenzten Betrachtungsraumes sich freiwillig oder reglementiert entsprechend rücksichtsvoll, eben „verträglich“, verhalten.

2. Der Verträglichkeitsbegriff in der Elektrotechnik

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 EMVG [1] verankerte Antwort.

EMV: Fähigkeit eines Geräts, in der elektromagnetischen Umwelt zufrieden stellend zu arbeiten, ohne dabei selbst elektromagnetische Störungen zu verursachen, die für andere in dieser Umwelt vorhandene Geräte unannehmbar wären. (1)

Sie repräsentiert sich in dieser unscharfen Definition als gesetzlich einforderbare Produkteigenschaft, als spezielles, technisch gestaltbares, konkret überprüfbares, nicht funktionelles Attribut von elektrischen und elektronischen Objekten. Daran wird auch die für 2007 avisierte 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 [3].

EMC: The ability of electronic and electrical equipment to work correctly when they are close to each other. (2)

oder in [4]:

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 zum Beispiel im IEC-Normenwerk [5] 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 immunity levels are sufficiently high so that all devices, equipment and systems operate as intended. (4)

Dann findet man im Fachsprachgebrauch, vergleiche zum Beispiel [6], die Begriffe:

Intrasystem-EMC beziehungsweise Interne oder Innere EMV (5)
ein traditioneller Begriff, der den so genannten inneren **Verträglichkeitszustand** eines Systems charakterisiert. Von außen auf das System einwirkende Störgrößen bleiben dabei unberücksichtigt.

und

Intersystem-EMC beziehungsweise **Externe oder Äußere EMV** (6)
 ein traditioneller Begriff zur Kennzeichnung des **Verträglichkeitszustandes** zwischen einem System und der äußeren elektromagnetischen Umgebung, in der es eingebettet ist, beziehungsweise zwischen zwei oder mehreren Systemen bei wechselseitig möglichen elektromagnetischen Beeinflussungen.

Dann gibt es, siehe [6, 7], den sogenannten

Elektromagnetischen Verträglichkeitspegel (7)
 Das ist ein spezifizierter **Störgrößenpegel**, der im Zuge von Systemgestaltungsmaßnahmen als Referenzwert zur Festlegung von Emissions- und Störfestigkeitsgrenzwerten für die einzusetzende Gerätetechnik dient. 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, (8)
 der sich auf die Belange der biologischen Wirkungen elektromagnetischer Felder bezieht.

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 2. Sie beziehen sich auf die in der Tabelle 1 aufgelisteten normierten elektromagnetischen Störgrößen.

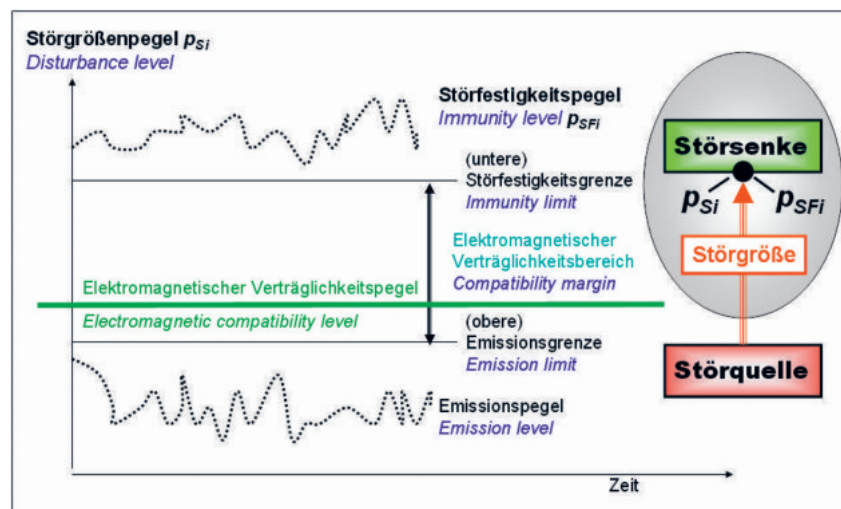


Bild 2: EMV-Vokabular für ein bestimmtes Störphänomen an einem definierten Ort ●
 [Quelle: IEV 161]

Niederfrequente Phänomene auf Leitungen	<ul style="list-style-type: none"> • Oberschwingungen, Zwischenharmonische • Signalspannungen • Spannungsschwankungen, Spannungseinbrüche, Kurzzeitunterbrechungen • Spannungsunsymmetrien • Frequenzvariationen • Gleichtakte in Wechselstromnetzen
Hochfrequente Phänomene auf Leitungen	<ul style="list-style-type: none"> • 100/1300 ns Staßspannung/-strom • Blitz 1,2/50 µs – 8/20 µs Staßspannung/-strom • Blitz 10/350 µs (Telekom.) • Burst n x 5/50 ns • Ring Waves 0,5 µs/100 kHz • gedämpfte Welle 0,1 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
HEMF	<ul style="list-style-type: none"> • Nuklearer elektromagnetischer Puls

Tabelle 1 Elektromagnetische Störphänomene nach IEC 61000-2-5

3. 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 3).

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 Komponenten 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 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-, Überwachungs-, Kommunikations- und Computersysteme, deren Schutz vor miss-

bräuchlichen 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 Systemtheorie an.



Bild 3 Ökosystem einer Industriegesellschaft

Bekanntlich lässt sich ein beliebiges System theoretisch abstrakt auf mengentheoretischer Basis durch folgendes Quintupel beschreiben [8].

$$S = (E, A, K, R, F), \quad (9)$$

wobei

$$E = \{E_i \mid i = 1, 2, \dots, m\} \text{ Menge der Systemeingangsgrößen} \quad (10)$$

(Stoff-, Energie- und/oder Informationsströme beziehungsweise sie charakterisierende Größen),

$$A = \{A_i \mid i = 1, 2, \dots, n\} \text{ Menge der Systemausgangsgrößen} \quad (11)$$

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

$$K = \{K_i \mid i = 1, 2, \dots, q\} \text{ Menge der Systemkomponenten} \quad (12)$$

(materielle oder virtuelle Systemelemente, Subsysteme, Komponenten),

$$R = \{K_i \mid i = 1, 2, \dots, q\} \times \{K_j \mid j = 1 + q - i\} \setminus \{(K_i, K_j) \mid j = i\} \quad (13)$$

(Menge der gerichteten Relationen/Beziehungen zwischen den Komponenten. Sie entspricht in der Regel einer Teilmenge des Kreuzproduktes $K \times K$ abzüglich der Eigenschleifen).

Die Mächtigkeit von R , das heißt die Anzahl der Relationen, ergibt sich bei q Komponenten und je z gerichteten Verbindungen von einer Komponente zu anderen zu

$$|R| = r = q(q - 1)z. \tag{14}$$

Schlussendlich gilt

$$F : (E \rightarrow A) \text{ beziehungsweise } F : (f[K_i]; R) \tag{15}$$

für die Systemfunktion. Sie repräsentiert sich als Abbildung von E auf A beziehungsweise wird durch die Elementefunktionen $f[K_i]$ und durch die zwischen den Systemkomponenten im konkreten Fall bestehenden Beziehungen R bestimmt.

Bild 4 veranschaulicht die Gleichungen (10) bis (14) an Hand eines einfachen Beispiels mit vier Systemkomponenten K1 bis K4.

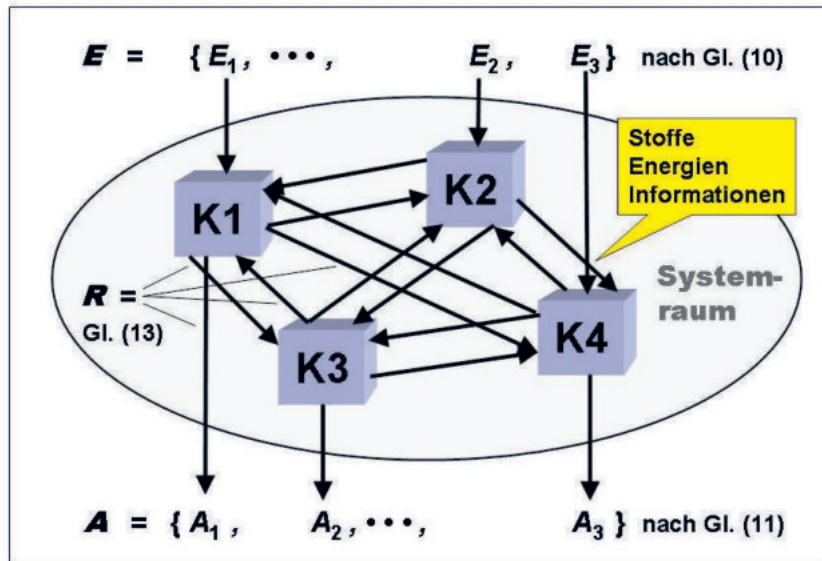


Bild 4 Zur Veranschaulichung der Gleichungen (10) bis (14)

Aus praktischer Sicht gelten für unsere Betrachtungen folgende Einschränkungen.

- *Erstens*: In realen Systemen steht nicht jede Systemkomponente zwingend mit jeder anderen in Verbindung.
- *Zweitens*: Für 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 aus den Gleichungen (10), (11) und (13), und zwar

$$E_{em} = \{E_{emi} \mid i = 1, 2, \dots, m^*, \text{ wobei } m^* \leq m\} \subset E \tag{16}$$

(Menge der elektromagnetischen Systemeingangsgrößen),

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

(Menge der elektromagnetischen Systemausgangsgrößen),

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

(Menge der systeminternen gerichteten elektromagnetischen Relationen zwischen den Systemkomponenten).

Betrachtet man nunmehr ein konkretes technisches System (IC, PCB, 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, 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 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 Kopplungswegen 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 5 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.

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

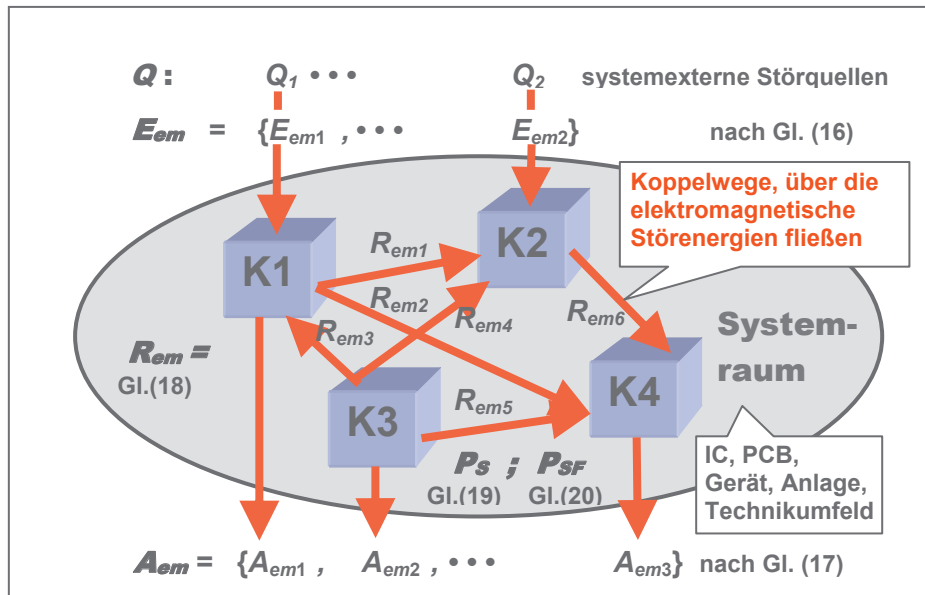


Bild 5 Zur Verdeutlichung der Gleichungen (16) bis (20) an Hand eines einfachen Beispiels mit willkürlich angenommenen Koppelwegen. K1 bis K4: Systemkomponenten.

Interne Störquellen		Interne Störseenken			
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 5

3.1 EMV in Systemräumen

Bei Kenntnis des Störpegels P_S und des Störfestigkeitspegels P_{SF} entsprechend den Gleichungen (19) und (20) lässt sich die Qualität des elektromagnetischen Beziehungsgefüges innerhalb eines beliebigen Systemraums nunmehr einfach bewerten und der Zustand „Elektromagnetische Verträglichkeit, EMV“ zunächst verbal wie folgt charakterisieren.

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 $p_{SFi} \in P_{SF}$. (21)

Konkret: Elektromagnetische Verträglichkeit besteht, wenn Art und Intensität der gegenseitigen elektromagnetischen Wechselwirkungen zwischen den Objekten eines definierten Betrachtungsraumes zulässige Werte nicht überschreiten, das heißt, 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 folgt charakterisieren:

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

oder auch:

$$EMV: \forall_{(p_{Si} \in P_S) \wedge (p_{SFi} \in P_{SF})} ([p_{SFi}/p_{Si}] > 1) \text{ für } i = 1, 2, \dots, [m^* + r^*] \quad (23)$$

Aus den Gleichungen (22) beziehungsweise (23) leiten sich unmittelbar die allgemeinen Forderungen für eine EMV-gerechte Systemgestaltung ab (Bild 6), was nebenbei bemerkt auch für eine wissenschaftlich fundierte EMV-Grundlagenausbildung ganz nützlich ist.

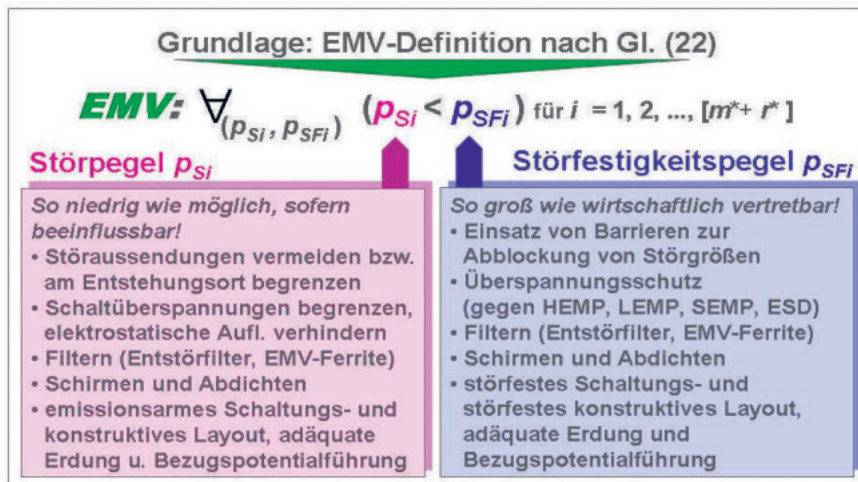


Bild 6 EMV-gerechte Systemgestaltung, allgemeine Anforderungen

3.2 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 Gleichungen (22) beziehungsweise (23) erfüllen, und andererseits müssen an allen m^* Eingängen, siehe Gleichung (16) und Bild 5, die Störfestigkeitspegel p_{SF_i} größer oder wenigstens gleich den für konkrete Einsatzbedingungen geforderten Werten p_{SFNi} sein und darüber hinaus an allen n^* Ausgängen, siehe Gleichung (17) und Bild 5, die Störaussendungspegel p_{SA_i} unterhalb der zulässigen Werte p_{SAZi} liegen. Für p_{SFNi} und p_{SAZi} gelten dabei die in den Fachgrundnormen beziehungsweise den Produktnormen festgeschriebenen Grenzwerte.

Das heißt, ein Subsystem ist dann elektromagnetisch verträglich und in einem Geräte-Ensemble EMV-teamfähig, wenn es

- erstens den Gleichungen (22) beziehungsweise (23) genügt, das heißt die so genannte „Innere EMV“ – siehe (5) – gewährleistet ist und
- zweitens, wenn es die folgende Bedingung B_{EMV} erfüllt, das heißt, es den in den EMV-Normen festgelegten Störfestigkeits- und Störemissionsgrenzwerten genügt.

$$B_{EMV} : \forall (p_{SF_i}, p_{SFNi}, p_{SA_i}, p_{SAZi}) \\ [p_{SF_i} \leq p_{SFNi} \text{ für } i = 1, 2, \dots, m^*] \wedge [p_{SA_i} \leq p_{SAZi} \text{ für } i = 1, 2, \dots, n^*]. \quad (24)$$

Simplifiziert in Worten führt dies zu der folgenden definitorischen Aussage.

Ein Betriebsmittel ist elektromagnetisch verträglich, wenn es die Fähigkeit hat, in seiner elektromagnetischen Umgebung zufrieden stellend 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 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, vergleiche die Wortpassagen (1) bis (8) und damit im Zusammenhang stehende in sich nicht schlüssige EMV-Interpretationen, wenn man den elektromagnetischen Verträglichkeitszustand innerhalb eines definierten Betrachtungsraums auf dieser Basis charakterisieren will.

chung von EMF-Wirkungen und der Verwirklichung von EMF-Schutzkonzepten herangezogen wird.

5. Globales EMV-Management

Die Aufrechterhaltung der Stabilität des gesamten Zivilisationsumfeldes 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 (vergleiche Abschnitt 4) dafür zu sorgen, dass auch die belebte Natur durch elektromagnetische Wirkungen keinen Schaden nimmt. Die Behandlung dieses Problems ist dabei kein einmaliger Vorgang, sondern ein kontinuierlicher, unter Beachtung immer neuer Aspekte und Herausforderungen zielgerichtet zu führender dynamischer Prozess. Er ist gekennzeichnet (vgl. Tafel 3) durch die weltweit rasch fortschreitende technologische Entwicklung, durch steigenden Elektroenergieumsatz, vermehrten Einsatz von Leistungselektronik, explosiver Durchdringung und

- **Steigender Elektroenergieeinsatz**
⇒ steigende Belegungsdichte mit elektrischen und elektronischen Betriebsmitteln
- **Kontinuierliche Zunahme stationärer und mobiler Systeme**
⇒ ständige statische und vermehrt dynamische Strukturveränderungen
- **Rasant steigender Vernetzungsgrad der elektrisch/elektron. Betriebsmittel**
⇒ Kommunikationssysteme, Mechatronische Systeme, Ad hoc-Vernetzung
- **Steigende Arbeitsfrequenzen und Taktraten bei neuen Produkten**
Mobilfunk, moderne CPUs, >>> um/über 2 bzw. 4 GHz
(lokale Funknetze: nicht ferne Zukunft 50 – 60 GHz, langfristig 1000 GHz)
Wireless USB, ZigBee, Bluetooth, WLAN: 2,5 >>> 5 GHz; UWB: >>> 10 GHz
WiMAX: 2 >>> 66 GHz
Satellitenfunkdienste >>> über 30 GHz
Radar in Kraftfahrzeugen >>> 90 GHz
⇒ Leichteres Eindringen von Störfeldern durch kleine Gehäuseöffnungen
⇒ Mess- und Prüfverfahren für höhere Frequenzen erforderlich
- **Feinere Leiterstrukturen, höhere Packungsdichten, höhere Stromstärken, niedrigere Versorgungsspannungen auf PCBs**
⇒ Signalintegrität (Laufzeiten, Reflexionen, Übersprechen bei hohen Taktraten)
⇒ Power Integrität (Stabilität der PCB On-Board-Versorgungsspannungen)
- **Zunehmender Einsatz von Schaltnetzteilen und Leistungselektronik**
⇒ Harmonisch in den Versorgungsspannungen (Elektroenergiequalität)
- **Zunehmende Bedeutung von Sicherheitsaspekten**
⇒ Funktionale Sicherheit, IT-Sicherheit, Versorgungssicherheit, Ex-Schutz, Gesundheitsrisiken durch EM-Felder, terroristische Bedrohungen

Ta

belle 3 EMV-relevante Trends und deren Konsequenzen im Zuge des technisch-technologischen Wandels

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, Zigbee, WiMAX, UWB und viele andere, 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 aufrecht erhalten 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. Abbildung 8 vermittelt hierzu eine Übersicht.



Bild 8 Grundstruktur des Globalen EMV-Managements

Sie verdeutlicht die Grundstruktur des globalen EMV-Managementsystems und die darin im Sinne einer EMV-Prozesszustandssteuerung zu verwirklichende Ziel-funktion.

Funktional gesehen handelt es sich dabei um eine statische Prozessoptimierung [8], in der Steuergrößen u in Abhängigkeit von im Mittel 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

$$EMV = f(z_K, z_V, u) \tag{26}$$

auf Dauer aufrechterhalten bleibt (Bild 9). Dabei werden in der Regel Mischstrategien bestehend aus Vorwärts- und Rückwärtsoptimierungsbestandteilen angewandt.

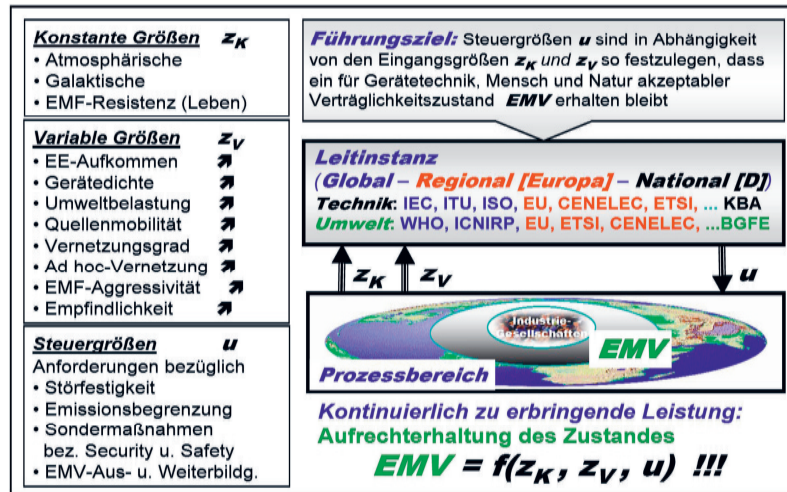


Bild 9 Funktionale Struktur des globalen EMV-Controllings

6. Zusammenfassung

Der Begriff EMV ist weltweit in Normen, Richtlinien und darauf basierenden Gesetzen als Objekteigenschaft/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 diesen Sachverhalt zu berücksichtigen. Das heißt,

- einerseits den Begriff EMV als Zustand des elektromagnetischen Beziehungsgefüges zwischen den Komponenten eines Betrachtungsobjekts, z.B. basierend auf (21) zu definieren, was kurz und bündig, für jeden verständlich in verbaler Form möglich ist, 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.

Abkürzungsverzeichnis

BGFE	Berufsgenossenschaft Feinmechanik und Elektrotechnik, Köln. www.bgfe.de
BNA	Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, Bonn. www.bundesnetzagentur.de
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Electrotechnique ~ Europäisches Komitee für Normung in der Elektrotechnik, Brüssel. www.cenelec.org
DIN	Deutsches Institut für Normung, Berlin
DKE	Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, Frankfurt/Main. www.dke.de
EMC	Electromagnetic Compatibility ~ Elektromagnetische Verträglichkeit
EMF	Electromagnetic fields ~ elektromagnetische Felder
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
EMVG	Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten [1][2]
EMVU	Elektromagnetische Verträglichkeit zur Umwelt
ESD	Electrostatic Discharge ~ Entladungen statischer Elektrizität
ETSI	European Telecommunications Standards Institute ~ Europäisches Institut für Telekommunikationsnormen, Sophia-Antipolis/Frankreich. www.etsi.org
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection ~ Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung, Oberschleißheim. www.icnirp.net
IEC	International Electrotechnical Commission ~ Internationale Elektrotechnische Kommission, Genf/Schweiz. www.iec.ch
IEV	International Electrotechnical Vocabulary ~ Internationales Elektrotechnisches Vokabular. http://dom2.iec.ch/iev?OpenDocument
ISO	International Organisation for Standardization ~ Internationale Organisation für Normung, Genf/Schweiz. www.iso.org
ITU	International Telecommunication Union ~ Internationale Fernmeldeunion, Genf/Schweiz. www.itu.int
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt, Flensburg. www.kba.de
LEMP	Lightning Electromagnetic Pulse ~ blitzbegleitender elektromagnetischer Puls
NEMP	Nuclear Electromagnetic Pulse ~ nuklearer elektromagnetischer Puls
SEMP	Switching Electromagnetic Pulse ~ durch Schaltvorgänge ausgelöster elektromagnetischer Puls
SSK	Strahlenschutzkommission, Bonn. www.ssk.de

TC	Technical Committee ~ Technisches Komitee
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System ~ Mobilfunkstandard der 3. Generation
UWB	Ultra Wide Band ~ Ultrabreitband
WHO	World Health Organization ~ Weltgesundheitsorganisation, Genf/Schweiz. www.who.int
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access. de.wikipedia.org/wiki/WiMAX
WLAN	Wireless Local Area Network ~ Lokales Netz auf Funkbasis
WLL	Wireless Local Loop ~ Direktanbindung von Telefonkunden über Funk anstelle über drahtgebundene Ortsanschlussleitungen

Literaturverzeichnis

- [1] Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten (EMVG). BGBl. I, Nr. 64 vom 24. September 1998, S. 2882-2892 beziehungsweise
www.bgblportal.de/BGBl/bgbl1f/b198064f.pdf
- [2] Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln (EMVG). BGBl. I, Nr. 6 vom 26. Februar 2008, S. 220-232 beziehungsweise
www.bgblportal.de/BGBl/bgbl1f/bgbl108s0220.pdf
- [3] KERRY, P, President CISPR; RADASKY, W A, Chairman ACEC: THE ABCs OF EMC.
www.iec.ch/zone/emc/on_pres.htm
oder
MOEHR, D E C, Secretary IEC TC 77 (EMC).
[www.fi.uba.ar/materias/6510/Clase%2013\(%B405\)-Seminaro%20EMC-Selecci%F3n/B02%20ABCs%20of%20EMC.ppt](http://www.fi.uba.ar/materias/6510/Clase%2013(%B405)-Seminaro%20EMC-Selecci%F3n/B02%20ABCs%20of%20EMC.ppt)
- [4] RADASKY, W A: EMC Challenges for Electronic Systems.
www.ce-mag.com/archive/01/Spring/Radasky.html
- [5] IEC 77A/324/CDV, IEC 161-01-07 modified.
<http://grouper.ieee.org/groups/harmonic/iharm/docs/61000-2-2.pdf>
- [6] HABIGER, E: EMV-Lexikon 2007, 2. Auflage. WEKA MEDIA GmbH & Co. KG 2007, 290 S. ISBN 3-8111-7895-4
- [7] International Electrotechnical Vocabulary, IEC 161-03-10.
- [8] HABIGER, E: A&D-Lexikon – Begriffe und Kurzbezeichnungen der industriellen Automation, 7. Aufl. publish-industry Verlag 2007, 98 S.
- [9] 26. BImSchV – Verordnung über elektromagnetische Felder.
www.kanzlei.de/umwr26vo.htm
BGR B11 Elektromagnetische Felder
BGV B11 Unfallverhütungsvorschrift Elektromagnetische Felder
www.bgfe.de

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr.-Ing. habil. Ernst Habiger
Technische Universität Dresden
Institut für Automatisierungstechnik
Mommensenstraße 13
01062 Dresden
ernst.habiger@mailbox.tu-dresden.de

Privatanschrift:

Mühlweg 12
01809 Röhrsdorf