

Beschreibung der Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktoringenieur

(Dr.-Ing.)

vorgelegt

der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

der Technischen Universität Ilmenau

von

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Heck

Geb. am 14.07.1955 in Stuttgart

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Dietrich Stade
2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Petzoldt
3. Gutachter: Dr.-Ing. Helge Schäfer

Tag der Einreichung: 14.10.2004

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 08.07.2005

Abstrakt / Thomas Heck:

Beschreibung der Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zwischen
Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer

Description of power quality at the interface between energy supplier and customer

Gerlingen, Oktober 2004.

Verstärkt wird in der Industrie sichtbar: eine nicht optimal verfügbare elektrische Energie (EE) kann zu erheblichen Kosten führen; denn nur mit einer optimalen Verfügbarkeit und Qualität der EE, d.h. seiner Elektroenergiequalität (EEQ) ist die Produktion und deren Steuerung gesichert.

Doch die Realität sieht anders aus. So hat das Problem der Qualität der EE in den letzten Jahren zugenommen. Der Markt für EE ist offen und der industrielle Elektroenergieverbraucher muss erkennen, dass es gilt den Fokus auf die weitere Entwicklung der Elektroenergieverbraucher, respektive deren verstärkten Einsatz als sensible Verbraucher, beispielsweise Rechnernetze, zu setzen.

Folglich ist es absolut notwendig, die Aspekte der Elektroenergiequalität in den Planungs- und Betriebsprozess mit einzubeziehen. Die Kenngrößen der Elektroenergiequalität, wie Oberschwingungen, Spannungseinbrüche oder –senkungen, Flicker, etc., müssen durch ein geeignetes Verfahren, als Vorgehensweise unter dem Aspekt des Risikos eines nichtkonformen Betriebs von Anlagen am Netz, ermittelt werden. Die notwendige Anforderung an ein solches Verfahren, die daraus hervorgehende mathematische und numerische Modellbildung, ist Grundlage der Beschreibung der Betriebsmittel der Netze und der Abnehmer unter Gesichtspunkten der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV).

Die Quantität der EMV, gesehen als Elektroenergiequalität einer Vielzahl von Verbrauchern im Elektroenergiesystem, ist der obligatorische Benchmark zwischen allen Partnern im selben Netzverbund. Es gilt dem/den Elektroenergieverbraucher(n) einen qualitätskonformen, d.h. notwendigen und zugleich sicheren Produktionsprozess zu garantieren.

Fünf Beispiele zeigen, wie man die Wirkung der Elektroenergiequalität analysiert, und die Ergebnisse im Technik- und/oder Planungsprozess von elektrischen Anlagen und Ausrüstungen (Elektroenergieabnehmer) zum Elektroenergieversorgungsnetz hin integriert. Des Weiterem wird gezeigt, wie ein Verbraucher die Ergebnisse benutzen kann, um seine Elektroenergieversorgungsstruktur unter dem minimalen Risiko funktionaler Störung zum Prozess und/oder Produkt (Investment) zu optimieren.

A non-optimal power quality can lead to substantial costs in industrial processes. Therefore the availability and quality of power supply have to be adapted to the necessity of the supplied industrial and technological processes.

However, reality looks differently. Problems with power quality increased in the last years. A reason for this trend is also the more and more liberalized energy market, where the number of for example converter-fed drives or sensitive loads, like computer networks, increased substantially. These factors have been contributing e.g. to a sharp increase of harmonics in power supply.

Therefore it's absolutely necessary to involve the aspects of power quality into the planning and engineering process. The indicators of power quality like harmonics, voltage dip, flicker etc. have to be determined under the aspect of operation of equipment and processes under a risky nonconformist way. Therewith and also by use of mathematical/numerical models of equipment, processes and electrical network as well one has the chance to describe the complete planning, engineering and running process under the aspects of the electromagnetic compatibility (EMC).

The level of power quality of the power supply versus to its loads is the obligatory benchmark of all partners within the same power network and necessary to guarantee a quality-conform, reliable and safe production process.

Five examples show how the effect of power quality in order to integrate the results into the engineering and/or planning process of electrical equipment and power supply networks has to be analysed. Furthermore it is shown how a customer can use the results to optimize his power supply structure under a minimum risk related to the process or product and also under the point of view to reduce investments.

Vorwort

Die Dissertation entstand als Ergebnis meiner Arbeit:

- als Leiter des Bereichs elektrische Energieversorgung in einem weltweit agierenden Industrieunternehmen der metallverarbeitenden Industrie, zwischen 1985 und 1997;
- als Leiter des Fachbereichs Elektroenergiequalität im selben Industrieunternehmen ab 1997 bis 2000;
- als Leiter des Fachbereichs Elektroenergiequalität im zentralen Planungsbereich des Industrieunternehmens ab 2000.

Die langjährige kooperative Beziehung mit der Technischen Universität Ilmenau, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Berufsgebiet Elektrische Anlagen und Netze (1991 bis 2004), wie auch die große Zahl gemeinsam durchgeführter Studien im Elektroenergieversorgungsnetz des Industrieunternehmens, führte zur Bearbeitung der Thematik dieser Arbeit. Eine Vielzahl von Messungen und Analysen auf dem Gebiet der Elektroenergiequalität bildete die Basis der Arbeit, so zu sehen als Quelle praktischer Problemsicht.

Mein herzlicher Dank gilt vor allem Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Dietrich Stade für die großzügige und wohlwollende Förderung, sowie für die ausgezeichnete Betreuung dieser Arbeit. Insbesondere die stete Diskussionsbereitschaft und die wertvollen Hinweise waren der Ansporn ein Themengebiet zu fokussieren, das die Elektroenergiequalität vor allem in ihren Rahmenbedingungen der Nutzung am Objekt, d.h. Elektroenergieabnehmer darzustellen vermag.

Mein Dank gilt insbesondere den Mitarbeitern des Fachbereichs Elektrotechnik der Technischen Universität Ilmenau für die freundliche Unterstützung und die Zuarbeit zu der Arbeit, sowie allen Mitarbeitern des Industrieunternehmens die im Umfeld der Arbeit mit eingebunden waren.

Nicht zuletzt sei meiner Familie für die immerwährende Unterstützung gedankt, ohne die diese Arbeit nicht entstanden wäre.

Gliederung

Kapitel, Inhalt	Seite
0 Einleitung und Zielstellung	1
1 Ausgangssituation	8
1.1 Elektrische Energie im Wandel.....	8
1.2 Erscheinungsbild der Schnittstelle.....	8
1.3 Blick über nationale Grenzen.....	10
1.4 Erwartungshaltung an das EES.....	12
2 Elektroenergiequalität	14
2.1 Elektrische Energie EE.....	14
2.2 Strom, Signalverlauf der Ladung.....	15
2.3 Störsignale.....	17
2.3.1 Störphänomen allgemein.....	17
2.3.2 Störphänomen spezifisch.....	20
2.3.2.1 Signalspannung.....	20
2.3.2.2 Transiente Spannungsänderung.....	20
2.3.2.3 Langsame, schnelle Spannungsänderung (Flicker).....	24
2.3.2.4 Spannungseinbruch / „voltage dip“.....	27
2.3.2.5 Kommutierungseinbruch.....	30
2.3.2.6 Spannungs- / Versorgungsunterbrechung.....	31
2.3.2.7 Spannungsunsymmetrie.....	33
2.3.2.8 Spannungsharmonische.....	34
2.3.3 Störphänomen als Signalmodell.....	39
2.3.4 Signalmodell im EES.....	43
2.3.4.1 Qualitätsindex.....	44
2.3.4.2 Qualitätseinbindung.....	47
2.4 Fazit – Elektroenergiequalität.....	50
3 Elektroenergieversorgungsnetz	51
3.1 Neuordnung des Geschäfts.....	51
3.2 Vertragsbindung zum Kunden.....	54
3.2.1 Netzanschlussvertrag.....	54
3.2.2 Elektrizitätsliefervertrag.....	55

Kapitel, Inhalt	Seite
3.3	Rechtssicht zur Qualität im EES..... 57
3.4	Fazit – Vertragskonstrukt im EES..... 59
4	Elektroenergieabnehmer..... 60
4.1	Regeln und Richtlinien im Wirtschaftsraum der EG..... 60
4.2	EG-EMV-Richtlinie, Rechtsvorschrift für Geräte..... 62
4.2.1	Gesetzlicher Rahmen der Einbindung..... 62
4.2.2	Fokus Prozessumfeld..... 66
4.2.2.1	Prozessumfeld bindet Hersteller und Betreiber..... 68
4.2.2.2	Prozessumfeld und Dokumentation..... 69
4.3	EG-Maschinen-Richtlinie, Rechtsvorschrift für Maschinen..... 71
4.3.1	Schutzziel Elektrik..... 72
4.3.2	Elektrik „via“ EEQ..... 74
4.3.3	Schutzbereich Aufstellungsort..... 76
4.3.4	Paradigmawechsel in der Schutzzielzuweisung..... 77
4.4	EMV, Richtlinie für Geräte und Maschinen..... 79
4.4.1	Schutz durch Konformität..... 80
4.4.1.1	EE, ein Element der Konformität..... 81
4.4.1.2	CE, das Kennzeichen der Konformität..... 84
4.4.2	Regeln der Umsetzung..... 88
4.4.2.1	Freigabe zum Betrieb..... 90
4.4.2.2	Sicherheit im Zeichen von 93/465/EWG..... 92
4.5	Fazit – Elektroenergieabnehmer..... 95
5	Schnittstelle im EES..... 99
5.1	Schnittstelle, juristischer Imperativ der (BE-)Nutzung..... 99
5.1.1	„Corporate Identity“ der Schnittstelle..... 99
5.1.2	Betreiber als Nutzer der Schnittstelle..... 104
5.1.3	Zertifikat der Benutzung..... 105
5.1.3.1	Zertifikat, Rechtsform im QS-Prozess..... 106
5.1.3.2	Zertifikat, Rechtsform im QM-Prozess..... 108
5.2	Schnittstelle, Rechtsbereich im betrieblichen Konsens..... 110

Kapitel, Inhalt	Seite
5.2.1	Schutzzielbewertung unter DIN EN 45014..... 110
5.2.2	Hilfsmittel innerhalb der Verfahren..... 112
5.2.3	Das Quality-Gate EE..... 114
5.3	Verbindlichkeit und Abgrenzung..... 116
5.3.1	Rahmenbedingungen..... 117
5.3.2	Input/Output-Betrachtung..... 120
5.3.3	Regelgröße der Regulierung..... 122
5.4	Fazit – Schnittstelle..... 125
6	Balance der Last 127
6.1	Leistungsaustausch im EES..... 127
6.2	Freiraum im EES..... 129
6.3	Detailgröße der Last im EES..... 133
6.3.1	Leistungen im Einphasensystem..... 134
6.3.1.1	Wirk- und Verschiebungsblindleistung..... 134
6.3.1.2	Deformationsblindleistung..... 136
6.3.1.3	Zusammenführung zur Scheinleistung..... 138
6.3.2	Leistungen im Mehrphasensystem..... 144
6.3.2.1	Symmetrisches Mehrphasensystem..... 144
6.3.2.2	Unsymmetrisches Mehrphasensystem..... 145
6.4	Wirkung von Defiziten am Beispiel..... 147
6.4.1	Verzerrungsleistung S_O (P_O , Q_O , D_O)..... 147
6.4.2	Verzerrungs- und Unsymmetrieblindleistung S_O , D_U 148
6.5	Fazit – Balance der Last..... 150
7	Lastmodell Elektroenergieversorgungsnetz 151
7.1	Verfahren symmetrischer Komponenten..... 151
7.1.1	Vorgehensweise im 3-Leiter-Netz..... 153
7.1.2	Vorgehensweise im 4- oder 5-Leiter-Netz..... 155
7.2	Leistungsgebilde Versorgungsnetz..... 156
7.2.1	Versorgungsmodell im Raum..... 159
7.2.2	Versorgungsmodell der Ebene..... 161
7.2.2.1	Symmetrisches Netz..... 169
7.2.2.2	Unsymmetrisches Netz..... 172

Kapitel, Inhalt	Seite
7.2.3 Versorgungsmo­dell mit mehr als einem Netznutzer.....	176
7.2.3.1 Theorie der Umsetzung.....	177
7.2.3.1.1 Rahmenvorgabe.....	178
7.2.3.1.2 Heranführung.....	179
7.2.3.1.3 Umsetzung.....	183
7.2.3.2 Wandlung für die Praxis.....	185
7.2.3.3 Wertebildung in der Praxis.....	189
8 Komponenten der Ausbreitung.....	192
8.1 Kopplungsarten allgemein.....	192
8.2 Kopplungsarten spezifisch.....	194
8.2.1 Galvanische Kopplung.....	194
8.2.2 Kapazitive Kopplung.....	196
8.2.3 Induktive Kopplung.....	199
8.2.4 Elektromagnetische Kopplung.....	200
9 Funktionsmodell.....	202
9.1 EMV-Modell der Übertragung.....	202
9.1.1 Signalfussplan.....	204
9.1.2 Signalfusskopplung.....	206
9.2 Methodik am Objekt.....	208
9.2.1 Funktionsentscheider.....	210
9.2.2 Funktionsbildner.....	216
9.2.3 Prozessbildner.....	224
9.3 Fazit – Funktionsmodell.....	229
10 Schnittstelle, Operand der Belastung.....	230
10.1 Varianz der Beeinflussung.....	230
10.2 Differenzierung der Beeinflussung.....	236
10.3 Differenzierung der Handhabung.....	240
10.3.1 Umgebungsklasse.....	241
10.3.2 Umgebungskataster.....	243
10.3.3 Umgebungsmatrix.....	250
11 Schnittstelle, Spiegel des Risikos.....	255

Kapitel, Inhalt	Seite
11.1	Das 4 M-Konzept an der Schnittstelle..... 255
11.1.1	Faktoren des Risikos..... 256
11.1.2	Zelle des Risikos..... 258
11.1.3	Kettenglieder des Risikos..... 259
11.1.4	Risiko, Element der Gestaltung..... 261
11.1.5	Vernetzung des Risikos..... 263
11.2	Grenzrisiko EE..... 266
11.3	Umsetzung der Zielstellung..... 272
11.3.1	Klassierung von Einzelmerkmalen..... 276
11.3.2	Fokus der Befindlichkeit..... 278
11.4	Methodik am Objekt..... 279
11.4.1	Risikoabsicherung standardisiert..... 279
11.4.2	Risikoabsicherung erweitert..... 285
11.5	Fazit..... 288
12	EEQ-Monitoring..... 296
12.1	Messung..... 296
12.1.1	Kurzfristige, anlassbedingte Messung..... 296
12.1.2	Dauermessung..... 297
12.2	Strategie..... 298
12.2.1	Entscheidungsmatrix..... 302
12.2.2	Entscheidungsgründe..... 304
12.3	Struktur..... 307
12.4	Ausrichtung..... 310
12.5	Architektur..... 311
12.5.1	Eckelemente..... 311
12.5.2	Herangehensweise..... 314
12.5.2.1	Funktionelle Struktur..... 315
12.5.2.2	Hierarchische Struktur..... 316
13	Zusammenfassung und weiterzuerfolgende wissen- schaftliche Zielstellungen..... 318
14	Formelzeichen, Indizes, Abkürzungen.....326
15	Literatur..... 330

0. Einleitung und Zielstellung

Die Liberalisierung des Marktes für „elektrische Energie“ (EE) hat ab 1998 zu einem tief greifenden wirtschaftlichen Wandel in einem Sektor geführt, dessen technologische und ökonomische Entwicklung über Jahrzehnte von einem hohen Maß an Stabilität gekennzeichnet war. Durch die Einführung von Wettbewerb in den Bereichen Stromerzeugung, Handel und Vertrieb, werden die Elektroenergieversorgungsunternehmen (EVU's), die traditionell als Monopolisten agierten, mit grundlegend neuen Herausforderungen konfrontiert. Insbesondere die in Deutschland tätigen Elektroenergieversorger antworteten auf die Marktöffnung mit einem regelrechten Preiskampf. Ein Verdrängungswettbewerb entstand, der 2004 zwar gestoppt wurde, dessen Wirkung auf das Produkt EE jedoch weiter ansteht. Neu gemischt ist vor allem die Kette der Wertschöpfung, d.h. die Preis-Leistungs-Bilanz eines einst hoch gepriesenen Qualitätsproduktes. Gerade hier nutzt der Markt der Elektroenergieversorger ungeniert Deregulierungsmerkmale einer Liberalisierung – Trennung der Bereitstellung des Produkts EE in Erzeugung, Übertragung und Dienstleistung – um getrennt und nicht mehr als Einheit, ein Kostenminimum zu generieren. Die gemeinsame Konsequenz einer zeitgleich zum Verbrauch produzierenden Wertschöpfungskette am Produkt EE bleibt teils bewusst, teils unbewusst außen vor. So steht beispielsweise beim Elektroenergieübertrager der Rückbau von Netzinfrastrukturelementen, wie Transformatoren und Übertragungsleitungen als Lastkapazitäten verstärkt zur Diskussion, während beim Elektroenergieerzeuger die Schließung von Kraftwerksleistungen im lokalen und regionalen Gefüge die diesbezügliche Disposition bildete. In seiner Wirkung am Netzknoten zum Kunden, d.h. in seiner Reaktion gegenüber den Lasteffekten des Elektroenergieabnehmers am Elektroenergieversorgungsnetz, hat die sich daraus abzeichnende Verringerung verfügbarer Netzkurzschlussleistungen stets die Erhöhung der Netzimpedanz am Nutzungsort zur Folge. Das Reaktionsergebnis beim Kunden, als dem Nutzer EE ist: bei gleicher Emissionsdichte der Elektroenergieabnehmer am Netzknotenpunkt steigt das Störspannungsabbild gegenüber den Elektroenergieabnehmern messbar an. Ein Ungleichgewicht zwischen Emission (Störaussendung, Quelle) und Immunität (Störfestigkeit von Quelle und/oder Senke) entsteht, dass unter gewissen Randbedingungen den vom Gesetzgeber geforderten Kompatibilitätsgrad, respektive Konformitätsgrad (CE-Konformität) zur elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV nach dem EMV-Gesetz – kurz EMVG) am Netzknotenpunkt nicht mehr wiedergibt.

Dem gegenüber steht der Lieferant von Elektroenergieabnehmern, der unter dem Gesichtspunkt der wirtschaftlichen Fahrweise verstärkt auf Betriebsmittel setzt, die durch ihr gesteuertes Nutzungsverhalten nichtlineare Strom-Spannungs-Kennlinien aufweisen. Dazu zählt der Halbleiterschalter, beispielsweise eingesetzt in Stromrichtern, die es dem Benutzer gestattet, den Energiebedarf ungestuft, d.h. an dem momentanen Funktionsprozess angepasst, aus dem Elektroenergieversorgungsnetz zu entnehmen. Diese Art der Technologie ist im industriellen Umfeld in einer Vielzahl von Einzelkomponenten eingesetzt. Sie bildet durch ihre technologische Summenbilanz am Nutzungsort (Netzknoten) den Belastungsfall des Elektroenergieversorgers im Zeit- und/oder Frequenzbereich ab. Eine Ist-Soll-Betrachtung der sich bildenden Qualität am Produkt EE entsteht auf Basis des Differenzvergleichs der momentanen Netzbelastung – bezeichnet als Betriebspegel – und der Grenzbelastungsfähigkeit der in Summe am Betrachtungspunkt angeschlossenen Elektroenergieabnehmer – bezeichnet als Planungspegel. Entsteht ein Defizit als negativer Soll-Ist-Vergleich an der Qualität des Produkts EE, spricht man am Netzanschlusspunkt von einem nicht konformen Betrieb der/des Elektroenergieabnehmer(s) am Elektroenergieversorgungsnetz. Charakterisiert wird das Defizit am Produkt EE durch dessen Merkmale in Form, Verlauf und Stabilität, beispielsweise nach DIN EN 50160 /15/ als der am Netzanschlusspunkt zwischen Versorgung und Verbrauch sich einstellenden lokalen Merkmale einer Spannung im öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetz.

Die Qualität des Produkts EE ist im Grunde eine technisch-physikalische Bezugsgröße, die auf Planung und Betrieb von Elektroenergieabnehmern am Elektroenergieversorgungsnetz gleichermaßen Einfluss nimmt. Hier gilt es den Elektroenergieabnehmer unter dem Aspekt der Gerätesicherheit und der Produkthaftung, d.h. der Sicherstellung des ordnungsgemäßen Betriebs, respektive sachgemäßer Funktionalität gegenüber dem Produkt, bzw. dem Prozess an der Schnittstelle zum Elektroenergieversorgungsnetz allzeit kompatibel abzugleichen. EU-weit reguliert ist das Merkmal am Produkt EE als Grenzwertgröße der Abweichung einer Spannung vom Normalzustand im öffentlichen Elektroenergieversorgungsnetz. Die bereits beispielhaft angesprochene DIN EN 50160 reglementiert den Normalzustand zurzeit für alle Netznutzer. Doch die Bedürfnisse der Industrie bedingen differenziertere Qualitätsansprüche. Als Sprecher größerer Teile der deutschen Industrie stellte hier der Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V. (VIK) bereits im September 2000 einen offiziellen Änderungsantrag an die Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik In-

formationstechnik im DIN und VDE (DKE) mit dem Ziel der Anhebung der Qualitätsansprüche für die industrielle Netznutzung. Ausgangspunkt ist die Aussage der deutschen Industrie als Zitat aus dem Schreiben des VIK an die DKE /2/:

Mit dem am Netzanschlusspunkt verfügbaren Qualitätsstandard einer Spannung nach DIN EN 50160 vom März 2000 – Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen – ist ein ordnungsgemäßer Betrieb von Industrieanlagen nicht mehr möglich.

Kein ordentlicher Betrieb von Industrieanlagen auf Basis der Elektroenergiequalitätsvorgabe der DIN EN 50160 – so sieht es auch das Industrieunternehmen, in dem der Autor als Leiter des Fachbereichs Elektroenergiequalität im zentralen Planungsbereich tätig ist. Hier wirkt der Autor momentan als Integrator zwischen dem Planungs-, Beschaffungs- und Betriebsprozess elektrotechnischer Anlagen und Einrichtungen zur Sicherstellung von Sicherheit und Funktionalität gegenüber dem Medium EE. Seine dort geleistete Arbeit ist die Grundlage dieser Arbeit und versteht sich als ein wissenschaftlicher Beitrag zur Beschreibung der Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer, stets abgestimmt auf den innerbetrieblichen Nutzungsinhalt elektromagnetischer Verträglichkeit leitungsgebundener Art. Dieses gilt für die Dokumentation der Konformität (Konformitätserklärung, -nachweis, -vermutung) nach EMVG, wie für die Erfassung der physikalischen Umgebungs- und Betriebsbedingungen der jeweiligen Arbeitsstätte (Monitoring der EEQ) in gleichem Maße.

Der Autor wendet sich daher an all diejenigen, die elektrische Prozesse in industriellen Bereichen planen, betreiben, direkt Instandhalten oder indirekt durch Einkauf von Elektroenergieabnehmern, wie auch deren Anschluss und Vermaschung im Elektroenergieversorgungsnetz verändern. Insbesondere die Frage der Gestaltung energetischer Schnittstellen zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer kennzeichnet der Autor als eine, unter EMV-Aspekten nach EMVG zu hinterlegende Planungs- und Betriebsaufgabe im Zeichen der Sicherheit und Funktionalität elektroenergetischer Prozesse.

Abschnitt 1 der Arbeit beginnt mit der Deklaration „elektrischer Energie“ im Wandel der Zeit. Hier umschreibt der Autor die Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer als Systemausrichtung zum Elektroenergie-

versorgungssystem (EES) im öffentlichen und nichtöffentlichen Netz. Abschnitt 2 ergänzt die Betrachtung auf Basis der Signaleinbindung von Spannung und Strom zur Elektroenergiequalität. Die Qualitätseinbindung der Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer fixiert der Autor aus dem zu beschreibenden Handlungsumfang heraus. Die als Kenngröße „elektrischer Energie“ sich abbildende Versorgungsqualität, zusammengesetzt aus Versorgungszuverlässigkeit und Spannungsqualität, charakterisiert als Detailbetrachtung die differenzierte Sicht der Elektroenergieversorger und Elektroenergieabnehmer. Das sich einstellende Qualitätsgebilde als Qualitätsanforderung an das Produkt EE fokussiert den Handlungsbedarf der Arbeit und entspricht der Beschreibung der Elektroenergiequalität an der Schnittstelle beider Basispartner. Zur diesbezüglichen Quantifizierung der Elektroenergiequalität an der technischen und physikalischen Schnittstelle des Elektroenergieversorgungsnetzes benutzt der Autor in Abschnitt 3 und 4 das bilaterale Vertragsnetzwerk der einzelnen Vertragspartner (Versorger, Durchleiter und Kunde) gegenüber dem Netzanschlusspunkt, um eine operative und strategische Beschreibung der jeweiligen Verhältnisse zu generieren. Unter operativer und strategischer Beschreibung einer Schnittstelle versteht der Autor die Kennzeichnung der Elektroenergiequalitätsparameter als Betriebspegel (operative Größe) und Planungspegel (strategische Größe). Als Kenngrößenbildung dient für den Autor die Neuordnung des Elektroenergiegeschäfts ab 1996 (Thema Liberalisierung des Elektroenergiemarktes – Verbändevereinbarung Strom II plus – Abschnitt 3) und die EU-Harmonisierung der Normen zum Inverkehrbringen von Elektroenergieverbrauchern im Binnenmarkt (Abschnitt 4), beispielhaft gezeichnet als:

- Versorgung EE (VV Strom II plus /45/ nach EnWG /8/);
- Nutzung EE (EMV nach EMVG /7/).

Als Verbindlichkeit der Nutzung, d.h. der kompatiblen Bereitstellung „elektrischer Energie“ an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer, gilt es vor allem die Wahrung der Absicherung der physikalischen Umgebungs- und Betriebsbeziehungen am Nutzungsort der Arbeitsstätte, gesehen im Sinne der Führungsgröße des Funktionsprozesses, allzeit sicherzustellen. Unter dem Aspekt der juristischen Verantwortung jedes einzelnen Elektroenergienutzers charakterisiert Abschnitt 5 den darauf aufbauenden Part der Elektroenergiequalität an der Koppelstelle zum Elektroenergieabnehmer. Zur Bildung einer Gesamtverantwortung

gegenüber der Absicherung von Sicherheit und Funktionalität innerbetrieblicher Prozessgestaltung entsteht aus dem globalen Gebilde die Grenzwertvorgabe zum betrieblichen Qualitätssicherungs- und Qualitätsmanagementprozess (QS- und QM-Prozess), die der Autor unter dem Aspekt des „Quality-Gate EE“ ergänzend analysiert. Gerade das Quality-Gate am Medium EE, dargelegt als elektrotechnische Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer bildet ein, gegenüber dem Null-Fehler-Ziel eines Unternehmens in sich vernetztes Gesamtgefüge zur Stabilisierung und Absicherung funktionaler Betriebsprozesse.

Im weiteren Verlauf der Arbeit wird die an der Trennstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer übertragene „elektrische Leistung“ als Balance der Last (Abschnitt 6) den einzelnen Phänomenen eines energetischen Verbrauchs (Wirk-, Verschiebungsblind-, Verzerrungsblind-, Modulationsblind- und Unsymmetriblindleistung) zugeordnet. Ein vom Autor entwickeltes Betrachtungsgebilde ermöglicht es dem Nutzer EE (Erzeuger, Durchleiter, Verbraucher) nicht nur die Austauschrichtung der Wirkkomponente einem Verursacher, d.h. einer Quelle zuzuordnen, sondern über die Wirkkomponente auch die der Blindkomponenten. Je nach Netzform (Einphasen- und Mehrphasensystem) und Netzlast (symmetrische, unsymmetrische Netzbelastung) der Schnittstelle einer externen oder internen Durchleiter-Kunden-Beziehung ist das sich einstellende energetische Leistungsgebilde in Abschnitt 7 als Schema der Ausbreitung von Wirkung und Rückwirkung im EES hinterlegt. Durch die Generierung einer allgemein gültigen Netzwerkmatrize entsteht ein, auf Beispielen gestütztes standardisiertes Verfahren, das als Plattform weitergehender Betrachtungen der elektromagnetischen Verträglichkeit leitungsgebundener Art im EES angesehen werden kann.

Ab Abschnitt 8 verifiziert der Autor den Faktor der Elektroenergiequalität unter den in Abschnitt 5 und 6 dargestellten Befindlichkeiten eines Elektroenergieverbrauchers, stets fokussiert auf die Sicherstellung innerbetrieblicher Funktionalität. Das sich gegenüber dem Medium EE einstellende Prozessabbild nutzt der Autor ab Abschnitt 9 als innerbetrieblicher Absicherungsprozess zum Produkt und zum Prozess. Unter der Vorgabe der Stabilisierung von Produktionsprozessen generiert der Autor den erforderlichen Informationsinhalt EE an der Koppelstelle zwischen Elektroenergiebereitstellung und Elektroenergieverbrauch, genutzt als Indikator des prozessbedingten Leistungsaustauschs. Mit dem Aspekt der Gut-Schlecht-Betrachtung konzeptioniert

der Autor in Abschnitt 10 ein, aus Abschnitt 9 in Stufen sich entwickelndes elektrisches Vierpol- oder Zweitormodell. Vor allem konkretisiert hier der Autor die aus Abschnitt 9 gewonnene Übertragungsfunktion $\underline{E}(s)$ zwischen Ein- und Ausgangsgröße der energetischen Netzkomponente, so zu sehen als Glied einer Funktionskette, wirkend von der Einspeisung am Netzanschlusspunkt (Eingangsgröße: $\underline{X}_e(s)$), bis zur Umsetzung der Einspeiseleistung am Fertigungsprodukt (Ausgangsgröße: $\underline{X}_a(s)$). Dargestellt an mehreren Beispielen verdeutlicht der Autor die diesbezügliche Methodik am Objekt und beschreibt das ganzheitliche Koppelnetzwerk des Elektroenergieabnehmers vom und zum Elektroenergieversorgungsnetz. Dieses geschieht zum einen als Senke ($\underline{E}_V(s)$: Vorwärtszweig), zum anderen als Quelle ($\underline{E}_R(s)$: Rückwärtszweig) einer energetischen Funktionsnutzung im Prozess und am Produkt.

Abschnitt 11 beginnt mit dem Einbezug von Faktoren des Risikos gegenüber funktionalen Störungen am Produkt und/oder Prozess, resultierend aus dem Umfeld der momentan an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer wirkenden EE. Hinterlegt als Kenngröße einzelner Elektroenergiequalitätsparameter am Netzanschlusspunkt verbindet der Autor strategische Bereiche funktionaler Planung, z.B. die einer technischen Gebäudeausrüstung, konkretisiert gespiegelt an den operativen Belastungswerten einer vorhandenen oder zukünftig aktiven Schnittstelle zum Prozess. Durch Nutzung der Klassifizierung von Elektroenergieabnehmern, in der Normung hinterlegt als elektromagnetische Verträglichkeit zu Umgebungsbedingungen in nichtöffentlichen Netzen, DIN EN 61000-2-4 /21/, bzw. öffentlichen Netzen, DIN EN 61000-2-2 /20/, entsteht ein Umgebungskataster, das äquivalent der Beeinflussungsmatrix nach Prof. Ernst Habiger /29/ wirkt. Hier verdeutlicht der Autor auch die technisch-technologischen Bindeglieder zwischen der Modellbildung nach Prof. Ernst Habiger und die des Autors.

Allgemein gültige Beziehungsstrukturen vervollständigen das mathematische Abbild der Beschreibung der Elektroenergiequalität an der energetischen Schnittstelle unter Gesichtspunkten der Koppelstelle zum Produkt, zum Prozess, aber auch zum Arbeits- und Gesundheitsschutz. Ergänzt wird die Modellbetrachtung um die Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer in Abschnitt 11 durch Nutzung der energetischen Prozessgröße, als so genannte Defizitgröße, die aus dem Vorfeld eines Planungs- und Betriebsprozesses stammt. Gerade hier zeigt der Autor die Wichtigkeit der Integration

der Elektroenergiequalität in die Vorfeldplanung von Projekten auf. Verdeutlicht als Kette von Gliedern funktionaler Teilgrößen in Planung, Einkauf, Betrieb und Produktion steht stets im Vordergrund der Aspekt des Risikos eines nichtkonformen Betriebs. Vom Autor an mehreren Beispielen der Praxis aufgezeigt, entsteht ein Funktionsabbild zum Elektroenergieversorgungsnetz, das im Sinne eines Grenzkrisikos der Elektroenergiequalität ein verallgemeinerbares Werte-, bzw. Beschreibungsmuster abbildet. Ein Abgrenzungsmuster zu den physikalischen Umgebungs- und Betriebsbedingungen der DIN EN 60204-1 /18/ entsteht, in dem der Autor über die Klassierung der Einzelmerkmale einer Spannung in Form, Verlauf und Stabilität (Spannungsqualität) den Indikator für Funktionalität und Nichtfunktionalität abgrenzt.

Den Bezugspunkt für die prozessorientierte Risikoabsicherung gegenüber der elektromagnetischen Verträglichkeit einer quantitativen Qualität der Elektroenergie, bildet der Autor in Abschnitt 11 den Grad der Nutzung, über das vom Nutzer gewollt einzu- gehende Risiko, umschrieben als Risikohöhe am Beispiel selten, gelegentlich, auffällig, störend, ab. Eine Grenze zwischen einer akzeptablen und einer inakzeptablen Beeinflussung zum Produkt, respektive zum Prozess entsteht, die auch zukünftigen Analysten von Unternehmen die Bewertung des Unternehmens gegenüber dem Markt erleichtert. Waren derartige Erkenntnisse vorrangig intern von Interesse, so werden verstärkt Aspekt der Unternehmenseinschätzung nach Basel II (Regelung zur risikoabhängigen Eigenkapitalunterlegung für Kredite) extern wirksam, die auf Basis von Kompatibilitätskriterien von Produkt und Prozess zum Medium EE die Konditionen der Fremdfinanzierung festlegt. Wie Auswirkungen im Bereich der Finanzierung, im Kreditrating als Rating einer Vielzahl von Risiken im Unternehmen, aussehen können, ist jedem Unternehmer bewusst – die des Risikos EE, als mögliche „Status-quo-Einstufung“, so gut wie keinem.

Zur Abrundung verweist in Abschnitt 12 der Autor auf ein Monitoringsystem, das die Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer als Check der Verträglichkeit nicht nur dokumentiert, sondern gegenüber dem Planungswert dezidiert auf Konformität abprüft. Erste Vorbereitungen zu einem Elektroenergiequalitäts-Monitoring am Mittel- und Niederspannungsversorgungsnetz im Industrieunternehmen des Autors sind im Entstehen.

1 Ausgangssituation

1.1 Elektrische Energie im Wandel

Die vor gut 6 Jahren in Kraft getretene Neuregulierung des deutschen Energieversorgungsrechts ermöglicht es allen Elektroenergiekunden nach §6 Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) /8/ seinen Elektroenergielieferanten frei zu wählen. Beim Start der Liberalisierung gehörte Deutschland zu den wenigen europäischen Ländern, die den Bestrebungen der Europäischen Union (EU) folgend, ihren Markt für EE umfassend und durchgehend allen Netznutzern (Erzeuger, Durchleiter, Kunde) öffnete. Mit der konkreten Umsetzung zum liberalen Elektroenergiegeschäft, d.h. der Trennung einst über Jahrzehnte manifestierten Ansprüchen am Warenprodukt EE, begann der Wandel vom monopolistisch strukturiertem Handel hin zu frei agierenden Strukturen. Basis war und ist auch 2004 die gesetzliche Auflage des freien Wettbewerbs zwischen allen Organen des Warenermingsgeschäftes mit EE. Im Bezug auf dezidierte Strukturen, wie unabhängige Erzeuger, Händler, Broker, Verteiler, d.h. allen Partnern im Zeichen der elektrischen Energiebereitstellung zum Kunden, geschah dieser im April 1998 aktiv eingeleitete Wandlungsprozess ohne nennenswerte Regulierungsfristen und -stufen. Es darf dabei keinen verwundern, dass nicht nur positive Effekte innerhalb eines derartigen Paradigmawechsel zwischen Erzeugung, Durchleitung und Verteilung zu verzeichnen waren, respektive 2004 vielerorts noch sind.

1.2 Erscheinungsbild der Schnittstelle

Das Erscheinungsbild liberaler Strukturen wirkt auf alle Schnittstellen im Elektroenergiesystem (EES) gleichermaßen bindend. Das Resultat der Aktivität einzelner Netznutzer spiegelt sich dezidiert an der in der Dissertation zu beschreibenden Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer wieder. Das dort sichtbare Erscheinungsbild EE ist nicht mehr das Ergebnis des einstigen Vollversorgers als Gebietsmonopolist, sondern der Interessensblock einer Vielzahl unterschiedlichster Interessenslagen. Ein Paradigmawechsel nicht nur in der Nutzung EE als Zuordnung der Zuständigkeiten zum Produkt entstand, sondern auch in der Betrachtung als Ware mit Quantität und Qualität. In der Hinwendung zu einem allseits offenen Markt benutzte der Elektroenergieerzeuger und -durchleiter die Schnittstelle vor allem um altgediegene Qualitätsansprüche gegenüber den NEUEN Kunden neu zu Ordnen. Dieses geschah gezielt different ausgerichtet gegenüber

- dem öffentlichen Netz als PCC (point of common coupling),
- dem nichtöffentlichen Netz (Privat-, Gewerbe- und Industrienetz), bezeichnet als IPC (in-plant point of coupling).

Fazit: EE ist ein Warenprodukt mit Qualitätsfaktoren unterschiedlichster Art und Inhalt. Dieses gilt es als „elektrische Arbeit“ am PCC oder IPC zur Nutzung, d.h. der Wandlung am Objekt (Elektroenergieabnehmer) dem Nutzer zu überantworten. Im EES transportiert, detektiert sich die Qualität des Produkts EE über verschiedenste Indikatoren. Primärer Indikator ist die Spannung; messtechnisch erfassbar als Spannungsqualität am betrachtenden Knotenpunkt der Elektroenergiewandlung (Schnittpunkt: PCC, IPC); technisch-physikalisch gesehen als Kompatibilitätspunkt zwischen dem Elektroenergieversorgungsnetz und dem Elektroenergieabnehmer. Das Qualitätsmerkmal der Versorgungsspannung der zu betrachtenden Schnittstelle beschreibt die Kenngröße der Elektroenergiequalität (EEQ) nach Tabelle 1-1.

Qualitätsmerkmale der Versorgungsspannung	Kenngröße der EEQ
Spannungstransiente	➤ Spitzenwert Spannungsmomentanwert
Spannungsverzerrung (bis 2,0 kHz)	Bezogener Effektivwert der ➤ Harmonischen (u_v) ➤ Zwischenharmonischen (u_{μ}) ➤ THD u. a.
Spannungsverzerrung (2,0-9,0 kHz)	➤ Harmonische (u_v)
Spannungshöhe - Langsame Spannungsänderungen - Schnelle Spannungsänderungen - Spannungsunterbrechungen	➤ Spannungseffektivwertverlauf über unterschiedliche Zeitfenster
Spannungseinbrüche	➤ Anzahl ➤ Dauer ➤ Tiefe
Flicker (Kenngröße des Spannungsänderungsverlaufes)	➤ P_{st} (short-term-value) ➤ P_{lt} (long-term-value)
Spannungsunsymmetrie	➤ Unsymmetriegrad U_2/U_1 ➤ Unsymmetriegrad U_0/U_1
Frequenz	➤ Frequenz (f)

Tabelle 1-1: Qualitätsmerkmale der Versorgungsspannung

Vor der Marktöffnung bildete der regionale Vollversorger das in Tabelle 1-1 dargelegte Kennfeld der Elektroenergiequalität (EEQ) als Kompetenzinhalt komplett zum Kunden ab. Mit der Marktöffnung, d.h. der Liberalisierung des Elektroenergiemarktes zerfiel die globale Zuständigkeit in die vom europäischen Energiewirtschaftsgesetz vorgegebenen Einheiten der Erzeugung, Durchleitung und Dienstleistung. Versorgungszuverlässigkeit, ein Faktor der Erzeugung und Durchleitung oblag weiter den einstigen Hauptakteuren des Marktes. Die Spannungsqualität, primär geprägt vom Netzkunden am Netzanschlusspunkt zum Durchleiter, verlagerte man in den Part der Energieservices als ElektroenergieDienstleistung. Zusammengeführt wurde die Leistungsinhalte der Versorgungszuverlässigkeit und der Spannungsqualität im Part der Versorgungsqualität. Gewahrt wird die Versorgungsqualität zum Kunden über garantierte Mindeststandards. Hier gilt momentan die Devise:

Der Betreiber von Netzen ist verpflichtet gewisse Grenzwerte der Qualitätsmerkmale der Versorgungsspannung in seinem Verantwortungsbereich als Mindestmaß zu garantieren. Für den Bereich der öffentlichen Elektroenergieversorgung stellt das Mindestmaß der „Verträglichkeitspegel“ nach DIN EN 61000-2-2 /20/, respektive DIN EN 50160 /15/ (Merkmale der Versorgungsspannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen) dar. Für den Bereich der Netze im nichtöffentlichen Elektroenergieversorgungsbereich reguliert die DIN EN 61000-2-4 /21/ in Stufen das Mindestmaß an Qualität. Gerade die DIN EN 61000-2-2, bzw. -2-4 verinnerlicht am Netzknotenpunkt für alle Netzpartner gleichermaßen den Verbindlichkeitsparameter der „elektromagnetischen Verträglichkeit“ (EMV) und gilt als Aufforderung zur Selbstregulierung bei Anforderung aus dem Prozess (Elektroenergieabnehmer) und Gegebenheit aus dem Netz (Elektroenergieversorgungsnetz).

1.3. Blick über nationale Grenzen

Der Blick über nationale Grenzen kennzeichnet den Wandel der Elektroenergiewirtschaft in einem sich bereits seit 1985 frei entwickelnden liberalisierten Markt (Beispiel: Markt für EE in Skandinavien). Aus den dort gewonnenen Erkenntnissen zeigt sich klar und deutlich, dass der Aktionsradius vieler Unternehmen den bislang nach Versorgungshoheiten geprägten Versorgungsrahmen kurzfristig und umfassend sprengen wird. Im Zeichen liberaler Partnerschaft sind nationale Versorgungshoheiten „OUT“, dagegen sind frei zuordenbare Versorgungsstrukturen „IN“. Art und Weise der Umsetzung der Liberalisierung ermöglichte es jetzt auch weltweit agierenden

Akteuren, wie unabhängige Erzeuger (IPP), Stromhändler aber auch reinen Strombrokern den Zugang zum Kunden zu finden. Freiheit für den Kunden, Freiheit in der individuellen Wahl eines Versorgers bildete für viele Kunden als Nutzer des Produkts EE eine ungewohnte, aber auch verlockende Möglichkeit eigenständig und umfassend an der Preis-Leistungs-Schraube zu drehen. Der im starken Maße durch wirtschaftliche Faktoren hervorgerufene Trend zu mehr Veränderung führte am Ende dazu, dass sich die Lieferanten von EE an den Kunden und Märkte zu orientieren hatten, und nicht die Kunden an dem lokalen und/oder regional angebotenen Produkt. Aus diesem Grund darf es keinen verwundern, dass die Sicherstellung des Produkts EE in liberalisierten Märkten nicht nur von staatlichen Aufsichtsbehörden zunehmend thematisiert wurde, sondern auch von der versorgten und versorgenden Industrie selbst. Während erste Vorgaben für Standards der Versorgungszuverlässigkeit in den USA und Neuseeland nach den Folgen umfangreicher Versorgungsunterbrechungen entstanden, hatten entsprechende Verbindlichkeiten als präventive Vorgaben seitens der Nutzer auch Aktivitäten auf nationaler Ebene zur Folge. Beispielsweise beschäftigte sich die CIRED in der 2. Sitzung 2003 gezielt mit dem Thema der Versorgungssicherheit unter Aspekten der elektromagnetischen Verträglichkeit /10/ beim Endnutzer.

Nutzt man die Möglichkeiten des neuen Marktes im Bereich des Produkts EE, so kommt es entscheidend darauf an, die entstehenden Risiken und Chancen der/aller Partner im Elektroenergiegeschäft einander gegenüberzustellen. Das magische Ziel-dreieck der anzustrebenden Politik an der Produktmarge EE bestimmt die Systemausrichtung gegenüber den zahllosen Schnittstellen zwischen dem Elektroenergieversorgungsnetz und dem Elektroenergieabnehmer im öffentlichen, wie im nichtöffentlichen EES, zusammengesetzt aus Elementen

- der Zuverlässigkeit und der Qualität der Versorgung,
- der Wirtschaftlichkeit und
- der Umweltverträglichkeit.

Der dazu notwendige Inhalt beschreibt im EES als Beispiel die Basisfunktionalität der Elektroenergiequalität nach Tabelle 1-2. Aus Sicht des Versorgers, wie des Versorgten können die Basisfunktionalitäten nach Tabelle 1-2 um weitere Punkte ergänzt, gestrafft oder durch Detailinformationen erweitert werden. Zur Nutzung am Objekt gilt stets: bilaterale Spielräume zwischen dem Versorger (Lieferanten, Durchleiter) und

dem Versorgten (Kunde) sind durch klare Sprachregelungen vorzugeben. Gerade der Aspekt der zeitgleich zum Verbrauch erzeugten EE bedingt den gegenseitigen Spielraum nicht nur zu quantifizieren (Leistung pro Zeiteinheit mit Qualitätsmerkmal A, Tabelle 1-2 Basisfunktionalität), sondern gezielt zu qualifizieren (Tabelle 1-2, erweiterte, respektive angepasste Funktionalität).

Systemausrichtung vom „Versorger“

Systemausrichtung im EES		
Versorgungspunkt	Basisfunktionalität Tabelle 1-1, Wert A EN 50160	Erw. oder gestaffelte Funktionalität - Tabelle1-1, Wert B - Tabelle1-x, Wert X
PCC	X	
IPC 1	X	
.....		X
IPC n		X

Tabelle 1-2: Ausrichtung an die Anforderung Systemausrichtung vom „Versorgten“

Die Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer fordert da einen gewissen neuen/zusätzlichen Handlungsrahmen. Zur Schaffung dieses Handlungsrahmens gilt es die Schnittstelle in ihrer komplexen Art und Weise transparenter zu betrachten, d.h. gegenüber der technisch-technologischen Trennstelle entsprechende Zugeständnisse differenter Bedürfnisse gleichwertiger Partner zuzulassen. Diesem sich zu stellen und nicht zu verdrängen ist nicht Aufgabe der Politik im Zeichen liberaler Marktwirtschaft; dieses ist die Aufgabe als Anforderung an die Wirtschaft den Kontext der Verbindlichkeit an der Schnittstelle der Übertragung zur Nutzung zu schaffen. Die Anforderung ist hoch, dem sich zu stellen für die Industrie notwendig.

1.4 Erwartungshaltung an das EES

Erwartet wird, dass faire Wettbewerbsbedingungen insbesondere bei der Tarifierung grenzüberschreitender Elektroenergietransporte zwischen unterschiedlichst wirkenden Elektroenergieversorgungspartnern, wie Vollversorgern, Teilversorgern, reinen Durchleitern, Strombrokern, Stromhändlern entstehen. Als ein in sich abgeschlosse-

nes Gebilde elektrischer Energiepolitik bildet der Binnenmarkt der Europäischen Gemeinschaft (EG) auch im Jahre 2004 noch immer kein homogenes Abbild. Ob nationale Kompetenzschwäche, oder nationalistisches Denken staatlicher Organe im Bereich der Durchsetzung liberaler Bestrebungen daran schuld ist, ist nicht Fakt. Fakt ist, dass am Beispiel Frankreichs gesehen der Im- und Export von EE, d.h. der bilaterale Transfer auch 6 Jahre nach der Liberalisierung der EE in der EU noch den Eindruck einer monopolistisch anmutenden Denkweise eines Energiekonzerns im Staatsbesitz widerspiegelt. Electricité de France (EDF), als Voll- und Flächenversorger staatlichem Ausmaßes denkt zwar nach Außen als EES liberal, handelt jedoch nach Innen, d.h. beim Energietransfer zum Kunden durch weitere EU-Partnern, wie der alt eingesessene nationalistisch geprägter Monopolist.

Energetische Strukturen, herunter gebrochen auf standardisierte Funktionen (Erzeugung und Verteilung von EE) und erweiterte Funktionalitäten (Dienstleistungen im Umfeld der EE), gilt es verstärkt an den Bedürfnissen der Versorgten und nicht mehr nur an der Systemausrichtung der Versorgung zu spiegeln. Hier wird, besser muss sich auf Grundlage freier Marktressourcen ein elektrotechnisch kompatibler Nutzungsweg in der elektromagnetisch konformen Wahl des regionalen, nationalen, unter Umständen auch internationalen Versorgers auf ganz Europa erstrecken dürfen. Zu diesem Zweck gilt es die Möglichkeit der vorhandenen Infrastruktur im Bereich nationaler (z.B. 380 kV-Netz), regionaler (z.B. 110 kV-Netz) und örtlicher (z.B. 10 oder 20 kV-Netze) Versorgungsnetze im Sinne der qualitätsorientierten Kunden-Lieferantenbeziehung als Transportschiene zu bündeln. Das Ziel muss sein die verbrauchs- bzw. kundennahen Erzeugung von EE qualitativ zu stärken und nicht zu schwächen. Zu stärken auch im Sinne einer Verantwortung für dessen Qualitätsprodukt. Insbesondere gilt es im Elektroenergiegeschäft das Qualitätskonstrukt der differierten Merkmale einer Merkmalbeschreibung detailliert den dort notwendigen Anforderungen anzupassen. Zu diesem Zweck ist die Wechselbeziehung zwischen Erzeugung und Verbrauch eines Wareprodukts mit Qualitätsmerkmalen von a bis x unter Preis-Leistungs-Aspekten einer Preisstufe I bis n als neue Chance der unter Abschnitt 1.2 benannten dritten Säule des Elektroenergiegeschäftes (Energieservices als ElektroenergieDienstleistung) zu sehen.

2 Elektroenergiequalität

2.1 Elektrische Energie (EE)

EE, ein Oberbegriff der energieerzeugenden Wirtschaft elektrischer Art, ist die Summenbezeichnung für alle physikalischen Erscheinungen, bei der die frei werdende EE auf dem Prinzip der Trennung von Ladungsträgern (Elektron als negative Ladung, Proton als positive Ladung) besteht, und als Ladungsansammlungen (Q , Gl. 2-1, des Elektrons $-e$, der Anzahl n) rückführbar ist. EE macht sich stets als Kraftwirkung bemerkbar, d.h. als das

Bestreben der Wiederausführung der bei der Erzeugung einst getrennten Elementarladungen.

Verbindet man zwei Ladungspunkte, Q_a und Q_b , Bild 2.1, über eine physikalisch leitfähige Verbindung, bewirkt die Differenzladung der Ladungspunkte (ΔQ , Gl. 2-2) das fließen einer Ausgleichsladung als Ladungsstrom nach Gl. 2-3. Der als elektrischer Energiestrom bezeichnete Ladungsausgleich nicht ortsgebundener Elemente – in unserem Fall die des Elektrons – wird so lange aufrechterhalten, bis keine Differenz als treibende Kraft mehr existent ist. Bild 2.1 zeigt beide Ausgleichseffekte; den elektro-physikalischen Ausgleichsstrom mit der Elektronengeschwindigkeit v_e von Q_b nach Q_a ; den elektrotechnischen Ausgleichsstrom i von Q_a nach Q_b im Zeitbereich, und das stationäre Abbild I . Der stationäre Vorgang des Ausgleichsstroms I trifft nur so lange zu, wie die Elektronen im gesamten Querschnitt A die gleiche Geschwindigkeit v_e aufweisen und im Mittel gleich lange Elektronenbahnen über die Leiterlänge l nutzen können.

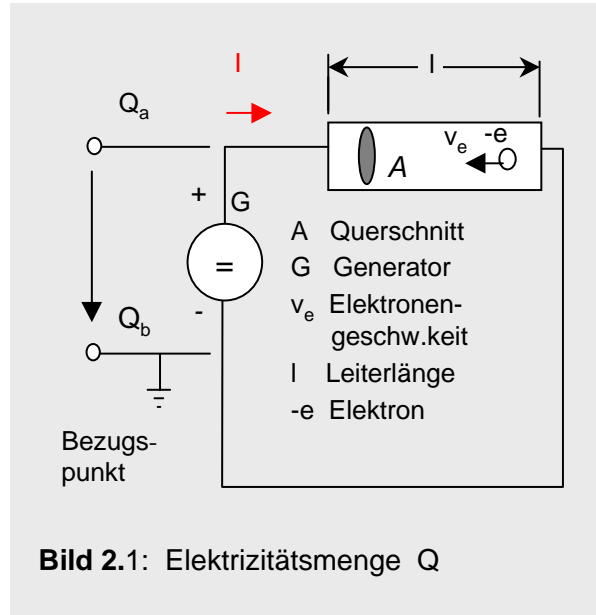


Bild 2.1: Elektrizitätsmenge Q

$$Q = -n e A l \quad (2-1)$$

$$\Delta Q = Q_a - Q_b \quad (2-2)$$

$$I = Q/t \quad (2-3)$$

Bei sich zeitlich verändernden Bedingungen, z.B. bei der Trennung der Ladungsträger durch entsprechende elektromechanische Rahmenbedingungen, z.B. rotierende Leiterschleife im magnetischen Feld, ist zur Darstellung der sich zeitlich verändernden elektrischen Stromstärke $i(t)$ – vereinfacht elektrischer Strom i genannt – der Differentialquotient nach Gl. 2-4 zu verwenden. Die im Mittel nutzbare Stromstärke $\underline{i} = \underline{I}$ bildet sich aus dem Integral des Stromsignals $i(t)$ über die Betrachtungszeit zwischen t_1 und t_2 nach Gl. 2-5.

$$i(t) = i = dQ_t / dt \quad (2-4)$$

$$|\underline{i}| = \underline{I} = \frac{1}{T} \int_{t_1=0}^{t_2=T} i(t) dt \quad (2-5)$$

2.2 Strom, Signalverlauf der Ladung

Stromsignale, respektive Signalverläufe allgemeiner Art – z.B. Spannungssignale – sind zu unterscheiden in Signalstrukturen mit determinierbarer und nichtdeterminierbarer Signalkomponente. Die einzelnen Signalkomponenten können zeitlich gekoppelt – t_1 bis t_2 : determinierbar / t_2 bis t_3 : nichtdeterminierbar – zueinander auftreten.

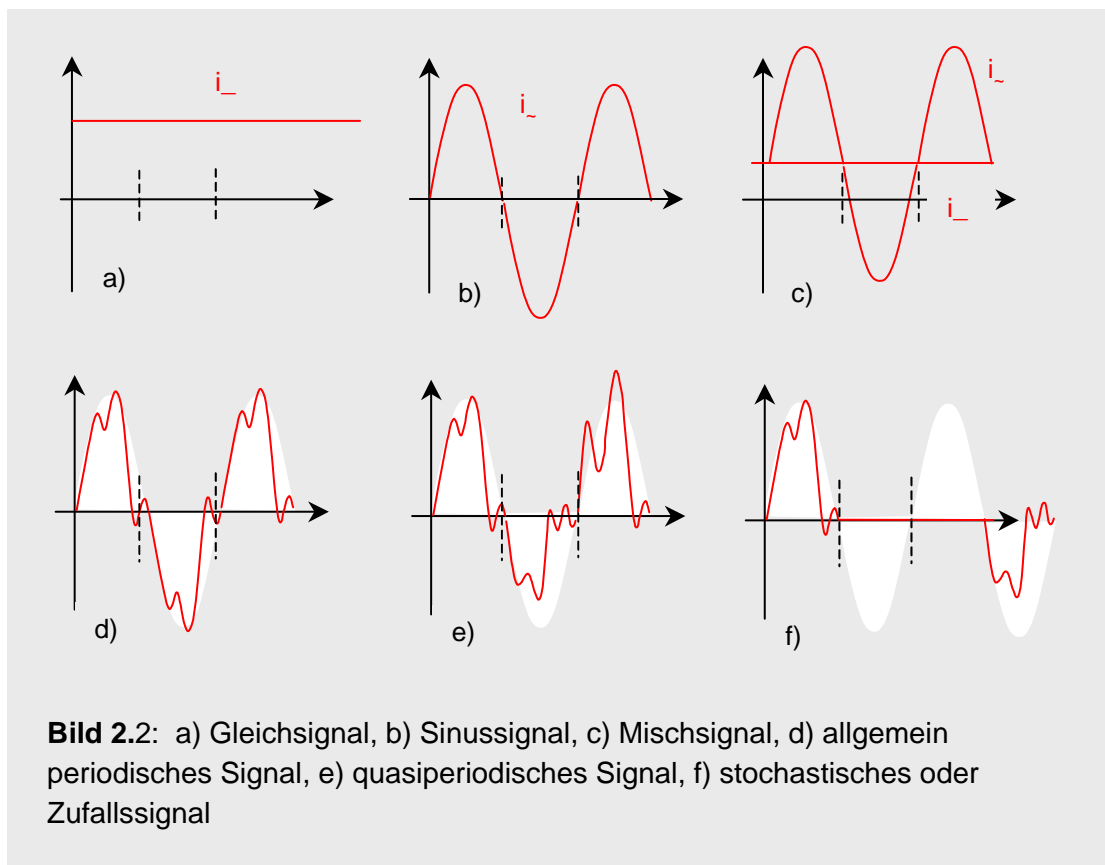
- Determinierbare Signale sind Signalarten, deren Werteverlauf für jeden beliebigen Zeitpunkt mathematisch exakt berechnet, bzw. beschrieben werden können. Als Signalform zählen determinierbare Signalverläufe, zu denen allgemeinperiodische, wie auch harmonische Schwingungen gehören.
- Nichtdeterminierbarer Signale sind Signalarten, deren Werteverlauf aus stochastischen oder Zufallssignalen gebildet werden. Eine exakte Vorhersage über die Signaleigenschaften, oder die Signalparameter zu einem bestimmten Zeitpunkt ist nicht möglich.

Typisiert zusammengefasst sind determinierbare und nichtdeterminierbare Signalverläufe in Bild 2.2. Das dort graphisch dargestellte Kennfeld der zeitlichen Kenngrößen zeigt verschiedenste Arten der Belastung durch Lastströme. Man unterscheidet:

- Das Konstantstromsignal, Bild 2.2, Diagramm a. Das Konstantstromsignal steht für das Signalelement ($i = \text{const.} = \underline{i}$) und ist am einfachsten zu determinieren.
- Das Wechselstromsignal, Bild 2.2, Diagramm b. Als Signalart in Form und Verlauf bezeichnet das Wechselstromsignal diejenige Signalform, die in der Regel

bei Brückung der Anschlussklemme am Generator (Quelle der EE) durch lineare Verbrauchslasten zum Fließen kommt.

- Überlagerte Quellen ungleicher Elementarstruktur (Gleich- und Wechselstromquellen). Sie verursachen Signalgebilde nach Bild 2.2, Diagramm c.
- Konstellationen im Netz, bei dem das von der Quelle gelieferte Stromsignal durch Nutzung beim Kunden mit rückwirkender Quelle – ein vom Verbraucher zum Netz zurückfließender Signalstrom – überlagert wird. Die Vermischung der Signalkomponente produziert ein Signalgebilde nach Bild 2.2, Diagramm d bis f. Unterteilt in allgemein periodisches Signal (Bild 2.2, Diagramm d) und quasiperiodisches Signal (Bild 2.2, Diagramm e) ist der mathematische Zusammenhang gegenüber der Variante Bild 2.2, Diagramm f, zwar aufwendig, doch in der Regel exakt darstellbar, d.h. determinierbar. Durch die teils stochastische Prägung von Diagramm f, Bild 2.2, ist die Wahrscheinlichkeit des stationären Betriebsverhaltens minimal. Damit fällt es unter die Rubrik eines nicht stationären Betriebsverhaltens, bezeichnet als Zufallssignal oder stochastisches Signal. Ohne entsprechende Vereinfachung zählt es stets zu der Kategorie eines nichtdeterminierbaren Signals.



2.3 Störsignale

Die ausreichend zuverlässige und hochwertige Versorgung mit dem Produkt EE ist Voraussetzung und Motor jeder modernen Gesellschaft. Heutige Produktionsprozesse, wie auch Produktionsprozesse der Zukunft, respektive deren steigender Grad der Automatisierung erfordern mehr denn je die Fähigkeit von Elektroenergieabnehmern im elektromagnetischen Umfeld zufrieden stellend zu arbeiten ohne selbst elektromagnetische Störungen zu verursachen, die andere im technologischen Umfeld arbeitenden Elektroenergieabnehmer stören. Elektromagnetische Störgrößen entstehen teils aus mehr oder weniger natürlichen Vorgängen, teils über das EES gekoppelt aber auch direkt, doch stets in Verbindung mit technisch gewollten Nutzgrößen, darstellbar im Ergebnis am Produkt oder am Prozess. Das elektromagnetische Störsignal folgt stets der Gesetzmäßigkeit der Maxwellschen Gleichung, verändert Form und Intensität, gelangt über unterschiedliche Kopplungswege als Spannungs- und/oder Stromsignal zu den elektronischen Bauteilen, die mit Nutzsignalen konkurrieren und bei entsprechender Größenabweichung zur Funktionsstörung führen.

Der Begriff des Störsignals ist eingebunden in die Begriffswelt der Störphänomene. Unter Störphänomen versteht man das Erscheinungsbild einer elektromagnetischen Störgröße. Störgrößen als Störsignale sind nicht zu verwechseln mit den Prüfstörgrößen, mit der oder mit denen ein Elektroenergieverbraucher zum Abgleich der Störfestigkeit nach DIN EN 61000-4-1 bis DIN EN 61000-4-29 /24/ beaufschlagt wird.

2.3.1 Störphänomen allgemein

Das elektromagnetische Störphänomen als Störgröße lässt sich grundsätzlich in zwei Kategorien unterteilen:

- ❖ Kategorie I: Periodische Störgröße mit determinierbarem Signalverlauf, äquivalent Bild 2.2, Abschnitt 2.2, Signalverlauf Diagramm d und e.
- ❖ Kategorie II: Impulsförmige Störgröße, äquivalent dem stochastischen Signal oder Zufallssignal Bild 2.2, Abschnitt 2.2, Signalverlauf f, strukturiert in
 - natürlich erzeugtes Störsignal, gesehen als elektrostatische Entladung durch Trennung von Ladungsträgern, verursacht durch Reibung (tribo electricity) zwischen zwei unterschiedlichen Materialien oder durch Trennung zweier verschiedener Materialien die vorher innig miteinander verbunden waren. Hierzu

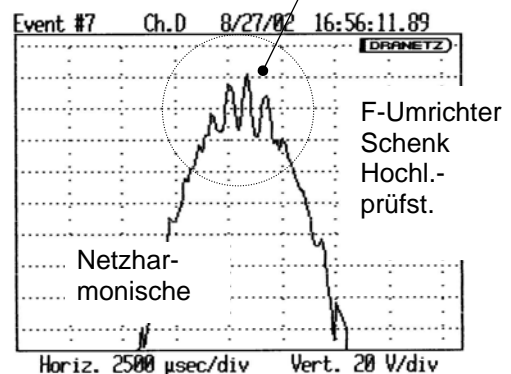
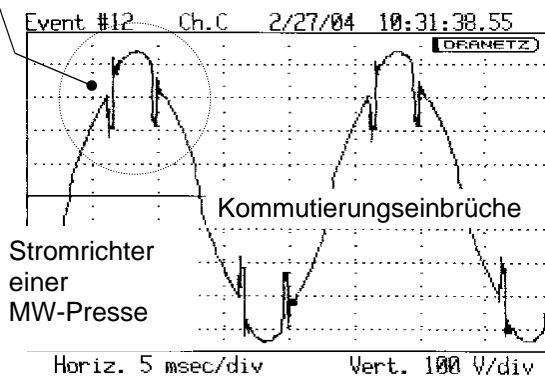
zählt die natürliche Blitzenladung genauso, wie die durch den Arbeitsprozess (bewegen, sprühen, zerreißen, schneiden, rollen, etc.) hervorgerufene technisch-technologische Komponente. Abhängig der Ladespannung wirkt der als ESD (electrostatic discharge) bezeichnete Mechanismus auf das Fertigungs- und Applikationsumfeld der innerbetrieblichen Produktionsstätte bis zur

- Zerstörung elektronischer Bauelemente und Baugruppen durch unsachgemäßes Handling außerhalb der Betriebsumgebung (Beispiel: Zerstörung elektronischer Komponenten bereits durch das Entnehmen aus der Verpackung durch ESD-geladener Personen im Montageumfeld, zu sehen als Einbau und Handling im physikalischen Umfeld).
 - Zerstörung oder Beeinflussung von elektronischen Komponenten in Elektroenergieabnehmern innerhalb der Betriebsumgebung
 - durch Ableitung der energetischen Netzbelastung;
 - durch Spannungseinkopplung über elektrische Felder (E-Feld);
 - durch Stromeinkopplung über magnetische Felder (H-Feld).
- technisch erzeugte Störsignale resultieren aus Schaltvorgängen mit Halbleitern, bewegten Kontakten und/oder Entladungsvorgängen technischer Bauteile, wie Drosseln oder Kondensatoren. Bekannt als elektrodynamischer Ausgleichsvorgang wirkt hier der rasche Übergang vom elektrisch leitenden zum elektrisch isolierenden Zustand als spannungsbildende Störkomponente. Das als oszillierender Ausgleichsvorgang, z.B. an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer sich bildende transiente Störphänomen besitzt in der Regel sehr hohe Repitionsfrequenzen. Der Scheitelwert entstehender Transiente, so genannter Transientenpakete – auch Burst genannt – liegt zwischen einigen 100 Volt und mehreren 1000 V. Die Dauer übersteigt einige ms nicht. Jede Transiente besitzt eine Impulsflanke im Nanosekundenbereich und erzeugt extreme Spannungsänderungsgrößen (du/dt). Die Begrenzung der Amplitude und der Anstiegszeit ist eine Funktion der Isolierstrecke und der Öffnungszeit zwischen dem elektrisch leitenden und dem elektrisch nicht leitenden Zustand.

Gerade die rasch wachsende Komplexität elektronischer Systeme, der stete Anspruch an die Verfügbarkeit und die Qualität der Elektroenergieabnehmer zeigt gegenüber der allgemeinen Auswirkungen elektroenergetischer Störphänomene nach Tabelle 2-1 in der fertigenden Industrie zunehmende Sensibilität.

	Quelle	Phänomen
Allgemein	Mensch, rotierende Teile u.ä.	Entladung statischer Elektrizität
	Trägerwelle Kommunikation, Sprechfunkgeräte	Sinusförmige Hochfrequenz
	Elektronik, klassische und getaktete Netzteile, Regler, Monitore, Prozesssteuerungen und Rechnersysteme	Spannungsverzerrung, in der Regel netz- und zwischenharmonische (>50 Hz bis <=2 kHz), Funkstörung
	Energieelektronik, Leistungselektronik in Antriebssteuerungen von Antriebsmotoren im zwei- oder Vierquadrantensystem	Transiente Spannungsänderungen, schnelle Spannungsänderungen, Spannungseinbrüche, Harmonische bis 9 kHz, Funkstörung
	Allgemein geschaltete, gesteuerte Lasten ohmscher (z.B. Wärmequellen mit Pulshalbwellensteuerung), induktiver (z.B. Schütze, Relais) und kapazitiver (z.B. Kondensatoren in Kompensationsanlagen) Art	Spannungseinbruch, Spannungsänderung (Flicker), transiente Spannungsänderungen, Spannungsharmonische vom sub- bis zum höherharmonischen Bereich (0 Hz bis 9 kHz), Funkstörungen
	Allgemeine Schaltanlagen der Elektroenergieversorgung im Mittel- und Niederspannungsbereich	Transiente Schaltvorgänge, Sekundärvorgänge aus atmosphärischen Störungen
Spezifisch	Lichtbogen-Schmelzanlage	Spannungsschwankung (Flicker)
	Induktions-Schmelzanlage	Harmonische, Unsymmetrie
	Prozess-Schweißmaschine und Schweißanlage	Spannungseinbruch, Spannungsänderung (Flicker), Harmonische
	Großteilepresse mit Stromrichterantrieb	Kommutierungseinbruch, Spannungseinbruch (Voltage Dip)
	Motorenprüfstand mit Frequenzumrichter	Kommutierungseinbruch, Spannungsänd. (Flicker), Harmonische

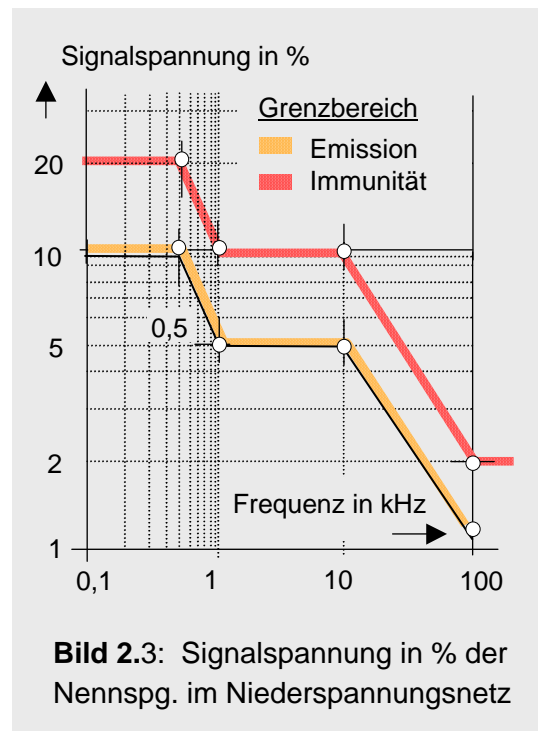
Tabelle 2-1: Technische Störquellen und ihre Phänomene



2.3.2 Störphänomenen spezifisch

2.3.2.1 Signalspannung

Es ist davon auszugehen, dass je nach Infrastruktur des Elektroenergieversorgers zur Übertragung von Informationen sinusförmige Signalspannungen verwendet werden, die auf die Versorgungsspannung des Elektroenergieversorgungsnetzes aufmoduliert sind. Auch innerhalb der Elektroenergieversorgungsanlage des Elektroenergiekunden darf ein derartiges Informationssignal generiert werden. Aufgrund der Möglichkeit wechselseitiger Beeinflussung von benachbarten Signalanlagen – die des Elektroenergiekunden



und die des Elektroenergieversorgers – ist es für den Elektroenergieabnehmer und Elektroenergieversorger zweckmäßig entsprechende Schutzeinrichtungen, d.h. eine ausreichende Störfestigkeit seiner dort betriebenen Elektroenergieabnehmer vorzusehen. Beim vom Autor betrachteten Industrieunternehmen greift beispielsweise die Signalspannungskurve für die Übertragung von Signalgrößen auf der Versorgungsspannung der DIN EN 50160 /15/ als Grenzwertkennlinie pro Periode (Bild 2.3). Hinterlegt wird die Grenzwertkennlinie als einzuhaltender Emissions- und Immunitätswert der/des Lieferanten bei Lieferung von Elektroenergieabnehmern für das EES.

2.3.2.2 Transiente Spannungsänderung

Hervorgerufen im Mittel- und Niederspannungsnetz z.B. durch elektronische Steuerungen (Bild 2.4, Leistungsteil Pressenantrieb, Leiterspannung 303 Volt, Diagramm a: Spannungstransient, Diagramm b: Repetierender Spannungstransiente), Schalthandlungen (Bild 2.4, Steuerschrank Pressenantrieb, Leiterspannung 303 Volt, Diagramm c: Einschalttransient, Diagramm d: Ausschalttransient), aufeinander folgende Transiente Burst (Bild 2.4, Steuerschrank Motorenprüfstand, Leiterspannung 230 Volt, Diagramm e: Burst U_{L1-MP} , eingekoppelt auf Schutzleiter U_{MP-SL}) und oder durch direk-

te oder indirekte Blitzeinwirkung, wirkt die transiente Spannungsänderung im Überspannungsbereich als Zusatzbelastung der Isolierstrecke der Betriebsmittel. Erfolgt in Folge der Überspannung ein Überschlag, z.B. im Leistungsteil eines Elektroenergieabnehmers, belastet der, unter gewissen Umständen sich bildende betriebsfrequente Folgestrom, ein bis zum Stromabriss (z.B. bei Nulldurchgang der Differenzspannung) sich abzeichnendes thermisches Überlastisiko der Isolierstrecke (Thema Kriechstreckenbildung, thermische Alterung der Isolierstrecke, Herabsetzung der Isolierfähigkeit, Ausfall durch Bauteilerstörung).

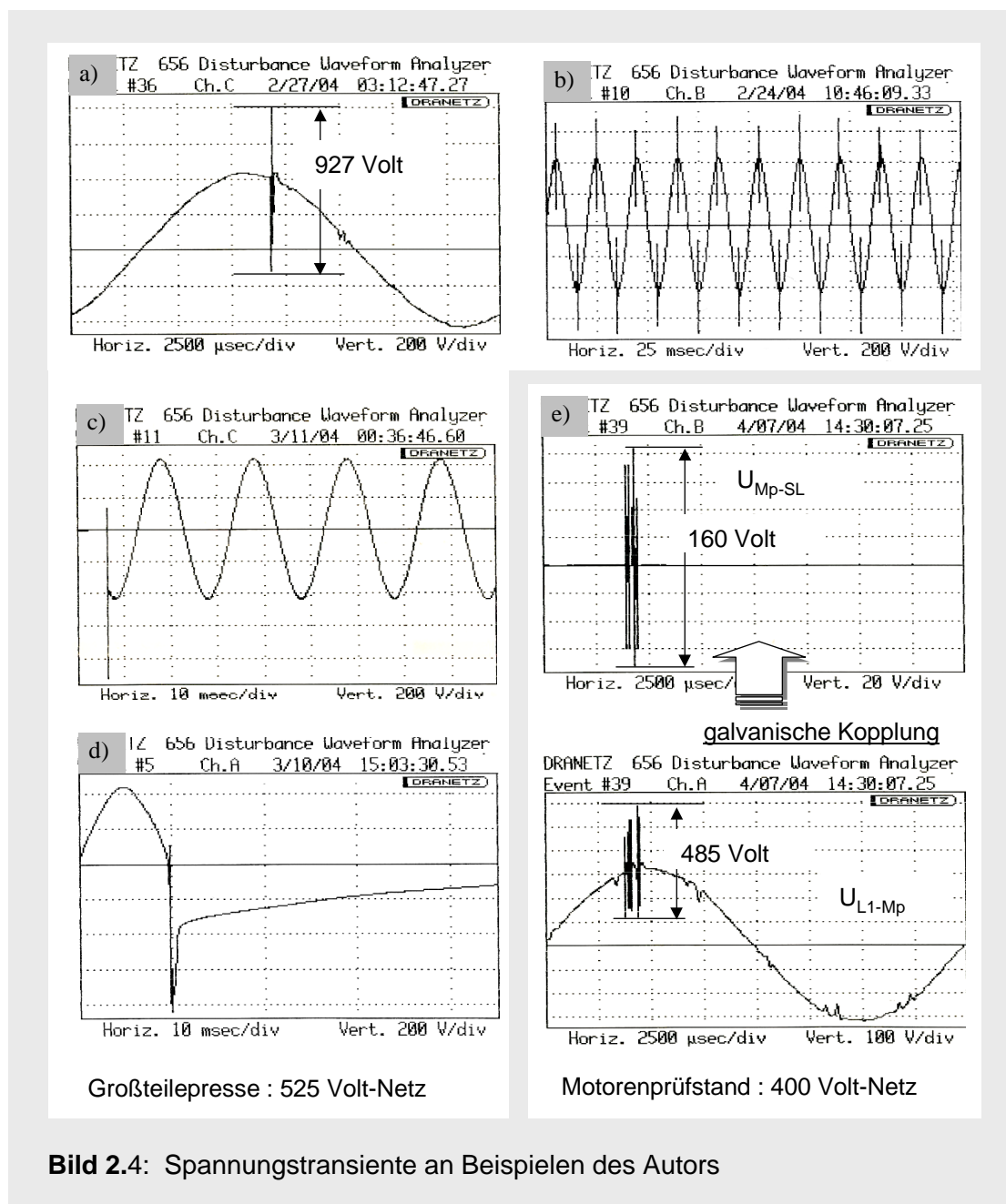


Bild 2.4: Spannungstransiente an Beispielen des Autors

Spuren hinterlassen transiente Spannungsänderungen vor allem an getakteten Netzteilen von Sichtstationen, Regeleinrichtungen, Prozessteuerungen. Gezielte Untersuchungen im Industrienetz durch den Autor zeigten, dass eine Korrelation zwischen der Häufung in der Transientenbildung und der Ausfallhäufung moderner Netzteile vorhanden ist. Auffällig ist vor allem der gehäufte Ausfall von getakteten Netzteilen in den Bereichen die gelegentlich mit der Transientenbelastung nach Bild 2.4, Diagramm b, konfrontiert werden. Beispielsweise hervorgerufen durch die digitalen Stellantriebe der Hauptantriebsmotore von Großteilepressen tritt hier der Ausfall der Netzteile vor allem nach einer, dem Zuschalten vorausgegangenen Abschaltung der Steuereinheit, z.B. der Hauptantriebe beim Formenwechsel auf. Vor allem Netzteile, deren Hersteller zur Absicherung gegenüber transiente Spannungsänderungen im Primärkreis des Netzteilens einen Varistor einsetzen (z.B. Fa. Siemens), sind durch die dort anstehenden Spannungstransiente besonders gefährdet. Durch den betriebsfrequenten Folgestrom zwischen dem Ansprechen und dem Löschen des Varistors kann nach Aussage der Fa. Siemens der dort eingesetzte Varistor nur eine begrenzte Anzahl aufeinander folgender Spannungstransiente ableiten. Erhöhte Transientenbildung im Speisetz des Netzteilens führt zur beschleunigten Alterung des Varistors, d.h. in der ganzheitlichen Wirkungskette zum Totalausfall des gesamten Netzteilens.

Betrachtet man die Spannungstransiente nach Bild 2.4, Diagramm a bis d, so zeigt gerade der Ausschalttransient im Diagramm d einen, gegenüber den Spannungstransienten der Diagramme a bis c weit ausgeprägteren Energieinhalt. Durch den fehlenden Nulldurchgang wirkt hier der netzfrequente Folgestrom beim Überschlag oder beim Ansprechen des Varistors besonders intensiv. Das Ausfallbild – Defekt nach Abschaltung – wird durch den Ausschalttransienten über die bereits existente Vorschädigung mitgeprägt. Eine Schadenszuweisung ist problematisch. Durch die Kette der Verknüpfung mehrerer Lieferanten – Lieferant a: Schaltschrank der Presse (am Beispiel Fa. Müller Weingarten), Lieferant b: Antriebssteuerung der Presse (Fa. Siemens), Lieferant c: Steuerung, Regelung Sichtstation – sind gegenüber den dort einzusetzenden Bauteilen klarere Deklarationen aller Beteiligten notwendig.

Bei dem vom Autor betrachteten Industrieunternehmen greift momentan ein Pilotprogramm zur Grenzgrößendeklaration transientscher Spannungsänderung im Bereich der Emission und Immunität von Elektroenergieabnehmern. Hier bildet der Überspannungsfaktor eine gemeinsame Basis für die am Elektroenergieversorgungsnetz zulässige Grenzgröße transientscher Spannungsänderung nach Bild 2.5.

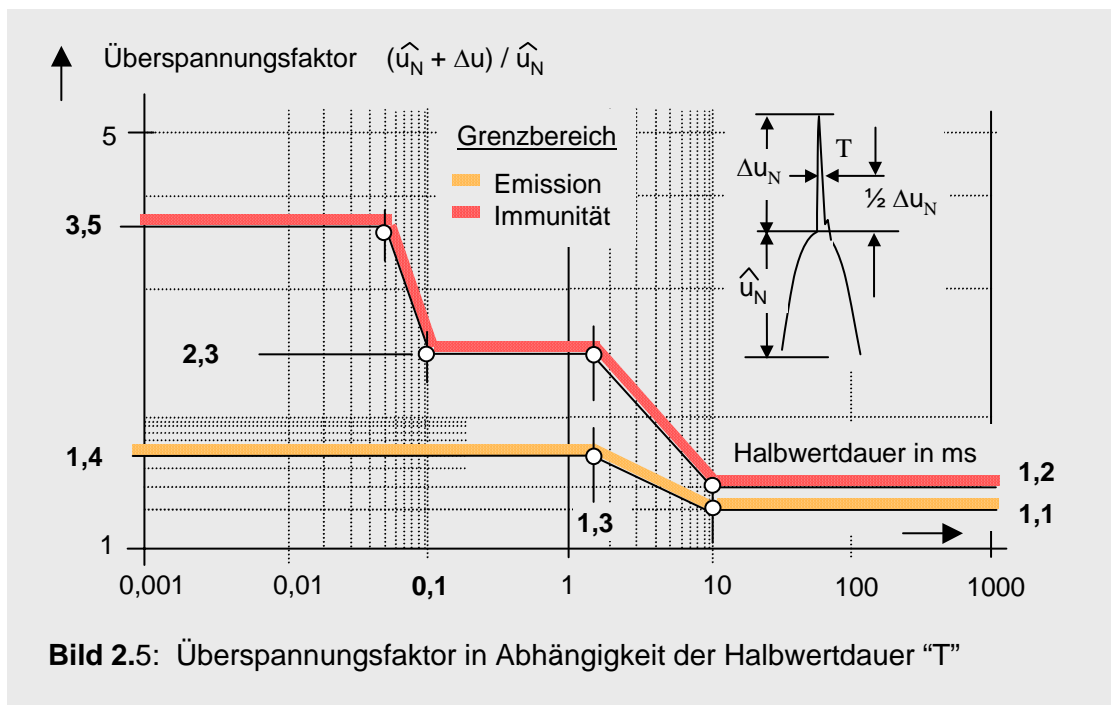


Bild 2.5: Überspannungsfaktor in Abhängigkeit der Halbwertdauer "T"

Zu beachten ist: auch die Schaltung von Kondensatorbänke stellt eine allgemeine Ursache transientser Überspannung dar. Je nach Aufbau (verdrosselt / unverdrosselt) ist ihr Wert am Eintrittspunkt kleiner als das Doppelte der Nennspannung. Jedoch können Wellenreflexionen und Spannungserhöhungen dann auftreten, wenn sich die Transienten entlang einer Leitung ausbreiten. Die Überlastung von Elektroenergieabnehmern tritt vor allem am Anschlusspunkt durch Überlagerung von Reflexionswelle und einlaufender Welle auf. Störfestigkeitsbetrachtungen gewisser Elektroenergieabnehmer haben dieses mit zu betrachten. Weiter ist zu beachten, dass gerade beim Zuschalten unverdrosselter Kondensatoren der Einschaltvorgang der ersten Kondensatorstufe einen Spannungseinbruch mit anschließender Spannungsspitze produziert. Analog Diagramm a, Bild 2.4, tritt ein Spannungsverlauf auf, dessen Halbwertdauer im transienten Einbruchbereich in der Regel zwischen 2 und 3 ms liegt. Gerade dieser, im Normalfall unkritische transiente Spannungseinbruch führt an elektronischen Regelantrieben von Leistungsmotoren im Niederspannungsversorgungsnetz – vorwiegend Simodrive Leistungsstellern – verstärkt zum unkontrollierten Ansprechen der Schutzeinrichtung. So existiert im Werknetz des Industrieunternehmens in dem der Autor tätig ist bewirkte eine, im Mittelspannungsnetz zur Grundkompensation täglich zwischen 5:30 und 6:00 Uhr geschalteten Kondensatoreinheit an mehreren im Niederspannungsnetz betriebenen Simodrive Leistungsstellern eine, zum Einschaltimpuls der Mittelspannungskondensatoren deckungsgleiche Störfallsituation.

Die Störfallanalyse ergab, dass der transiente Einbruchsimpuls der Mittelspannungskondensatorbank im Sicherheitsmanagement der Antriebseinheit die Aussage der internen Störung durch Kurzschluss reproduzierte. Grund war die Optimierungsmaßnahme in der Steuerlogistik des Herstellers der Antriebseinheit, der schnelle Änderungen in der Spannung zur Detektion innerer und äußerer Fehler (Phasenschluss am Antriebsmotor, Elektroenergieabnehmer / Spannungsausfall im Elektroenergieversorgungsnetz / Thema Anlagenschutz) benutzte.

2.3.2.3 Langsame, schnelle Spannungsänderung (Flicker)

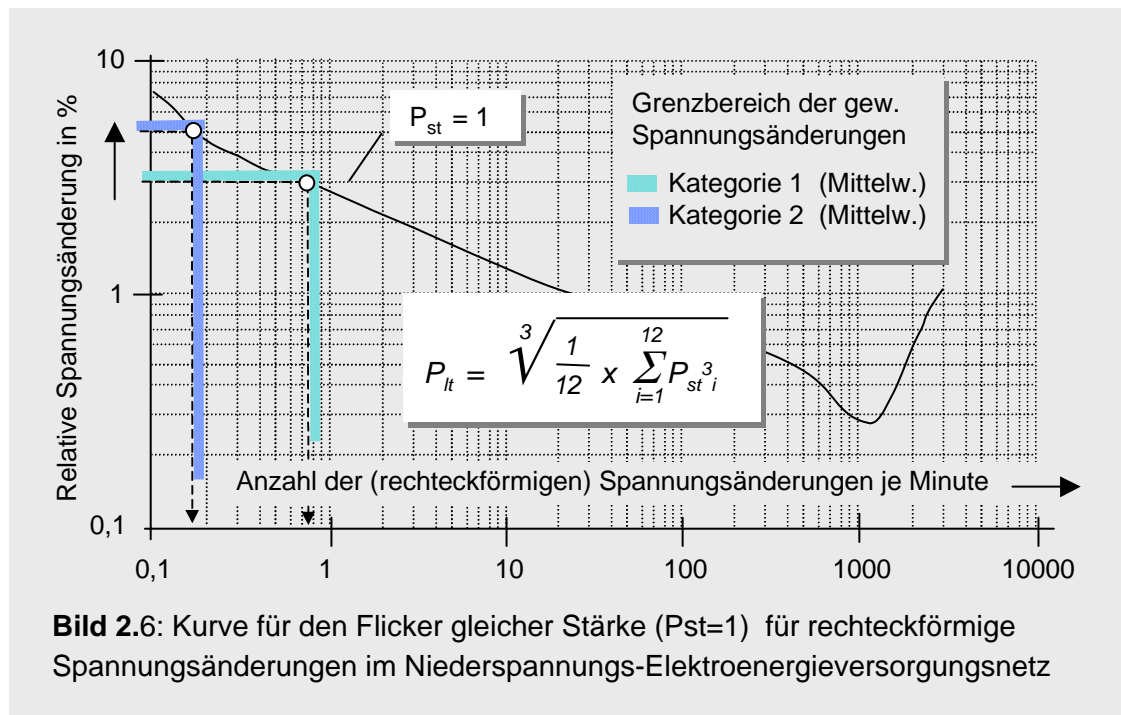
Die Höhe der Spannung in öffentlichen und nichtöffentlichen Elektroenergieversorgungsnetzen ist – abhängig von Ort und Zeit – mit entsprechenden Abweichungen vom Nennwert behaftet. Unter normalen Betriebsbedingungen, d.h. ohne Berücksichtigung der Versorgungsunterbrechung zählt hier zur Detektion schneller und langsamer Spannungsänderungen das Veränderungsverhalten in Höhe und Anzahl der Einzeländerung im zu betrachtenden Zeitintervall. Hervorgerufen werden schnelle und langsame Spannungsänderungen beim Zu- und Abschalten von Lasten, bzw. bei asymmetrisch belasteten Phasen eines Mehrphasensystems. Hier steigt in den minder belasteten Phasenleitern die Netzspannung an, während in der Hauptbelastungsphase die Spannung absinkt. Gesehen über die Belastungszeit von Elektroenergieabnehmern im EES kann die schnelle Spannungsänderung der vereinbarten Versorgungsspannung U_C als direkte Wechselwirkung in Form von Flicker (Flackern) von Beleuchtungsanlagen und als indirekte Wechselwirkung regelungstechnischer Steuerungsgrößen analoger Systeme und Komponenten in Erscheinung treten.

Tabelle 2-2 zeigt am betrachteten Industrieunternehmen den am Netzknotenpunkt (Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer) gegenüber dem Lieferant von Elektroenergieabnehmern gehandhabten Umgang mit langsamen und schnellen Spannungsänderungen. Strukturiert in Klassen der Verträglichkeit, z.B. nach DIN EN 61000-2-4 /21/, bietet Tabelle 2-2 dem Lieferanten den für den Lieferumfang notwendigen Handlungsrahmen zur Absicherung notwendiger Qualitäten gegenüber dem Medium „elektrischer Energie“ beim Kunden. Der für den Bereich der Immunität und der Emission dort hinterlegte Elektroenergiequalitätsparameter dient dem Kunden und dem Lieferanten gleichermaßen als Absicherung der im Lastenheft des Kunden, gegenüber dem Pflichtenheft des Lieferanten, festgelegten Funktionalität zum zu erstellenden Produkt.

Spannungsänderung beim betrachteten Industrieunternehmen	Pegel- und Referenzdokument	
	Immunität	Emission
Klasse 1: Umgebung bei geschütztem Versorgungsnetz		
Schnelle Spannungsänderung ($\Delta t \leq 10$ ms), Mittelungszeit: 1 min	ΔU_C 3% mittel ΔU_C 5% max	Wert je nach Vorbelastung des Netzknotens
Langsame Spannungsänderung Typ „A“ (10 ms < $\Delta t \leq 1$ min)	$U_C \pm 5\%$	
Langsame Spannungsänderung Typ „B“ (1 min < $\Delta t \leq 10$ min)	$U_C \pm 8\%$	
Klasse 2: Umgebung äquivalent öffentliches Netz (Industrieumgebung I)		
Schnelle Spannungsänderung ($\Delta t \leq 10$ ms), Mittelungszeit: 1 min	ΔU_C 5% mittel ΔU_C 10% max	Wert je nach Vorbelastung des Netzknotens
Langsame Spannungsänderung Typ „A“ (10 ms < $\Delta t \leq 1$ min)	$U_C \pm 8\%$	
Langsame Spannungsänderung Typ „B“ (1 min < $\Delta t \leq 10$ min)	$U_C \pm 10\%$	
Klasse 3: Umgebung mit stark vorbelastetem Netz (Industrieumgebung II)		
Schnelle Spannungsänderung ($\Delta t \leq 10$ ms), Mittelungszeit: 1 min	ΔU_C 10% mittel ΔU_C 15% max	Wert je nach Vorbelastung des Netzknotens
Langsame Spannungsänderung Typ „A“ (10 ms < $\Delta t \leq 1$ min)	$U_C \pm 10\%$	
Langsame Spannungsänderung Typ „B“ (1 min < $\Delta t \leq 10$ min)	$U_C +10\% / - 15\%$	

Tabelle 2-2: Spannungsänderung

Die Flickerstärke wird in Abstimmung mit der DIN EN 61000-4-15 /27/ gemessen und in Übereinstimmung mit der DIN EN 61000-3-3 /23/ bewertet. Die Flickerstärke wird im Hinblick sowohl auf Kurzzeit- als auch auf Langzeiteffekte berechnet. Der mit P_{st} bezeichnetem Kurzzeitflicker wird aus dem 10-min-Intervall der Versorgungsspannung bestimmt. Bild 2.6 zeigt die Schwellwertkurve der DIN EN 61000-2-2 /20/ für den zulässigen Flicker für Normallampen, der aus rechteckförmigen Spannungsänderungen bei verschiedenen Wiederholraten entsteht. Für das Spannungsänderungs-



band Tabelle 2-2, Klasse 1 bis 3 ist die Anzahl der zulässigen Spannungsänderungen je Minute aus der Grenzwertkurve, z.B. für $P_{st}=1$, Bild 2-6, ablesbar. Der für rechteckförmige Spannungsänderungen geltende Kurvenverlauf ist mit Hilfe der Korrekturverfahren nach DIN EN 61000-3-3 der Realität am Elektroenergieabnehmer anzupassen. Die in Bild 2-6 mit P_{lt} bezeichnete Langzeit-Flickerstärke wird für ein Zwei-Stunden-Intervall berechnet. Sie wird aus den P_{st} Werten für 12 aufeinander folgende 10-Minuten-Intervallen gebildet.

Zur Betrachtung diesbezüglicher Qualitätsparameter der Elektroenergie wird vom Autor der Funktionserhalt der Elektroenergieabnehmer am Elektroenergieversorgungsnetz über den in Tabelle 2-3 hinterlegten Kurzzeit-Flickerwert abgebildet. Die Langzeit-Flickerstärke wird nur als tendenzieller Wertinhalt betrachtet.

Flickerstärke beim betrachteten Industrieunternehmen	Pegel- und Referenzdokument -> P_{st}	
	Immunität	Emission
Verbrauchergruppe Klasse 1	$P_{st} \leq 1$	Wert je nach Vorbelastung des Netzan-schlusspunktes (Netzknoten)
Verbrauchergruppe Klasse 2	$P_{st} \leq 1$	
Verbrauchergruppe Klasse 3	$P_{st} > 1$ / abhängig der jeweiligen Situation	

Tabelle 2-3: Flickerstärke

2.3.2.4 Spannungseinbruch / „voltage dip“

Ein Spannungseinbruch entsteht zum einen durch einen Fehler im Elektroenergieversorgungsnetz, zum anderen durch die Zuschaltung von Elektroenergieabnehmern mit hohem kurzzeitigem Lastbedarf. Ist der Spannungseinbruch von kurzer Natur, d.h. im Bereich $10 \text{ ms} \leq \Delta t \leq 180 \text{ ms}$, spricht man nach IEC vom „voltage dip“. Der „voltage dip“, von der PowerQuality Community als „voltage sag“ bezeichnet, ist nach Bild 2.7 definiert und stellt einen kurzzeitigen Rückgang der Versorgungsspannung auf einen Wert unterhalb 90% des vorherigen (previous) Wertes U_{prev} dar. Er unterschreitet jedoch die 1%-Marge der vereinbarten Versorgungsspannung U_C nicht.

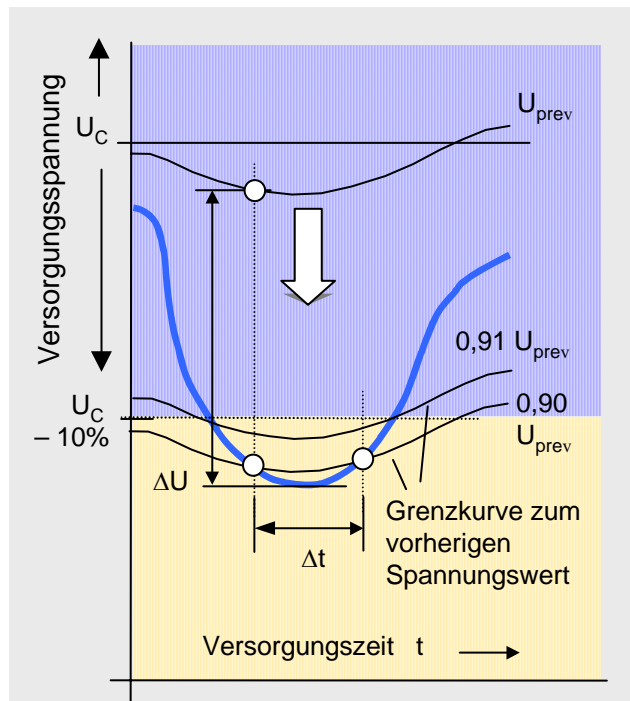


Bild 2.7: Definition „voltage dip“

Er unterschreitet jedoch die 1%-Marge der vereinbarten Versorgungsspannung U_C nicht.

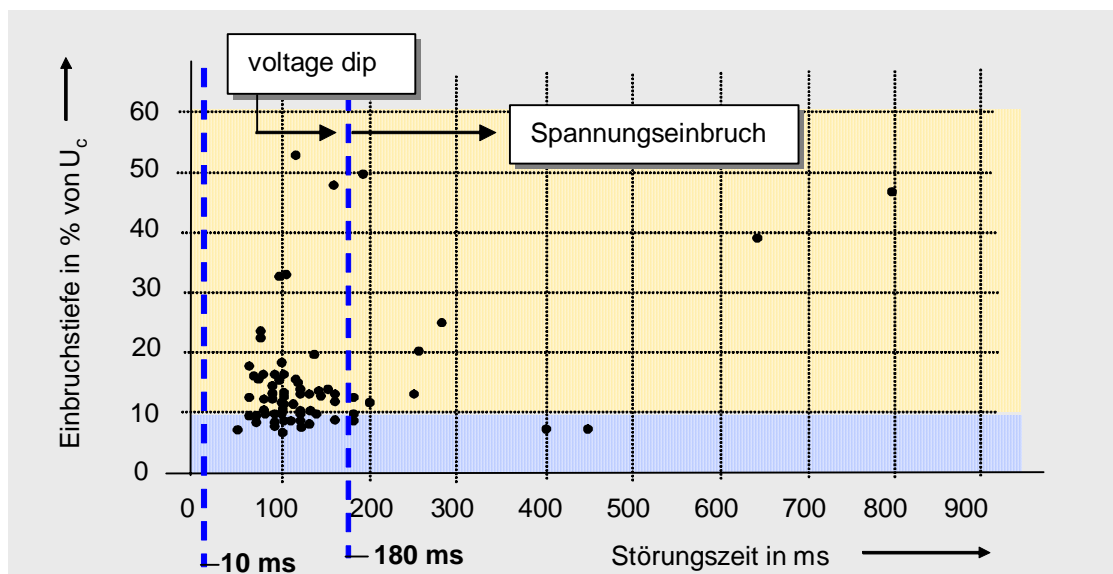


Bild 2.8: Spannungseinbrüche im werkeigenen Mittelspannungsnetz zwischen 1998 und 2004

Am Beispiel der Aufzeichnung der Spannungseinbrüche im Mittelspannungsversorgungsnetz des vom Autor betrachteten Industrieunternehmens zeigt Bild 2.8 den Definitionsbereich zwischen dem „voltage dip“ und dem Spannungseinbruch. Das zwischen 1998 und 2004 am Übergabepunkt vom öffentlichen zum nichtöffentlichen Elektroenergieversorgungsnetz dort registrierte Störungsvolumen lässt Schwerpunkte im Bereich des Effektivwertverlaufs einer Halbperiode erkennen. In dem nach DIN EN 50160 definierten Spannungsband ($1\% \leq \Delta U/U_c < 90\%$) zeigt der registrierte Spannungsfall klare Schwerpunkte gegenüber dem Betrachtungsband „voltage dip“. Strukturiert man die Störungszahl als Funktion der Störungshöhe (Bild 2.9, Diagramm a) und der Störungszeit (Bild 2.9, Diagramm b) entsteht ein, gegenüber dem Risiko funktionaler Störungen bei Umrichterantrieben und speicherprogrammierbaren Steuerungen der Industrie forciertes Informationsbedarf über den Grad und die Höhe des Risikos am Produkt EE, stets wirkend zum Prozess, respektive zum Produkt.

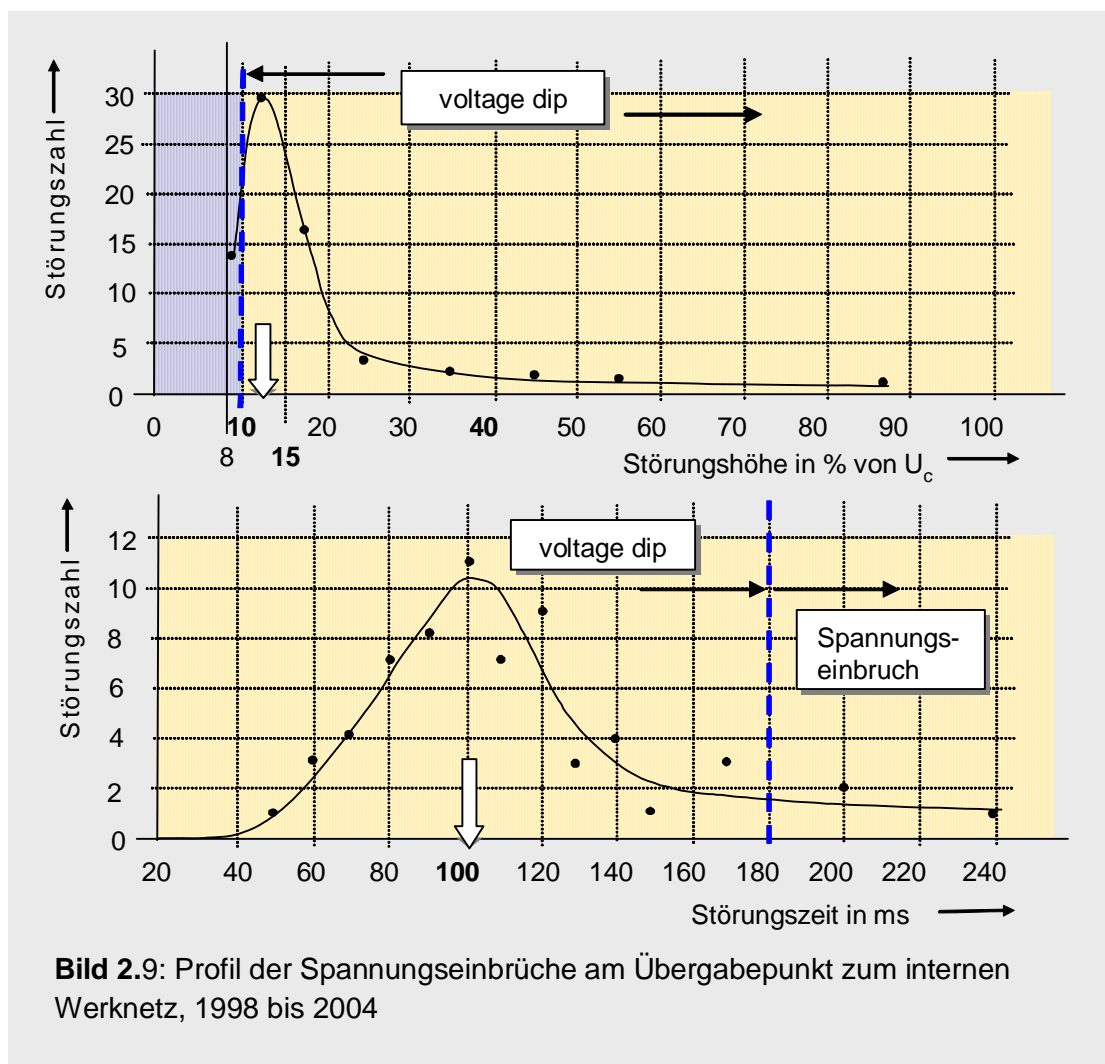


Bild 2.9: Profil der Spannungseinbrüche am Übergabepunkt zum internen Werknetz, 1998 bis 2004

Aus diesem Grund hat das betrachtete Industrieunternehmen bereits seit 1998 ein Mess- und Registriertsystem an den Einspeisepunkten des Werknetzes im Einsatz (Fabrikat. Simeas R, Fa. Siemens). Der dort dokumentierte Qualitätsstandard ist die Basis für weitergehende Betrachtungen, die der Autor zum Thema Produktfestigkeit im Abschnitt 5, 7 bis 11 noch vertieft beschreibt.

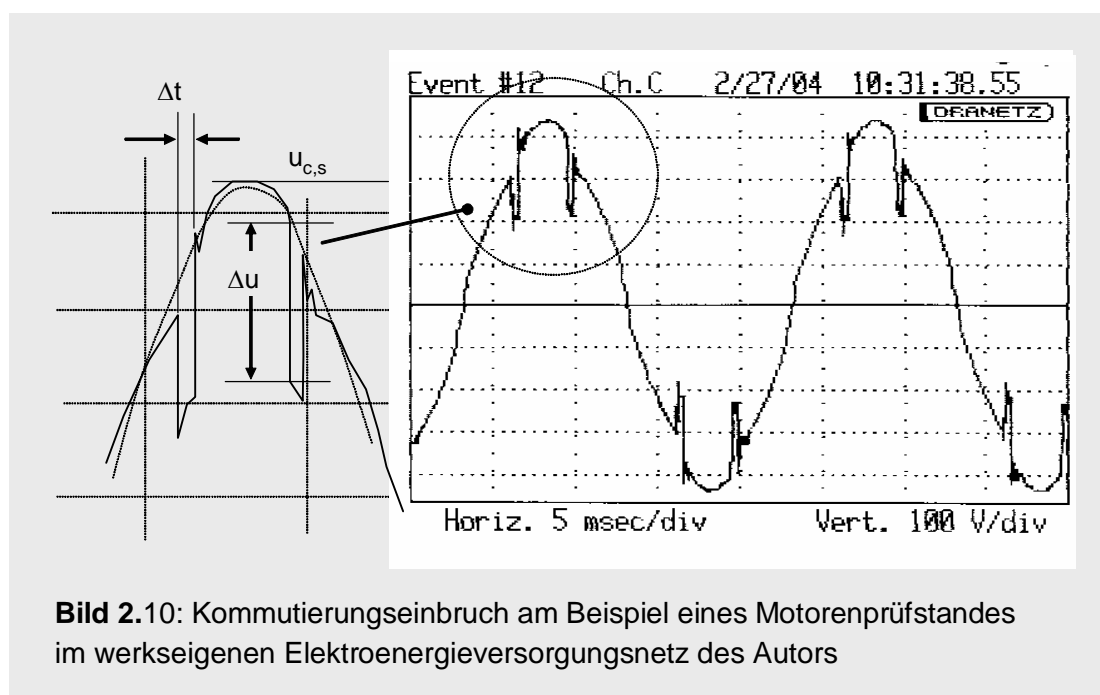
Auf Basis der lokalen Dokumentation der Störphänomene verfügt das betrachtete Industrieunternehmen über ein Informationsnetzwerk, dass die an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer sich abbildende Elektroenergiequalität auch dazu benutzt, die über die Zeit sich abzeichnende Veränderung zur Risikosituationen eines funktionalen Prozesses – zu dem auch das „voltage dip“ zu rechnen ist – in ihr Profil nach Bild 2.8 und 2.9 als Querschnittsthema mit einzubeziehen. Umgesetzt ist das Querschnittsthema als Qualitätseckpunkt gegenüber dem funktionalen Ergebnis einer Mensch, Maschine, Material und Medium Philosophie, die in Abschnitt 11 vertieft beschrieben wird. Zu dieser Philosophie zählt auch die in Tabelle 2-4 hinterlegten Funktionalitätsbeziehungen zum Störphänomen Spannungseinbruch und „voltage dip“.

Spannungseinbruch / voltage dip beim betrachteten Industrieunternehmen	Pegel- und Referenzdokument Verbrauchergruppe <u>Klasse 2</u>
Elektroenergieabnehmer Typ A – Verbraucher mit niederem Risikopotential	
Funktionssicherheit nach <u>Kategorie 1</u>	$\Delta U/U_c$ bis 10%
Funktionserhalt beim Spannungseinbruch bzw. voltage dip nach <u>Kategorie 2</u>	$\Delta U/U_c$ bis 15% über Δt 100 ms
Elektroenergieabnehmer Typ B – Verbraucher mit normalem Risikopotential	
Funktionserhalt beim Spannungseinbruch bzw. voltage dip nach <u>Kategorie 1</u>	$\Delta U/U_c$ bis 15% über Δt 100 ms
Funktionserhalt beim Spannungseinbruch bzw. voltage dip nach <u>Kategorie 2</u>	$\Delta U/U_c$ bis 20% über Δt 200 ms
Elektroenergieabnehmer Typ C – Verbraucher mit hohem Risikopotential	
Funktionserhalt beim Spannungseinbruch bzw. voltage dip nach <u>Kategorie 1</u>	$\Delta U/U_c$ bis 20% über Δt 200 ms
Funktionserhalt beim Spannungseinbruch bzw. voltage dip nach <u>Kategorie 2</u>	$\Delta U/U_c$ bis 30% über Δt 200 ms

Tabelle 2-4: Spannungseinbruch und „voltage dip“

2.3.2.5 Kommutierungseinbruch

Leistungskonverter, wie z.B. Stromrichter verursachen je nach Betriebs- und Netzzustand mehr oder minder ausgeprägte, zyklisch auftretende Kurzzeitspannungseinbrüche. Der nur wenige ms andauernde Einbrucheffekte (Bild 2.10) wird als Kommutierungseinbruch bezeichnet. Kommutierungseinbrüche entstehen durch Kurzschlüsse zwischen den Außenleitern, die an den Anschlussklemmen eines Thyristor-Stromrichters vorkommen und an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer im Spannungsabbild als Störphänomen sichtbar werden. Kommutierungseinbrüche treten auf, wenn Strom von einer Phase der Elektroenergieversorgung am Stromsteller des Elektroenergieabnehmers zur nächsten kommutiert. Die Höhe des Kommutierungseinbruchs, d.h. der Anteil im Delta der Spannungsänderung Δu gegenüber der Sinusschwingung einer vereinbarten Versorgungsspannung $U_{c,s}$, die beispielsweise an der Anschlussstelle zum Elektroenergieversorgungsnetz in Erscheinung tritt, hängt vom Verhältnis der Netzimpedanz des Elektroenergieversorgungsnetzes zur Koppelimpedanz des Thyristor-Stromrichters (Elektroenergieabnehmer) ab. Die Analyse der Einbrüche nach Bild 2.10 berücksichtigt die Einbruchtiefe und die Einbruchbreite als Funktion der zulässigen Umgebungsbelastung nach Tabelle 2-5. Sie hat die physikalische Umgebungs- und Betriebsbedingung zu weiteren Elektroenergieabnehmern am Netzanschlusspunkt technisch und technologisch mit zu berücksichtigen.



Kommutierungseinbruch beim betrachteten Industrieunternehmen	Pegel- und Referenzdokument	
	Immunität	Emission
Klasse 2 (EN 61000-2-4), Industrieumgebung 1, Erste Umgebung (EN 61800-3)		
Kommutierungseinbruch	$\Delta u/u_{c,s} \leq 20\%$	Wert je nach Vorbelastung des Netzan-schlusspunktes
Kommutierungsfläche ($\Delta u \times \Delta t$)	120% x Grad	
Klasse 3 (EN 61000-2-4), Industrieumgebung 2, Zweite Umgebung (EN 61800-3)		
Kommutierungseinbruch	$\Delta u/u_{c,s} \leq 40\%$	Wert je nach Vorbelastung des Netzan-schlusspunktes
Kommutierungsfläche ($\Delta u \times \Delta t$)	250% x Grad	

Tabelle 2-5: Kommutierungseinbruch

2.3.2.6 Spannungs- / Versorgungsunterbrechung

Der Zustand der Spannungs- / Versorgungsunterbrechung beginnt ab einer Spannungsabsenkung des Spannungswerts (Halbperioden-Effektivwert) unterhalb 1% der vereinbarten Versorgungsspannung U_c . Die Versorgungsunterbrechung lässt sich einteilen in:

- **geplante** Versorgungsunterbrechung zur Ausführung planmäßiger Arbeiten im öffentlichen und/oder nichtöffentlichen Versorgungsnetz;
- **zufällige** Versorgungsunterbrechung, die durch eine andauernde oder vorübergehende Störung verursacht wird. Sie tritt meist in Zusammenhang mit äußeren Einflüssen, Anlagenausfällen oder anderen Störungen auf. Eine zufällige Versorgungsunterbrechung wird eingeteilt in die Langzeit- (> 3 min) und Kurzzeitunterbrechung nach Bild 2.11.

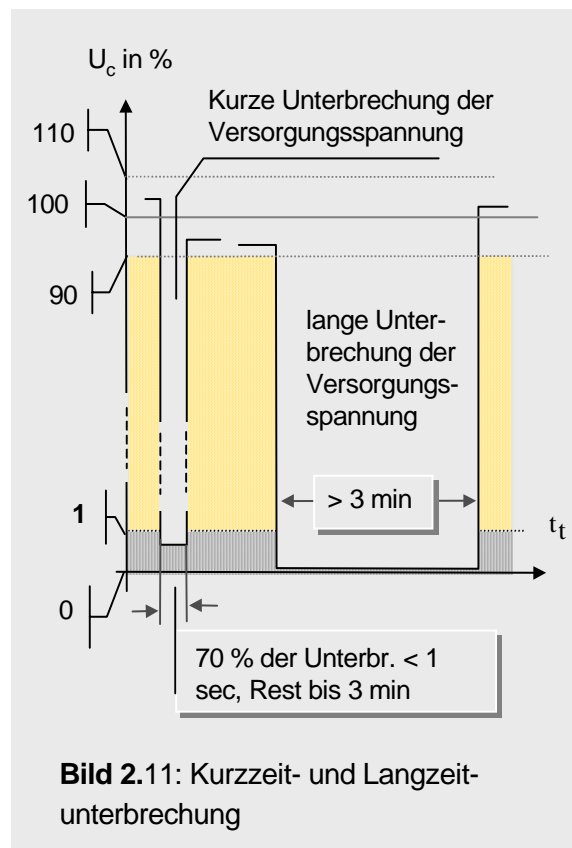


Bild 2.11: Kurzzeit- und Langzeitunterbrechung

Sieht man von geplanten Versorgungsunterbrechungen ab, wird das Störphänomen der zufälligen Unterbrechung der Versorgungsspannung – wie auch mehr oder weniger stark ausgeprägt alle anderen Störphänomene leitungsgebundener Art – durch die Vorbelastung des öffentlichen Netzes des Versorgers vorgeprägt. Betrachtet man die Merkmalkriterien der Elektroenergieversorgung in öffentlichen Elektroenergieversorgungsnetzen (Mittel- und Niederspannungsversorgungsnetz) nach DIN EN 50160, kennzeichnet das dort hinterlegte Betrachtungsband gegenüber Unterbrechungen der Versorgungsspannung das Bild der ortsabhängigen Vorbelastung, d.h. des physikalischen Anschlusspunktes des Netzkunden nach Tabelle 2-6. Sie entspricht dem Risiko funktionaler Störungen die ein Netzkunde an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer gegenüber dem dort darzustellenden unternehmerischen Inhalt (Personen- und Prozesssicherheit, Prozessgüte) einzukalkulieren hat. Bei Mehrbedarf an qualitativer Elektroenergie (Elektroenergiequalität) sind Kompensationsmaßnahmen, wie unterbrechungsfreie Stromversorgungsanlagen in die Gesamtbetrachtung der nichtöffentlichen Versorgung (Werkversorgung) technisch, technologisch und ökonomisch mit einzubeziehen.

Unterbrechung der Versorgungsspannung Vorbelastung öffentliches Versorgungsnetz	Pegel- und Referenzdokument	
	Einbruch	Anzahl/a
Übergabepunkt Kunde: Merkmale der <u>Niederspannung</u> (EN 50160:1999)		
<u>Kurze</u> Unterbrechung der Versorgungsspannung (gültig für zufällige Versorgungsunterbrechungen)	$\Delta t \leq 1$ sec für 70% der Unterbrechungen, Rest bis zu 3 min	einige 10 bis mehrere 100
<u>Lange</u> Unterbrechung der Versorgungsspannung (gültig für zufällige Versorgungsunterbrechungen)	$\Delta t > 3$ min	weniger als 10 bis hin zu 50
Übergabepunkt Kunde: Merkmale der <u>Mittelspannung</u> (EN 50160:1999)		
<u>Kurze</u> Unterbrechung der Versorgungsspannung (gültig für zufällige Versorgungsunterbrechungen)	$\Delta t \leq 1$ sec für 70% der Unterbrechungen, Rest bis zu 3 min	einige 10 bis mehrere 100
<u>Lange</u> Unterbrechung der Versorgungsspannung (gültig für zufällige Versorgungsunterbrechungen)	$\Delta t > 3$ min	weniger als 10 bis hin zu 50

Tabelle 2-6: Unterbrechung der Versorgungsspannung

2.3.2.7 Spannungsunsymmetrie

Spannungsunsymmetrie ist ein, auf der Belastung eines Mehrleiternetzes (Beispiel – Vier- oder Fünfleiter- Drehstromnetz) basierender Zustand, bei dem die Effektivwerte der Außenleiter-Neutralleiter-Spannungen oder die Winkel auf einander folgender Phasen nicht gleich sind. Gesehen am Beispiel des betrachteten Industrieunternehmens gilt dort für den Netzanschlusspunkt der Elektroenergieverbraucher z.B. das in Tabelle 2-7 hinterlegte Schema der Belastungsfähigkeit. Die Bildung der Unsymmetrie erfolgt abweichend zur Norm, nicht aus der %-Differenz vom 10-Minuten-Mittelwert des Effektivwertes der Gegensystemkomponente zur Mitsystemkomponente heraus, sondern aus dem 1-Minuten-Mittelwert.

Unter normalen Betriebsbedingungen muss ein, im werkeigenen Elektroenergieversorgungsnetz eingesetzter Elektroenergieverbraucher, z.B. vom Typ B (Elektroenergieverbraucher der Klasse 2 nach DIN EN 61000-2-4), einen Unsymmetriegrad im 1-Minuten-Mittelwert des Effektivwertes der Gegensystemkomponente zu entsprechenden Mitsystemkomponenten von 2% ohne Funktionsbeeinträchtigung zum Prozess und/oder zum Produkt verkraften. Eventuelle Zusatzbelastungen zur bereits vorhandenen Spannungsunsymmetrie am Schnittpunkt zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer, verursacht durch etwaige Emissionen des Elektroenergieabnehmers selbst (ungleiche Strombelastung der Netzanschlussphasen), wird je nach der bereits vorhandenen Netzinfrastruktur (weitere Elektroenergieabnehmer) als Fixwert vom Kunden (Fallbeispiel: betrachtetes Industrieunternehmen) dem Lieferanten eines Elektroenergieabnehmers im Lastenheft bindend vorgegeben. Zwischen Lieferant und Kunde entsteht die vertraglich fixierte Liefer- und Leistungsvereinbarung, die alle elektromagnetischen Störphänomene gleichermaßen einbindet.

Spannungsunsymmetrie beim betrachteten Industrieunternehmen	Pegel- und Referenzdokument	
	Immunität	Emission
Elektroenergieabnehmer Typ A nach Definition Tabelle 2-4 -> Klasse 1	2%	Wert je nach Vorbelastung des Netzanschlusspunktes
Elektroenergieabnehmer Typ B nach Definition Tabelle 2-4 -> Klasse 2	2%	
Elektroenergieabnehmer Typ C nach Definition Tabelle 2-4 -> Klasse 3	3%	

Tabelle 2-7: Spannungsunsymmetrie

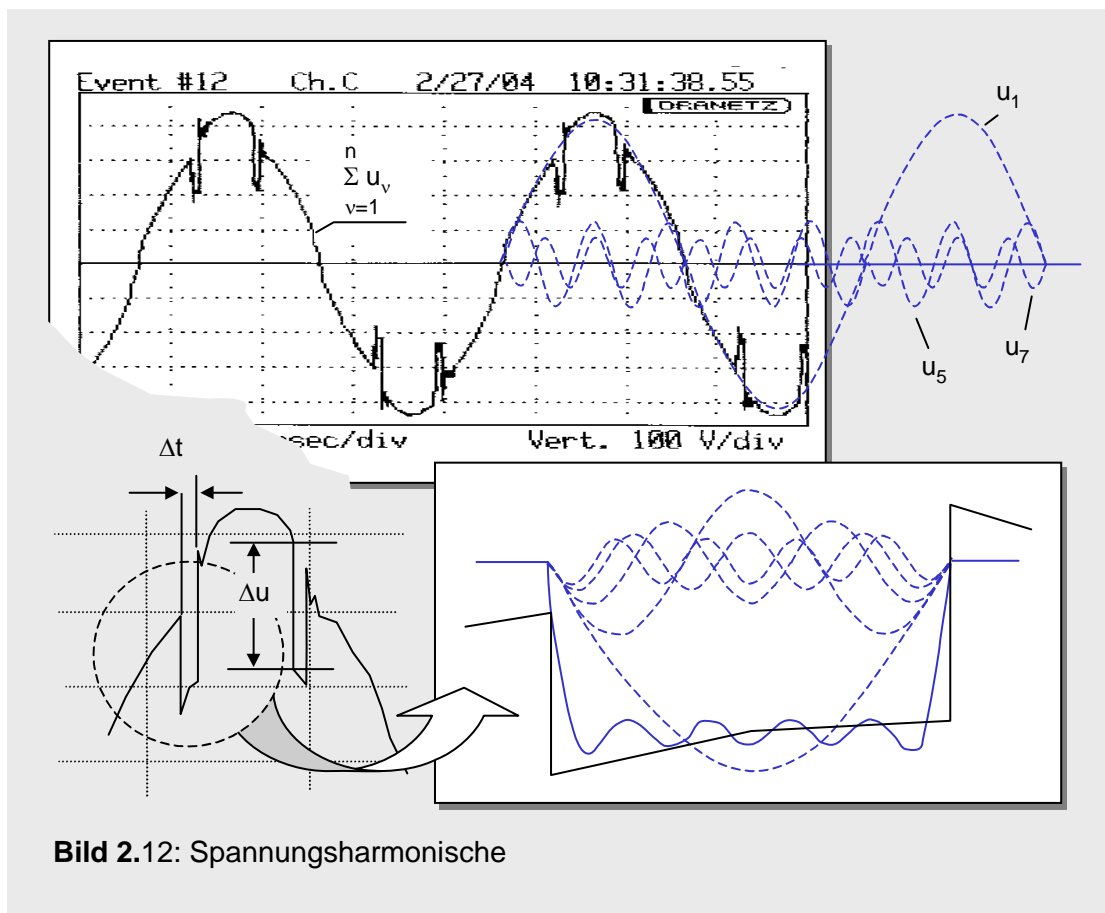
2.3.2.8 Spannungsharmonische

Leistungskonvertoren verursachen nicht nur – wie in Abschnitt 2.3.2.5 beschrieben – Kommutierungseinbrüche, sondern durch ihren, in der Regel hohen Spannungsänderungseffekt, so genannte Spannungsharmonische. Nach der Definition in der DIN EN 50160, Punkt 1.3.21 /15/, ist die Spannungsharmonische eine sinusförmige Spannung mit einer Frequenz die ein ganzzahliges Vielfaches (Ordnungszahl) der Grundschwingungsfrequenz der Versorgungsspannung ist. Oberschwingungsspannungen können wie folgt bewertet werden:

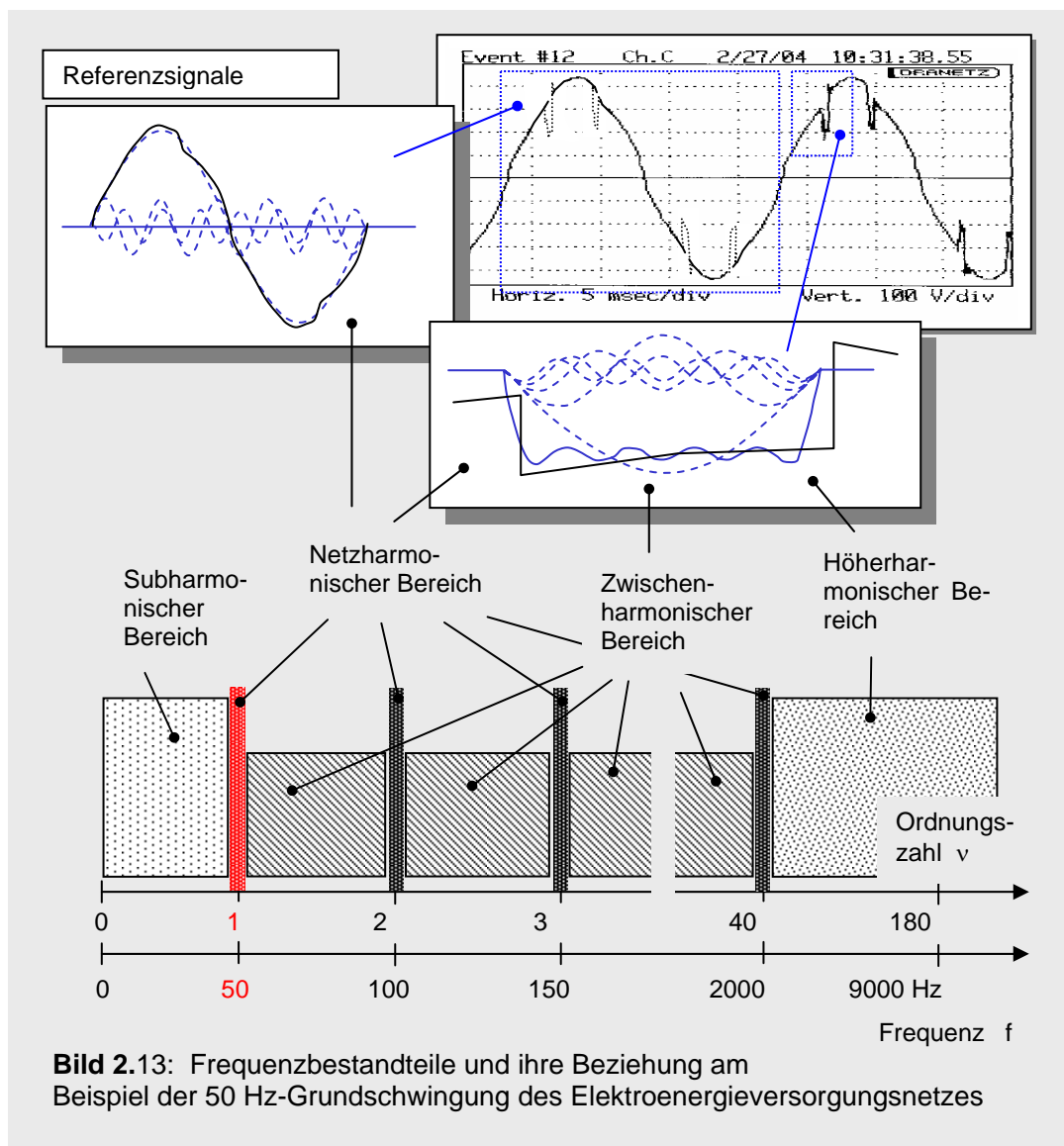
- Einzelbewertung, durch ihre Amplitude U_v bezogen auf die Grundschwingungsamplitude U_1 , wobei h die Ordnungszahl der Oberschwingungsspannung ist;
- Summenbewertung, beispielsweise durch den Gesamtüberschwingungsgehalt THD , der mit Hilfe der Gleichung 2-6 nach Definitionsumfang DIN EN 50160 für den Frequenzbereich bis 2 kHz (40 Harmonische) zu berechnen ist.

$$THD = \sqrt{\sum_{v=2}^{40} (u_h)^2}$$

Gl. 2-6



Bei der Zerlegung des Spannungssignals am Schnittpunkt zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer, z.B. nach Schema Bild 2.12, kann unter Nutzung der Fourier-Reihe – als Fourier-Analyse bekannt – der Frequenzbestandteil allgemein periodischer oder quasiperiodischer Schwingungsgebilde (Bild 2.2, Diagramm d und e, Abschnitt 2.2) auf eine endliche Anzahl sinusförmiger Einzelschwingungen zurückgeführt werden. Strukturiert in Frequenzbestandteile des sub-, netz-, zwischen- und höherharmonischen Signalbereichs entsteht, analog Bild 2.13, ein, auf die Grundswingungskomponente einer zeitlich vorliegenden Signalform bezogenes Gebilde, bestehend aus n Signalharmonischen. Der im Bild 2.13 hervorgehobene Grundswingungsanteil ($v=1$ – roter Balken) steht im Elektroenergieversorgungsnetz für die der Netznennfrequenz f_n .



Bei der Festlegung der Verträglichkeitspegel für Spannungsharmonische müssen zwei Tatsachen berücksichtigt werden. Tatsache 1 ist die Zunahme der Anzahl der Quellen (vorwiegend Elektroenergieabnehmer mit nichtlinearen Strom-Spannungskennlinien); Tatsache 2 ist die Abnahme des Anteils an rein ohmschen Lasten (z.B. Heizlasten), die als Dämpfungselemente wirken.

Die in der DIN EN 61000-2-4 /21/ für Spannungsharmonische, z.B. an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und dem/den Elektroenergieabnehmer(n) dazu vorgegebenen Verträglichkeitspegel sind so zu verstehen, dass sie sich auf so genannte quasistationäre oder unveränderliche Oberschwingungen beziehen. Sie sind als Bezugswerte sowohl für Langzeitwirkungen als auch für sehr kurzzeitige Wirkungen angegeben. Die Langzeitwirkungen beziehen sich hauptsächlich auf thermische Effekte in Leitungen, Transformatoren, Motoren und Kondensatoren. Sie entstehen auf Grund von Oberschwingungspegel die 10 Minuten oder länger anhalten. Sehr kurzzeitige Wirkungen beziehen sich vor allem auf störende Effekte gegenüber elektronischen Einrichtungen, die gegenüber Oberschwingungen, die 3 sec oder auch kürzer sind, empfindlich reagieren.

Das vom Autor betrachtete Industrieunternehmen nutzt den 3 sec-Wert (Kurzzeitwert) der Spannungsharmonischen bereits zur Zuordnung funktionaler Störungen an Prozessmaschinen. Gesehen wird der 3 sec-Wert nicht als der um den Faktor 1,5-fach höhere Verträglichkeitsgehalt nach Punkt 5.6 der DIN EN 61000-2-4, sondern als der dort freigegebene Grenzwertverlauf der Verträglichkeit der Langzeitwirkung. Ein für die Kurz- und Langzeitbelastung gleichermaßen gültiger Grenzbereich gegenüber Spannungsharmonische an den Eingangsklemmen von Elektroenergieabnehmern entsteht, der die Zuordnungsproblematik bei technischen Störungen an Elektroenergieabnehmern aus dem Kurz- oder Langzeitbereich heraus egalisiert. Der Autor begründet die dort im Industrieunternehmen umgesetzte Änderungsmaßnahme aus dem Konstrukt der DIN EN 61000-2-4 heraus, die besagt:

- dass zwar Punkt 5.6 der DIN EN 61000-2-4 die Freigabe einer erhöhten Emission bei kurzzeitigen Oberschwingungen gegenüber langzeitigen zulässt,

Zitat, Absatz 5: Bezogen auf sehr kurzzeitige Wirkungen sind die Verträglichkeitspegel für einzelne Oberschwingungsanteile der Spannung in den Klassen 1 und 3 (Umgebungsklassen der Elektroenergieabnehmer) die in den Tabellen 2 bis 5 angegebenen Werte , multipliziert mit 1,5;

- jedoch Punkt 5.6 der DIN EN 61000-2-4 die Immunität der damit beaufschlagten Elektroenergieverbraucher sehr dezent umschreibt.

Zitat, Absatz 4: *Sehr kurzzeitige Wirkungen beziehen sich hauptsächlich auf störende Effekte gegenüber elektronischen Einrichtungen, die gegen Oberschwingungen, die 3 sec oder kürzer anhalten, empfindlich sind.*

Hier bindet die Freigabe erhöhter Oberschwingungspegel auf Basis von Integrationszeiten bis 3 sec überhöhte Pegelgrößen im Bereich < 3 sec. Sie stellen gegenüber den elektronischen Einrichtungen, die bereits auf kürzere Spannungsharmonische empfindlich reagieren ein, im industriellen Prozess schlecht zu kalkulierendes Risiko dar. Einzukalkulieren sind vor allem auch Effekte aus dem vor- und nachgelagertem Netz – im betrachteten Industrieunternehmen bezeichnet als Hintergrundrauschen. Meist aus den unterlagerten Teilnetzen in das Mittelspannungsnetz der werkinernen Elektroenergieversorgung eingekoppelt, entsteht so ein nicht zu unterschätzender Grundpegel – vom Autor als „Gauß’sches Grundrauschen“ mit kontinuierlichen, d.h. regelmäßigen Frequenzen bezeichnet – der sich auch in andere unter- oder überlagerte Netzebenen wieder zurück- bzw. einkoppelt. Sichtbar vor allem durch seine Überlagerung von periodischen, quasiperiodischen und/oder nichtperiodischen Spannungsphänomenen mit der im Elektroenergieversorgungsnetz vorhandenen periodischen Kurvenform, führt dieses Zusatzphänomen in gewissen Tageszeiten im Werknetz bereits zu periodisch sich verändernden Laufgeräuschen an Leistungsmotoren, hier registriert im werkinernen Kraftwerkbereich an einer Kraft-Wärme-Kopplungseinheit. Angelehnt am Entwurf der DIN EN 61000-2-4 sind dort Quellen maßgebend, die vorzugsweise entstehen beim Betrieb

- von Schweißmaschinen: Zusatzquelle für Spannungsharmonische aus dem sub- und höherharmonischen Bereich. Hervorgerufen werden die zusätzlichen Schwingungsanteile durch punktuelle Stoßbelastung über mehrere Perioden hinweg mit einem zeitlich sich verändernden Übergangswiderstand am Schweißpunkt (Beispiel: Mehrpunktschweißmaschinen mit Schweißzyklen bis 30 Perioden und Schweißpunkten zwischen 4 und 30 Stück gleichzeitig);
- von Leistungsstromrichtern: Zusatzquelle für Spannungsharmonische aus dem zwischen- und höherharmonischen Bereich, hervorgerufen durch den Schalteffekt der dort technisch genutzten Schaltfrequenzen moderner Leistungsstromrichter mit aktivem Frontend.

Tabelle 2-8 gibt Aufschluss über das Handlungsschema gegenüber der Netzharmonischen als Pegel- und Referenzdokument für Kurzzeit- und Langzeitharmonische des betrachteten Industrieunternehmens. Grenzgrößenangaben für Spannungsharmonische im sub-, zwischen- und höherharmonischen Bereich sind im betrachteten Industrieunternehmen im Entstehen.

Spannungsharmonische im betrachteten Industrieunternehmen	Pegel- und Referenzdokument für Kurzzeit- und Langzeitharmonische		
	Klasse 1 $U_v / t=3 \text{ min}$	Klasse 2 $U_v / t=3 \text{ min}$	Klasse 3 $U_v / t=3 \text{ min}$
Ungeradzahlige Oberschwingungen, keine Vielfache von 3			
Ordnungszahl $v = 5$	3 %	6 %	8 %
Ordnungszahl $v = 7$	3 %	5 %	7 %
Ordnungszahl $v = 11$	3 %	3,5 %	5 %
Ordnungszahl $v = 13$	3 %	3 %	4,5 %
Ordnungszahl $v = 17$	2 %	2 %	4 %
$17 < v < 49$	$2,27 \times (17/v) - 0,27$	$2,27 \times (17/v) - 0,27$	$4,5 \times (17/v) - 0,5$
Ungeradzahlige Oberschwingungen, Vielfache von 3			
Ordnungszahl $v = 3$	3 %	5 %	6 %
Ordnungszahl $v = 9$	1,5 %	1,5 %	2,5 %
Ordnungszahl $v = 15$	0,3 %	0,4 %	2 %
Ordnungszahl $v = 21$	0,2 %	0,3 %	1,75 %
$21 < v \leq 45$	0,2 %	0,2 %	4 %
Geradzahlige Oberschwingungen			
Ordnungszahl $v = 2$	3 %	5 %	6 %
Ordnungszahl $v = 4$	1,5 %	1,5 %	2,5 %
Ordnungszahl $v = 6$	0,3 %	0,4 %	2 %
Ordnungszahl $v = 8$	0,2 %	0,3 %	1,75 %
Ordnungszahl $v = 10$	0,2 %	0,2 %	4 %
$10 < v \leq 50$	$0,25 \times (10/v) + 0,25$	$0,25 \times (10/v) + 0,25$	1 %
Gesamtverzerrungsfaktor			
THD Spannung	5 %	8 %	10 %

Tabelle 2-8: Spannungsharmonische

2.3.3 Störphänomen als Signalmodell

Elektroenergieabnehmer am Elektroenergiesystem des Elektroenergieversorgungsnetzes mit nichtlinearen Leistungskennlinien, d.h. nicht zueinander linearer Spannungs- $u(t) = u_{\text{Netz}}$ und Stromkennlinie $i(t) = i_{\text{Verbr}}$, erzeugen an der im Zeit- und im Frequenzbereich sich variierenden Impedanz des Verbrauchers einen, dem Verbraucher zuordenbaren Laststrom. Der als allgemein periodisches oder quasiperiodisches Signal vorliegende Signalverlauf in Spannung und Strom ist aus den in Abschnitt 2.3.2 charakterisierten Störphänomenen darstellbar. Das technische Ergebnis eines elektroenergetischen Leistungsaustauschs an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer ist determinierbar als allgemein periodisches Signalmodell (Bild 2.2, Vergleichsignal Diagramm d, Abschnitt 2.2) oder über den quasiperiodischen Signalzustand (Bild 2.2, Vergleichsignal Diagramm e, Abschnitt 2.2).

➤ Allgemein periodisches Signal:

Form eines sich zeitlich variierenden Strom- $i(t)$ und Spannungssignals $u(t)$, dadurch gekennzeichnet, dass es aus einer Vielzahl ganzzahliger harmonischer Schwingungen im Bereich $>50 \text{ Hz}$ und $\leq 2 / 9 \text{ kHz}$ besteht, und mit unterschiedlichen Phasen und Amplituden gebildet wird. Die differierende Obergrenze resultiert aus den in der Anwendung different genutzten Obergrenzen für Harmonische Schwingungen (2 kHz - operative Betrachtungsgrenze nach DIN EN 50160 / 2,5 kHz – operativer Wert nach DIN EN 61000-2-4 mit Verweis auf den verstärkt kritischen höherharmonischen Bereich / 9 kHz - strategische Betrachtungsgrenze höherharmonischer Bestandteile in der Spannung, so gesehen beim betrachteten Industrieunternehmen).

➤ Quasiperiodisches Signal:

Das quasiperiodische Signal besitzt im Gegensatz zum allgemein periodischen Signal ein zusätzliches, nicht ganzzahliges das Spektrum des Signals bildendes harmonisches Element. Der in Abschnitt 2.3.2.8 bereits charakterisierte Signalbereich von Quellen mit sub- und zwischenharmonischen Signalkomponenten bildet die Periodizität im Elektroenergiesystem, d.h. dem Ergebnis der Kopplung zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer als Signal mit Quasiperiodizität, d.h. als kleinstes gemeinsames Vielfaches ab.

Das allgemein periodische Signal, wie auch das quasiperiodische Signal ist in seinem determinierbaren Signalbereich allgemein gültig beschreibbar für den Laststrom $i(t)$ nach Gl. 2-7, und für die sich einstellende Signalspannung am Anschlussknoten im EES $u(t)$ nach Gl. 2-8.

$$i(t) = i_o + \sum_{v>0}^{\infty} i_v \cos(\omega_v t + \varphi_{iv}) \quad (2-7)$$

$$u(t) = u_o + \sum_{v>0}^{\infty} u_v \cos(\omega_v t + \varphi_{uv}) \quad (2-8)$$

$$\omega_v = k \omega_1 = k 2 \pi f_1 = k 2 \pi / T_1$$

$$\left| \begin{array}{l} k \in Z (\text{ganze Zahl}) \rightarrow \text{allgemein periodischer Fall} \\ k \in Z (\text{reelle Zahl}) \rightarrow \text{quasiperiodischer Fall} \end{array} \right.$$

Trifft dieses Muster als Betrachtung von Mittelwert und Varianz nicht zu (z.B. Vergleichssignal Diagramm f, Bild 2.2), so ist die Beschreibung durch statistische Mittel vorzunehmen. Eines dieser statistischen Mittel, angewendet in der Messtechnik dieser Phänomene, ist die Bildung von Teilbetrachtungsfenstern die jeweils für sich ein annähernd gleichförmig zu betrachtendes Zeitsignal enthalten.

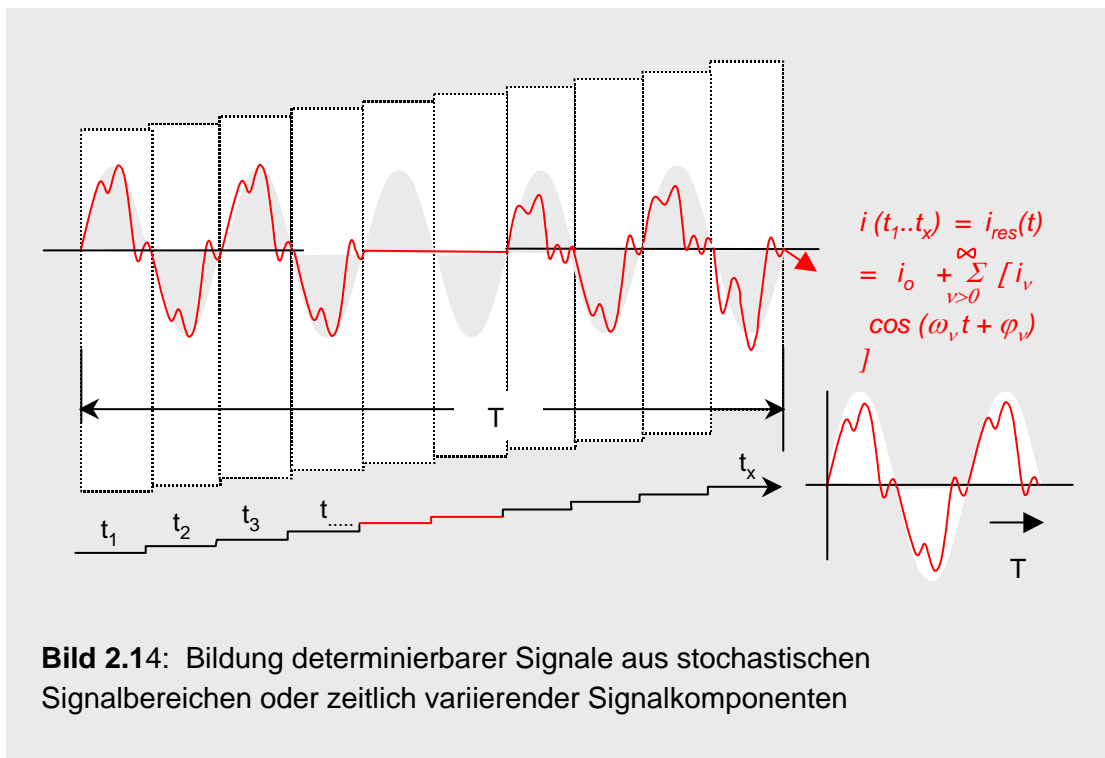


Bild 2.14: Bildung determinierbarer Signale aus stochastischen Signalbereichen oder zeitlich variierender Signalkomponenten

Bild 2.14 kennzeichnet ein derartiges Vorgehen an einem Mustersignal $i(t)$, bei dem die Betrachtungszeit T in jeweils gleich große Teilbetrachtungsfenster t_1 bis t_x zerlegt ist. Zur Bildung determinierbarer Signale aus stochastischen Signalbereichen oder zeitlich variierender Signalkomponenten wählt man zweckmäßigerweise ein Halbperioden-Betrachtungsraster. Es ermöglicht die Zuordnung der zeitlichen Veränderung des nicht determinierbaren Nutzsignals in determinierbare Teilsignale (Beispiel Bild 2.14: $i(t_1), i(t_2) \dots i(t_x)$). Das resultierende Belastungsgebilde – Bild 2.14 mit $i_{res}(t)$ bezeichnet – ist das Summenergebnis der Bestandteile der Teilfenster t_1 bis t_x nach Gleichung 2-9. Es bildet den allgemein periodischen oder quasiperiodischen Fall über das Betrachtungsfenster T nach Bild 2.2, Diagramm d und e ab.

$$i_{res}(t) = \frac{\sum_{\text{Teilfenster } n=1}^{n=x} i_v t_n}{T} \quad (2-9)$$

Vereinfachung:

- Wichtung der Einzelamplituden harmonischer Sinusschwingungen im Bereich ganzzahliger und nicht ganzzahliger reeller Zahlen ($\nu <> 1$), d.h. Konzentration auf das Wesentliche.
- Setzen des Gleichgliedes, Gl. 2-7 und 2-8 zu Null. Das vom Autor zu betrachtende Elektroenergieversorgungsnetz (öffentlicher und nichtöffentlicher Netzbereich) weist dort keinen relevanten Pegel auf. Gleichanteile, z.B. durch Defekte bei symmetrisch gesteuerten Lasten werden ausgeklammert. Gl. 2-7 und 2-8 vereinfacht sich dadurch zu:

$$i(t) = \sum_{\nu > 0}^{\infty} i_{\nu} \cos(\omega_{\nu} t + \varphi_{i\nu}) \quad (2-10)$$

$$u(t) = \sum_{\nu > 0}^{\infty} u_{\nu} \cos(\omega_{\nu} t + \varphi_{u\nu}) \quad (2-11)$$

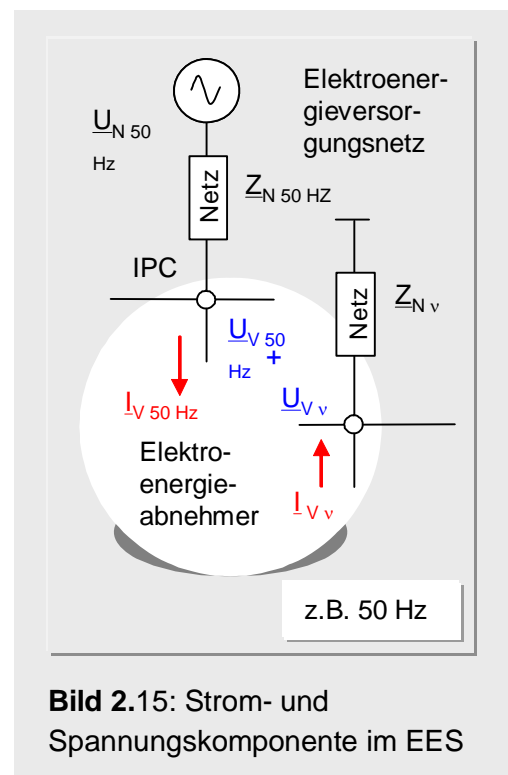
$$\omega_{\nu} = k \omega_1 = k 2 \pi f_1 = k 2 \pi / T_1$$

$$\left| \begin{array}{l} k \in Z(\text{ganze Zahl}) \rightarrow \text{allgemein periodischer Fall} \\ k \in Z(\text{reelle Zahl}) \rightarrow \text{quasiperiodischer Fall} \end{array} \right.$$

Die Korrelation zwischen dem Strom- $i(t)$ und dem Spannungssignal $u(t)$ des periodischen und/oder quasiperiodischen Falls – stochastisch oder zeitlich variierende Signalkomponente nach Schema Gl. 2-9 – erfolgt über die Spiegelung des dort dargestellten Stromsignals über die einzelnen Spannungsebenen hinweg. Gespiegelt wird an der resultierenden, respektive transformierten frequenz- und zeitabhängigen Impedanz der Netzinfrastruktur des Elektrizitätsversorgungsnetzes Z_{Netz} . Der am Netzanschlusspunkt vom Standort des Elektroenergieabnehmers aus gesehen frequenzabhängige Impedanzanteil des Elektroenergieversorgungsnetzes ist gekennzeichnet:

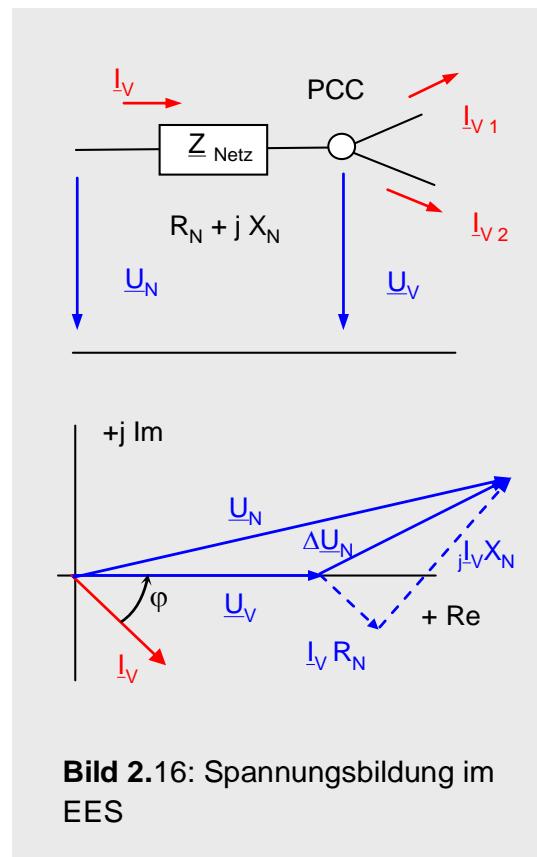
- durch den Laststrom des Elektroenergieabnehmers $i_1(t)$ am Lastknoten im EES sich einstellende belastete Spannungsverlauf $u_1(t)$;
- durch Lastströme weiterer Elektroenergieabnehmer $i_2(t)$ aus vor- und nachgelagerten Netzknotenpunkten, gesehen gegenüber dem am Lastknoten des Betrachtungsobjektes im EES sich bildenden unbelasteten Spannungsverlaufs $u_2(t)$.

Das am Netzanschlusspunkt (Netzknoten: PCC, IPC) des Elektroenergieabnehmers sich zeitlich einstellende Spannungsbild des Verbrauchs EE – in Bild 2.15 mit $\underline{U}_{V\ 50Hz}$ und $\underline{U}_{V\ v}$ bezeichnet – ist das Ergebnis zweier, sich am Netzknoten überlagernder Ereignisse. Zum einen bildet der am Beispiel Bild 2.15 mit 50 Hz angesetzte netzfrequente Laststrom über den Spannungsfall an der Netzimpedanz $Z_{N\ 50Hz}$ den Spannungsanteil der Grundschwingung $\underline{U}_{V\ v}$; zum andern generiert der Elektroenergieabnehmer durch nichtlineare Bauteile im Eingangskreis einen Laststrom mit Stromharmonischen (Bild 2.15, $\underline{I}_{V\ v}$), der an der Netzimpedanz des Netzknotens $Z_{N\ v}$ eine Spannungsharmonische $\underline{U}_{V\ v}$ am Netzknoten hervorruft. Die Überlagerung beider Signalkomponenten – Bild 2.15 $\underline{U}_{V\ 50Hz}$ und $\underline{U}_{V\ v}$ – bildet die am Schnittpunkt zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer wirkende Spannung \underline{U}_V als einen für die weitere Betrachtung nutzbaren Indikator ab.



2.3.4 Signalmodell im EES

Die Differenz zwischen dem idealen Sinusverlauf der Versorgungsspannung – idealisiert betrachtet in Bild 2.16 als \underline{U}_N – und dem am Netzknotenpunkt anstehendem Spannungsverlauf – Bild 2.16, \underline{U}_V – kennzeichnet mit dem Spannungsfall $\Delta\underline{U}_N$ an der Netzimpedanz $\underline{Z}_{\text{Netz}}$ den Grad der Minderung der Spannung gegenüber dem mit PCC in Bild 2.16 bezeichneten Schnittpunkt zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer. Der mit \underline{I}_V bezeichnete Laststrom stellt die Summe der, bzw. aller am Netzknoten wirkenden Elektroenergieabnehmer ($\underline{I}_{V1}, \underline{I}_{V2} \dots \underline{I}_{Vx}$) dar.



Der als qualitätsbildendes Element gegenüber dem Netzknoten (PCC, IPC) zu betrachtende Spannungsfall an den Impedanzen im EES steht in Summe für eine Vielzahl von Teilspannungsabfällen entlang der Transportschiene der Erzeugung bis zum Verbrauch. Bild 2.17 charakterisiert das EES als Strahlennetz, das die „elektrische Leistung“ vom Erzeuger als Quelle (Bild 2.17, Vermaschungspunkt 1) über Betriebsmittel (BM), wie Transformatoren und Kabel, beispielsweise zum, bzw. vom Vermaschungspunkt 6, Bild 2.17, transportiert. Die in der Regel über mehrere Netzebenen reichende Elektroenergietransportverbindung ermöglicht es Elektroenergieabnehmern das Produkt EE aus unterschiedlichsten Spannungsebenen heraus zu beziehen. Gestützt wird ein derartiges Elektroenergiesystem durch weitere Einspeisequellen an den unterschiedlichsten Vermaschungspunkten. Die aus Rücksicht auf die Aussagekraft in Bild 2.17 nur angedeutete Zweit- und Dritteinspeisung stellt in Gro die Quelle am Vermaschungspunkt 1 mit der Versorgungsspannung \underline{U}_N dar. Die zwischen dem Einspeisepunkt (Bild 2.17, Vermaschungspunkt 1) und dem Elektroenergieabnehmer (Bild 2.17, Vermaschungspunkt 6) wirkende Netzimpedanz $\underline{Z}_{\text{Netz}}$ benutzt das resultierende Ergebnis der Einzelimpedanzen der Betriebsmittel (Transformator, Ka-

bel, Kondensator, Drossel) um den am Vermaschungs- und Anschlusspunkt 2 bis 5, Bild 2.17, wirkenden Elektroenergieabnehmer, respektive Elektroenergieeinspeiser darzustellen. Am Beispiel des mit Z_V gekennzeichneten Elektroenergieabnehmers (Bild 2.17, Vermaschungspunkt 6) bildet das EES die Versorgungsspannung \underline{U}_V zum einen aus der Vorbelastung der Vermaschungspunkte 2 bis 5, zum anderen aus der Zusatzbelastung durch den Elektroenergieabnehmer selbst heraus.

Der als Qualitätsverlust anzusehende Grad der Minderung der Spannung $\Delta\underline{U}_N$ zwischen der Quellenspannung \underline{U}_N und der Spannung am zu betrachtenden Netzknoten \underline{U}_V kann gegenüber dem global wirkenden EES als Qualitätsaussage genutzt werden. Die als bewertbare Minderung am Produkt EE sich abzeichnende Differenz $\Delta\underline{U}_N$ bildet das am PCC des Elektroenergieabnehmers gegenüber dem Elektroenergieversorgungsnetz wirkende spezifische Störphänomen nach Abschnitt 2.3.2.1 bis 2.3.2.8 ab.

2.3.4.1 Qualitätsindex

Nutzt man die Differenzierung zwischen dem idealen und dem realen Spannungssignal am Vermaschungspunkt 1 bis x eines Elektroenergiesystems nach Schema Bild 2.17, so ist über den, an der resultierenden Netzimpedanz Z_{Netz} sich abbildenden Differenzumfang $\Delta\underline{U}_N$ die Differenzgröße einem, oder mehreren spezifischen Störphänomenen zuordenbar. Eine Einteilung durch Zerlegung des Spannungssignals in entsprechende Teilsignale führt zur Deklaration der Merkmale der Spannung im Detail.

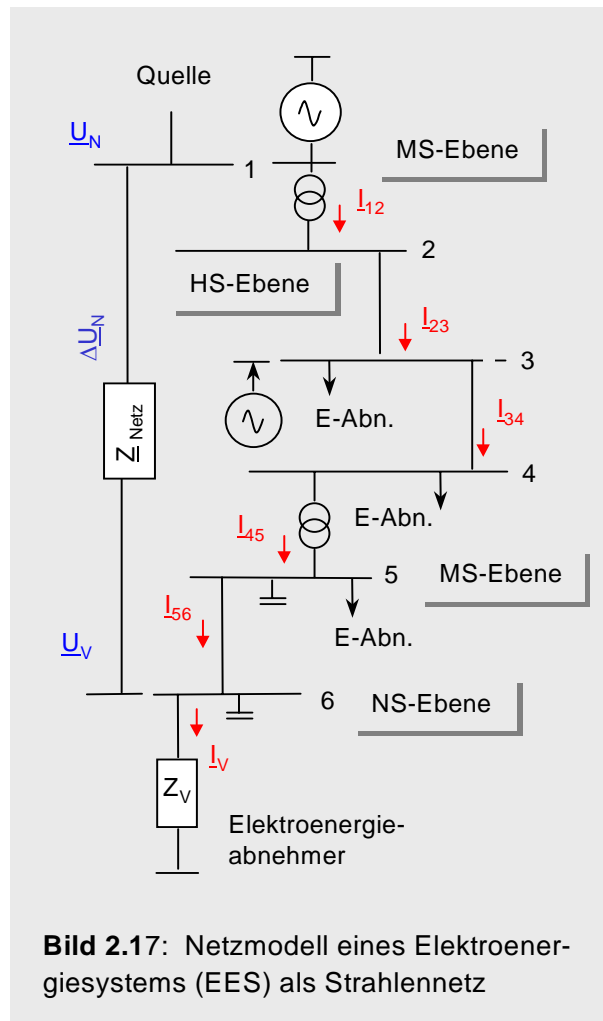


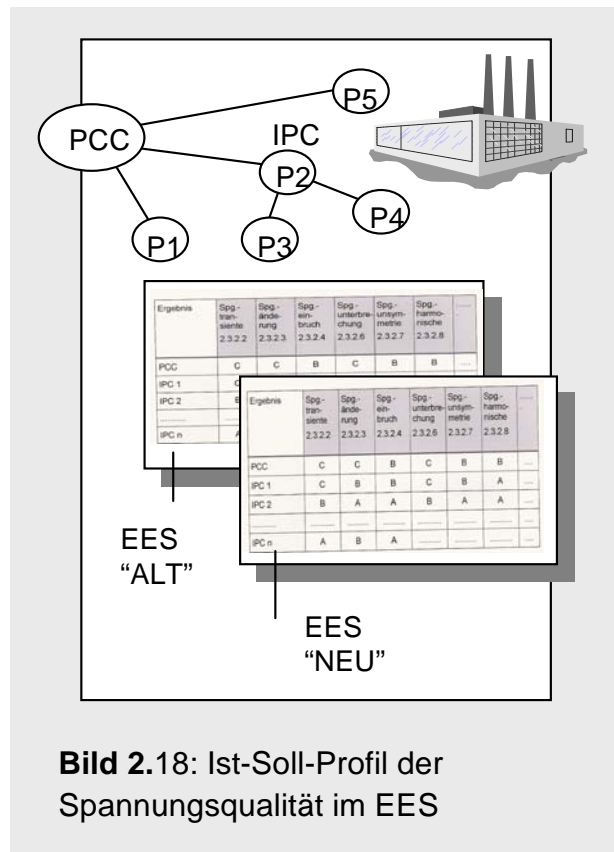
Bild 2.17: Netzmodell eines Elektroenergiesystems (EES) als Strahlennetz

Der am jeweiligen Vermaschungspunkt im EES mehr oder weniger stark vom Gesamtgeschehen vor- und nachgelagerter Vermaschungspunkte mitgeprägte Differenzumfang im Einzel- und/oder Summenmerkmal spezifischer Störphänomene in der Spannung entspricht der Kenngröße der dort wirkenden Spannungsqualität. Die Zuordnung entsprechender Lastströme der Elektroenergieabnehmer zu der am Netzanschlusspunkt sich bildenden Versorgungsspannung \underline{U}_V beschreibt die Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer. Bildet man den Differenzinhalt $\Delta\underline{U}_V$ nach Bild 2.17, Abschnitt 2.3.4, für jeden Vermaschungspunkt getrennt, und strukturiert dann das Ergebnis in seiner Differenzgröße gegenüber einem Rastermaß EE, entsteht ein Qualitätsindex nach Beispiel Tabelle 2-9. Typisiert auf die Störphänomene nach Abschnitt 2.3.2 bildet beispielsweise der Kennbuchstabe „A“ ein normales Elektroenergieversorgungsnetz – analog den Merkmalen der DIN EN 50160 – ab, der Kennbuchstabe „B“ ein Elektroenergieversorgungsnetz mit erhöhtem Anspruch, Kennbuchstabe „C“ ein Elektroenergieversorgungsnetz mit hohem Anspruch. Geltend als Immunitäts- und Emissionsvorgabe für den am Vermaschungspunkt (PCC, IPC₁, IPC₂, ..., IPC_n) zu betreibenden, bzw. neu anzuschließenden Elektroenergieabnehmer hat in dem vom Autor betrachteten Industrieunternehmens der dort für das Werknetz hinterlegte Qualitätsindex für weitergehende Planungen im Elektroenergieversorgungsnetz (Werknetz) den Vorrang. Eventuelle Defizite zwischen der Indexwahl des Elektroenergieabnehmers und der nach Zuschaltung im EES zu erwartenden Betriebsdaten des Elektroenergieversorgungsnetzes sind mit entsprechenden Maßnahmen im Elektroenergieversorgungsnetz und/oder am Elektroenergieabnehmer zu belegen.

Ergebnis	Spg.- tran- siente (2.3.2.2)	Spg.- ände- rung (2.3.2.3)	Spg.- ein- bruch (2.3.2.4)	Spg.- unterbre- chung (2.3.2.6)	Spg.- Unsym- metrie (2.3.2.7)	Spg.- harmoni- sche (2.3.2.8)
PCC	C	C	B	C	B	B
IPC 1	C	B	B	C	B	A
IPC 2	B	A	A	B	A	A
.....
IPC n	A	B	A

Tabelle 2-9: Qualitätsindex im EES – Teil 1

Das in Tabelle 2-9 als Qualitätsindex im EES verbal eingetragene Belastungsmuster der Belastungsstufe vom Netztyp A bis C, der Vermischungspunkte PCC, IPC_1 bis IPC_n als Beispiel im nicht öffentlichen Elektroenergieversorgungsnetzes spezifiziert die Anforderung an Planung und Betrieb gleichermaßen. Die Umsetzung am Realobjekt erfolgt als Ist-Soll-Betrachtung, stets gespiegelt an der technisch verfügbaren GRENZ-Belastung einer bestehenden, oder zukünftig vorhandenen Infrastruktur. Die Umsetzung erfolgt beispielsweise durch Abgleich der Einzelprofile



(Bild 2.18), eingetragen als Maßnahmenkatalog nach Tabelle 2-10, hier gesehen unter dem Gesichtspunkt:

- Kennbuchstabe „a“: das Ereignis wird nicht kompensiert,
- Kennbuchstabe „b“: das Ereignis wird manchmal, bzw. teilweise kompensiert,
- Kennbuchstabe „c“: das Ereignis wird immer kompensiert.

Ereignis	IPC 1 (Tabelle 2-9)			
	Qualitätsindex „A“	Qualitätsindex „B“	Qualitätsindex „C“
Spannungstransiente			„a“	
Spannungsänderung		„c“		
Spannungseinbruch		„a“		
Spannungsunterbrechung			„b“	
.....
Spannungsharmonische	„a“			

Tabelle 2-10: Qualitätsindex im EES – Teil 2

2.3.4.2 Qualitätseinbindung

Im Sprachgebrauch der Elektroenergieversorger steht für den Begriff der Qualität am Produkt EE der Ausdruck der Versorgungsqualität. Die Versorgungsqualität, kurz gestreift in Abschnitt 1.2, ist der Oberbegriff für die Versorgungszuverlässigkeit und die Spannungsqualität. Versorgungszuverlässigkeit und Spannungsqualität bildet am Netzknoten, d.h. am Schnittpunkt zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer den Betrachtungsumfang der Elektroenergiequalität ab. Definiert ist der jeweilige Inhalt in der VV Strom II plus /45/, DIN EN 50160 /15/, DIN EN 61000-2-2 /20/, DIN EN 61000-2-4 /21/ und DIN EN 61800-3 /28/, Bild 2.19, als:

➤ Versorgungszuverlässigkeit:

Versorgungszuverlässigkeit, besser bekannt als Versorgungssicherheit und Stabilität ist in der Zuordnung zum Qualitätsprodukt EE ein Begriff aus dem Bereich des Elektroenergieversorgers, d.h. gesehen unter dem Aspekt der Erzeugung, der Durchleitung und des Netzbetriebs. Gegenüber dem Elektroenergieabnehmer reguliert der Elektrizitätsliefer- und/oder Netzanschlussvertrag den vertraglich zugesicherten Part der Sicherheit und Stabilität eines im Grundschwingungsbereich für das EES erzeugten und verteilten Produkts EE.

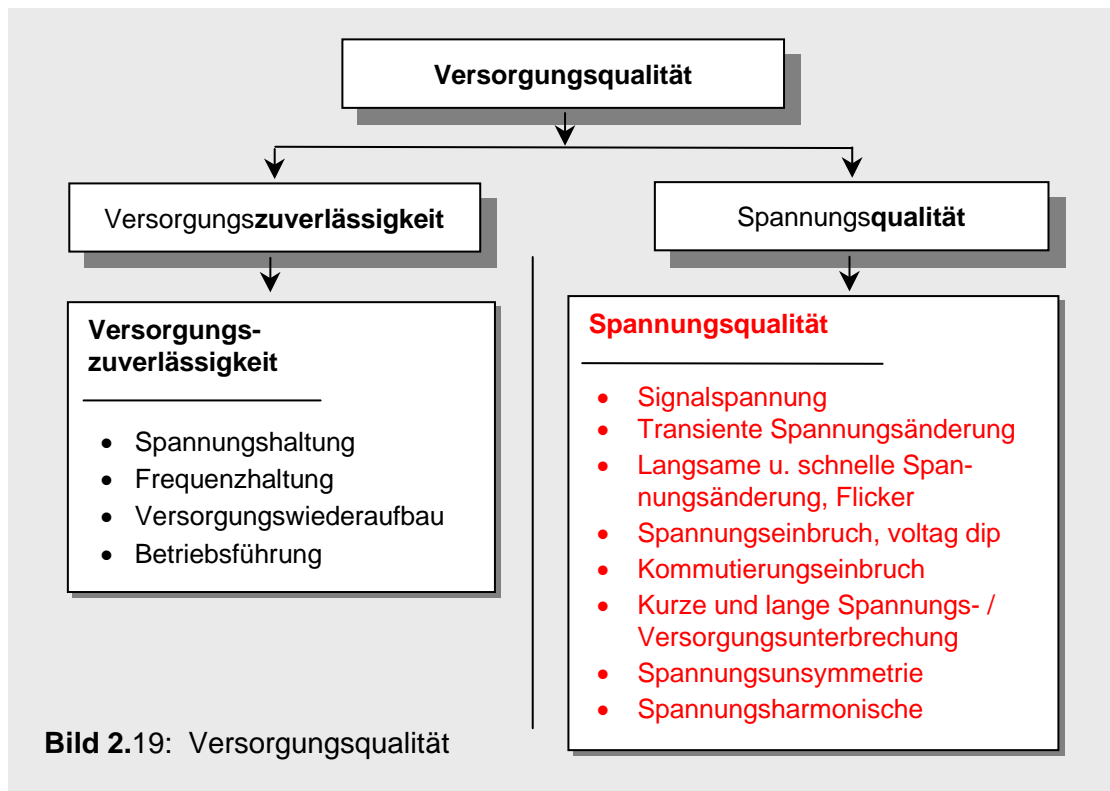


Bild 2.19: Versorgungsqualität

Zeitgleich ausgerichtet zum Verbrauch EE ist deren Bereitstellung unter dem Schwerpunkt der Spannungs- und Frequenzhaltung zu sehen. Doch was für den Elektroenergieversorger in der Spannungs- und Frequenzhaltung noch ausreichend sein kann, muss noch lange nicht die Bedürfnisse des Elektroenergieabnehmers als Kunde EE abdecken. In der betrieblichen Praxis ist jedoch feststellbar, dass momentan ausschließlich die Versorgungssicherheit im Elektrizitätsliefer- und/oder Netzanschlussvertrag reguliert ist. Eine ca.- oder etwa- Wertangabe in Spannung und Frequenz kennzeichnet dort den Vertragsinhalt (vom Autor betrachtetes Industrieunternehmen, Werk A: Versorgungsspannung etwa 20 kV, Versorgungsfrequenz ca. 50 Hz).

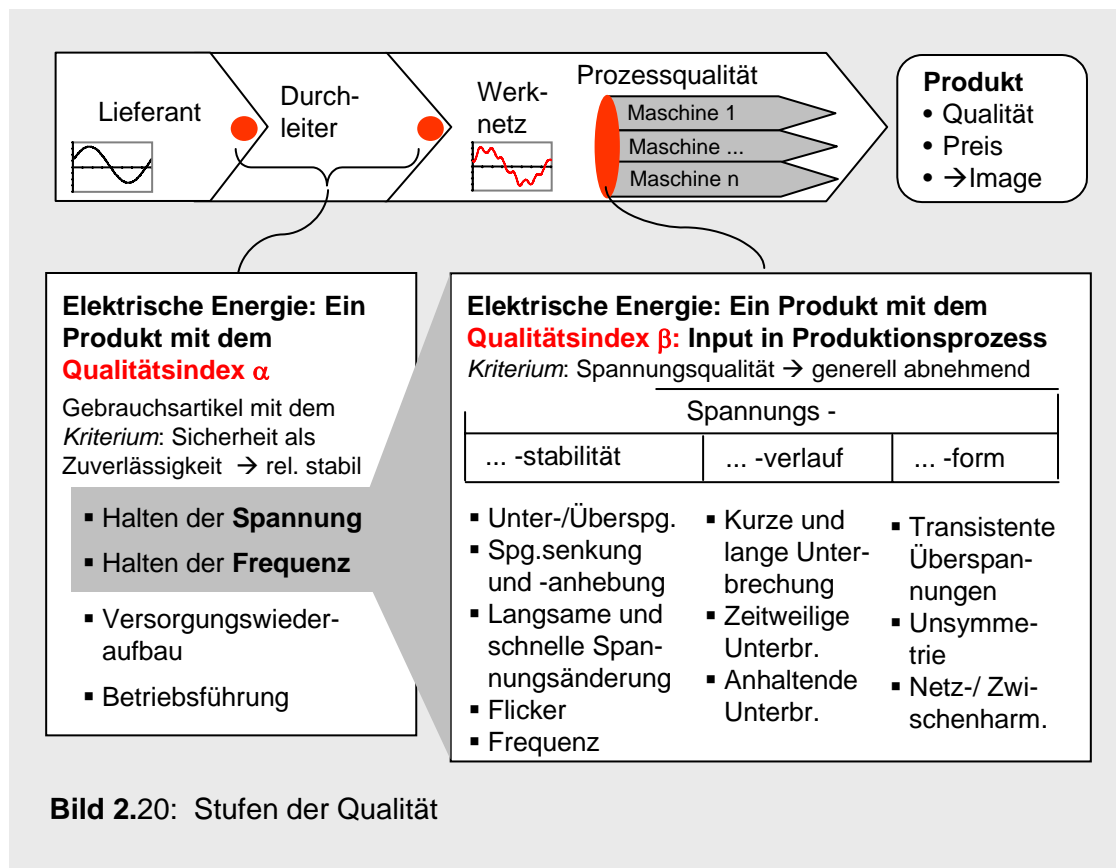
Der Autor bezeichnet den, in der Industrie häufig so gehandhabten Vertragskontext einer Produktdeklaration EE mit dem Qualitätsindex „ α “. Alfa, als Merkmal des Qualitätsindikators der Versorgungsverlässigkeit ist ein, vom Autor freigewählter Begriff, der den Qualitätsrahmen einer Spannungs- und Frequenzhaltung unter Produktaspekten wiederzugeben vermag.

➤ Spannungsqualität

Der Begriff der Spannungsqualität ergänzt den Begriff der Versorgungszuverlässigkeit durch quantitative Zuweisung von Qualitätsparametern. Als Indikator einer Spannung am Schnittpunkt zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer kennzeichnet die Spannungsqualität den Parameter der Elektroenergiequalität im Detail. Gegenüber einem Qualitätsmerkmal der Spannungshaltung mit ca.- und etwa- Wertinhalte liegt bei der Spannungsqualität ein fest umrissener Rahmenwert im Einzelmerkmal vor (siehe Abschnitt 2.3.2, Bild 2.3 bis 2.13, Tabelle 2-2 bis 2-8).

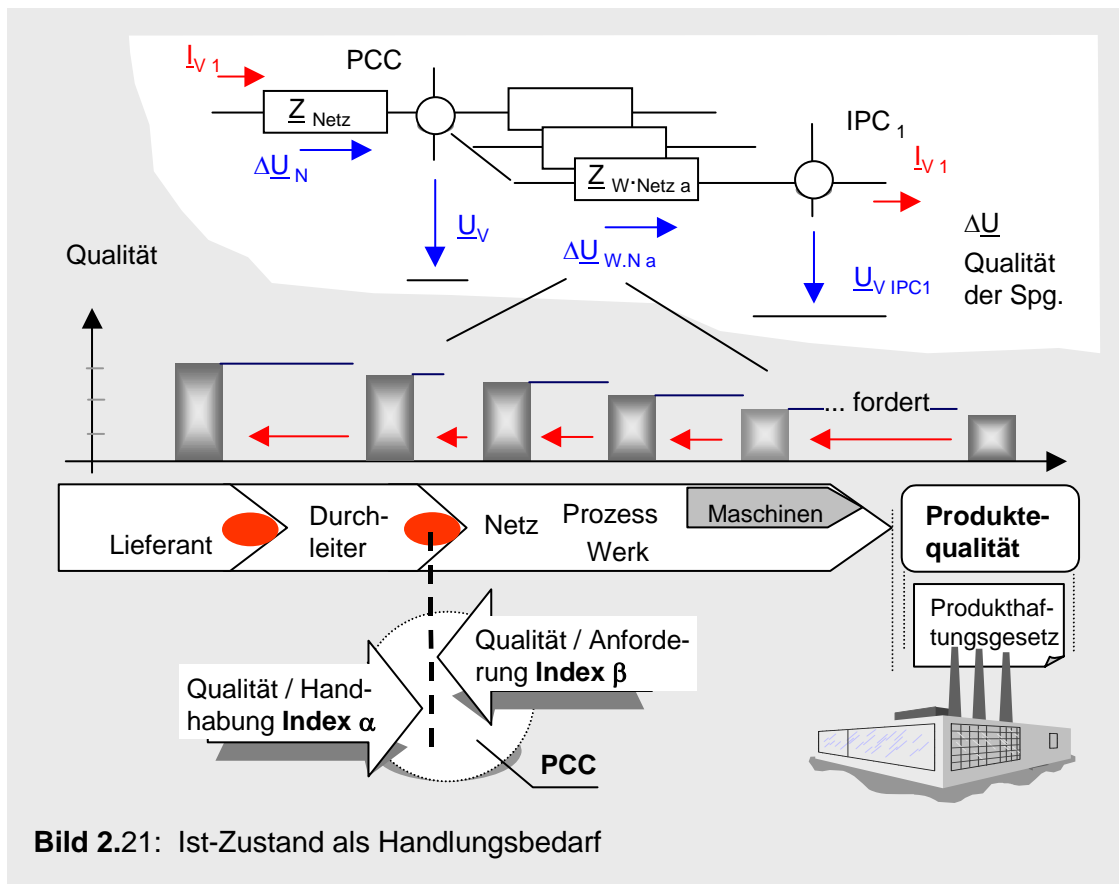
Der Autor bezeichnet den Qualitätsinhalt der Spannungsqualität mit dem Qualitätsindikator „ β “. Beta ergänzt den Qualitätsindikator „ α “ um die quantitativen Inhalte der Versorgungsqualität beim Kunden. Vom Elektroenergieabnehmer aus gesehen, stellt die Spannungsqualität das Ist-Profil des Produkts EE am externen (PCC) und internen (IPC) Netzanschlusspunkt dar.

Bild 2.20 verdeutlicht den Akt der qualitativen Kennung EE als EEQ als Wirkungskette zu Produkt und Prozess, reichend von der Erzeugung beim Lieferanten, bis zum Verbrauch beim Kunden, vom Autor bezeichnet als „Stufen der Qualität“.



Sichtbar ist: die Stufung der Elektroenergiequalität, vom Autor in Bild 2.20 verdeutlicht als Gebilde mit quantifizierbarer Eingangsgröße, ist so nicht stimmig. Der Gebrauchsartikel mit dem Kriterium der Sicherheit als Zuverlässigkeit – bezeichnet als relative Stabilität – und dem vom Prozess geforderten Input einer Spannung in Form, Verlauf und Stabilität – betrachtet als generell abnehmend – stellt das Produktrisiko EE dar.

Noch deutlicher interpretiert Bild 2.21 den Ist-Zustand als den Handlungsbedarf des Elektroenergieabnehmers selbst. Hier zeigt vor allem die beim Elektroenergiekunden gegenüber dem zu erstellenden Produkt zu wahrende Produktequalität eine fordernde Größe auf. Über ein Anforderungsprofil der Elektroenergieabnehmers (Maschine und/oder Gerät) an die Qualität EE (Elektroenergiequalität) tritt eine Kette der Qualitätsforderungen auf. Startend vom Endprodukt (energetische Umsetzung EE am Elektroenergieabnehmer), wirkend über den Vernetzungsprozess der Einzelmaschinen hinweg – Bild 2.21, Qualitätsanspruch Prozess Werk –, kennzeichnet sie den Qualitätsbedarf am Übergabepunkt zwischen öffentlichem und nichtöffentlichem Elektroenergieversorgungsnetz. Eine entgegen der Versorgungsrichtung sich bildenden Qualitätsgröße entsteht durch den Qualitätsverlust paralleler Prozesse.



2.4 Fazit - Elektroenergiequalität

Elektroenergiequalität umschreibt nicht nur Phänomene, sondern auch Prozesse. Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer ist nicht nur die Fixierung der Qualität einer Spannung (Spannungsqualität) am Vermaschungspunkt eines externen und internen Elektroenergiesystems, sondern nutzt die qualitativen Phänomene in Spannung und Strom als Informationsinhalte zur Generierung neuer/ergänzender Handlungsfelder. Der als Handlungsbedarf im Handlungsfeld zu hinterlegende Handlungsrahmen ist als Kernstück moderner Anforderungsprofile gegenüber der Elektroenergiequalität aller Nutzer des Elektroenergiegeschäftes zu sehen. Der Handlungsrahmen stellt nicht nur eine Herausforderung für die bilateralen Partner eines Netzanschlusspunktes (PCC) dar, sondern auch eine Chance die Elektroenergiequalität als Dienstleistung zum Elektroenergiekunden einvernehmlich, d.h. als Abstimmung zum Bedarf am Produkt, technisch, technologisch und ökonomisch zu regulieren.

3 Elektroenergieversorgungsnetz

3.1 Neuordnung des Geschäfts

Der durch das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) vom April 1998 /8/ von Grund auf neu geprägte Markt für EE nutzt die Trennung einst ganzheitlich geprägter Strukturen im monopolistischen Ausmaß um Gebilde zu schaffen, die vom freien Waren- und Leistungsverkehr geprägt sind. Der in Abschnitt 1 als Liberalisierung des Energiegeschäftes bereits zitierte Vorgang zeigt die Trennung der EE in Teilbereiche, wie Erzeugung, Transport und Dienstleistung. Hier gilt es gegenüber dem/den Kunde(n) ein in der Vergangenheit all umfassend gehandhabtes Produkt den neuen marktwirtschaftlichen Gegebenheiten anzupassen. Unter marktwirtschaftlichen Gegebenheiten versteht man hier insbesondere den funktionalen Faktor zwischen Bedarf und Nachfrage einer einst ganzheitlich über ein Gebietsmonopol vertriebenen Ware EE mit Produktbestandteilen.

Betrachtet man das seinerzeit global gehandhabte Segment der Versorgungsqualität (Abschnitt 2.4.4.2) zeigt hier vor allem die Liberalisierung der Elektroenergiegeschäfte differenziertere Züge. Je nach Geschäftsbereich EE, Bild 4.1, signalisiert zumindest der Geschäftsverantwortliche im Bereich Erzeugung und Transports, dass die Handhabung des Produkts EE primär als Gebrauchsartikel ausgerichtet ist, d.h. verstärkt unter dem Aspekt der Sicherheit und Zuverlässigkeit zu sehen ist. Versorgungszu-

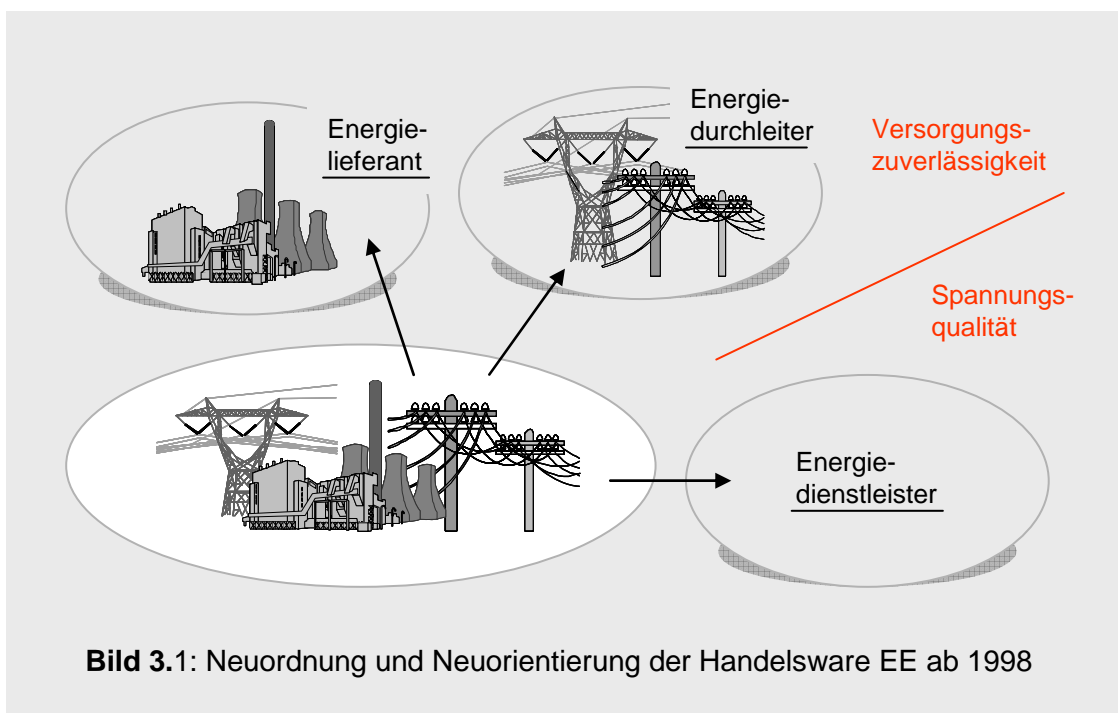


Bild 3.1: Neuordnung und Neuorientierung der Handelsware EE ab 1998

lässigkeit, nach Bild 2.20, Abschnitt 2.4.4.2, dort hinterlegt als halten der Spannung, halten der Frequenz, Versorgungswiederaufbau und Betriebsführung, repräsentiert das zukünftige Bestreben der Hauptakteure des Elektroenergiegeschäftes den Qualitätsindex (Q-Index) als Qualitätsfaktor mit Warenmerkmalen zu belegen. Im Sprachgebrauch sind das die Grenzwertmerkmale einer ca.- und / oder etwa- Wertangabe.

Eine Zweiteilung des Verantwortungsbereichs entlang der Versorgungskette entsteht, die den Qualitätsindex ganz elegant in Qualitätsklassen des Bedarfs gliedert. Vom Autor als standardisierte Klasse, oder Einheitsklasse bezeichnete, kennzeichnet die Grund- oder Standardklasse die Stabilitäts- und Sicherheitskriterien – analog der Zuordnung aus Abschnitt 2.4.4.2 – als Elektroenergiequalität mit Mindestmerkmalen. Hinterlegt in der DIN EN 50160 als Merkmale der Versorgungsspannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen entspricht sie dem Q-Index „ α “ nach der Definition des Autors in Abschnitt 2.3.4.2. Differenzielle Klassen, d.h. Qualitätsklassen der Elektroenergiequalität mit erhöhtem Qualitätsanspruch gegenüber der momentan gängigen Elektroenergiequalitätsbetrachtung nach DIN EN 50160 – vom Autor mit dem Q-Index „ β “ bezeichnet – sind von der Industrie im Elektroenergieliefer- und Netzanschlussvertrag getrennt zu verhandeln.

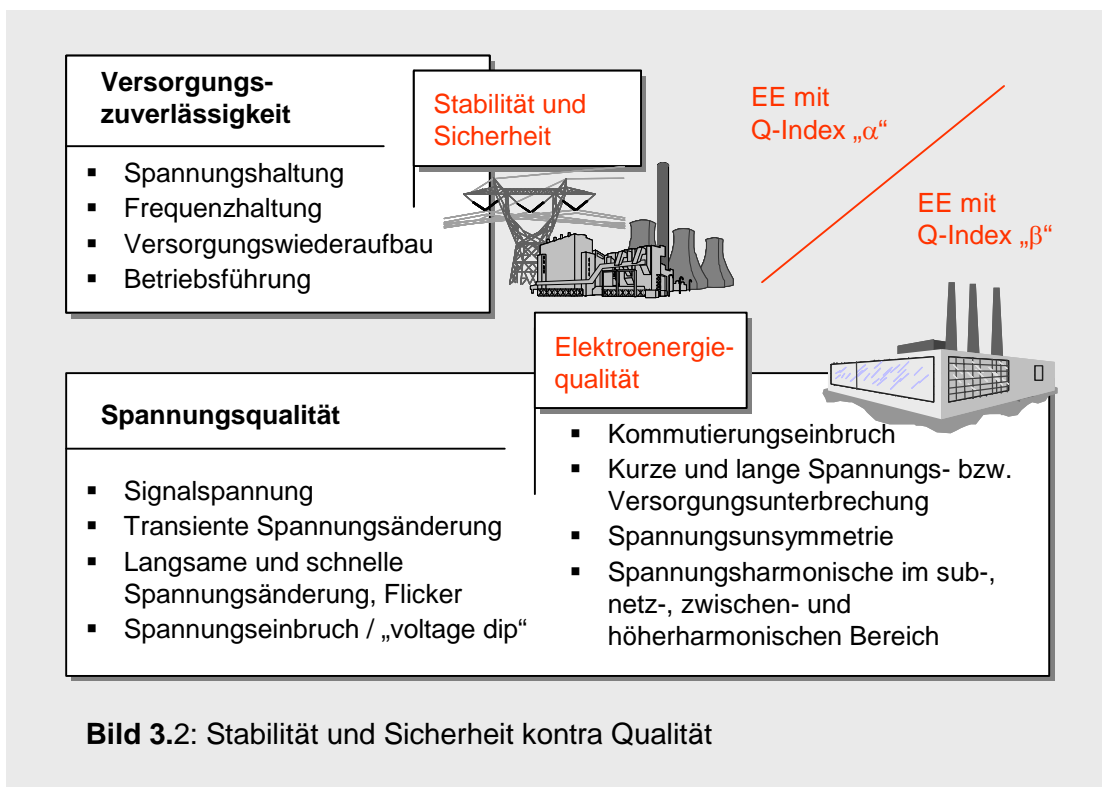


Bild 3.2: Stabilität und Sicherheit kontra Qualität

Versorgungszuverlässigkeit kontra Spannungsqualität, in Bild 4.2 zur Konkretisierung zweigeteilt mit roter Schrift hervorgehoben, wird zum Zweck der Abwicklung am Objekt momentan noch über die Verbändevereinbarung Strom II plus (VV Strom II plus) /45/ von allen Verbandsorganisationen im Bereich EE so gehandhabt. Als übergeordnete Sprecher einzelner Kategorien von Netzpartnern im Elektroenergieerzeugungs- und –versorgungsgeschäft bildeten Verbandsorganisationen, wie der

- Bundesverband der Deutschen Energie e.V. - BDI, Berlin,
- VIK Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V., Essen,
- Verband der Elektrizitätswirtschaft – VDEW - e.V., Berlin,
- Verband der Netzbetreiber – VDN - e.V. beim VDEW e.V., Berlin,
- Arbeitsgemeinschaft regionaler Energieversorgungs-Unternehmen - ARE - e.V.,
- Verband kommunaler Unternehmen – VKU - e.V., Köln,

eine, für alle Nutzer des Transportnetzes bindende Nutzungsvereinbarung. Als Umsetzungsinstrumentarium der im EnWG rechtskräftig definierten Öffnung des nationalen Energiemarktes, ist die Übernahme der Verbändevereinbarung VV Strom II plus als Arbeitsgrundlage, d.h. Rechtspapier für die in Aufbau befindliche Regulierungsbehörde für Energie ein stetes Diskussionsthema. Hier gilt es vor allem den immer noch vorherrschenden Lobbyismus der Elektroenergiedurchleiter in liberalere Bahnen zu lenken. Vor allem die zeitgleich zur Umsetzung des Energiewirtschaftsgesetzes unter dem Titel „Verbändevereinbarung Strom“ publizierte, bidirektional wirkende Verfahrensabstimmung stellt hier den Leistungsumfang gegenüber dem Q-Index „ α “ bereits 1998 auf eine allseits akzeptierte Stufe, d.h. in den Vordergrund des Elektroenergie-transportes. Das Ziel der Spannungs- und Frequenzhaltung repräsentiert hier vor allem die inhaltlichen Ziele des Energiewirtschaftsgesetzes nach Artikel 6, Abs. 1 EnWG, den so genannten Netzzugang DRITTER im Sinne eines freien, gebiets- bzw. grenzüberschreitenden Energiehandels an der/den einzelnen Koppelstelle(n) im EES als bindende Größe im Elektroenergiehandel ab.

Der Vor-Ort an der, bzw. den Schnittstelle(n) im öffentlichen Versorgungsnetz geltende, und zwischen öffentlichem und nichtöffentlichem Netzbereich gültig vorherrschenden Qualitätsindex „ α oder β_1, β_2 “ zum EES wird reguliert, bzw. reglementiert durch:

- den Elektrizitätsliefervertrag,
- den Netzdurchleitungsvertrag,
- den Netzanschlussvertrag.

3.2 Vertragsbindung zum Kunden

3.2.1 Netzanschlussvertrag

Der Netzanschlussvertrag beschreibt als Dokument die netztechnische Anschlussbedingung von und zum Endkunden am physikalischen Netzanschluss- / Netzübergabepunkt (PCC). Er umschreibt Elemente, wie Eigentumsgrenzen, Betriebsführungskonzepte, Wiederversorgungsszenarien und -reglementarien, Kenngrößen zum Übertragungsprodukt, in der Spannungshöhe, der Frequenz und der maximalen Bezugsleistung. Mit Hardwareelementen in Form von Transformatoren, Kabeln, Schaltern oder Sicherungen – als zu betrachtende Trennelemente der Zuständigkeit in der Regel zum öffentlichen Netz des Vor-Ort wirkenden Flächenversorgers technologisch vollzogen – ist der Grundstückseigentümer oder dessen Mieter bzw. Pächter dieser Trennstelle der unmittelbare Vertragspartner des Netzanschlusspartners. Er bestimmt mit dem Vertrag über Art und Weise des physikalisch-technischen Austausches von EE im EES am PCC des Kunden. Durch die Verwendung von Musterverträge, wie beispielsweise die des VIK (Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V.), ist der Qualitätsindikator einer Versorgungssicherheit in Industrie, Gewerbe und Privatbereich zur Zeit standardisiert auf den Q-Index „ α “. Der mancherorts vom Prozess aus differenziert geforderter Qualitätsindex „ β “ bleibt davon unberührt. Im Sinne der Verbindlichkeit einer elektrotechnischen Schnittstelle ist stets der minimal verfügbare Q-Index maßgebend. In dem vom Autor betrachteten industriellen Unternehmen regelt den bestimmenden Q-Index das Vertragskonstrukt im Netzanschlussvertrag, dort eingetragen als:

etwa 20 kV, ca. 50 Hz

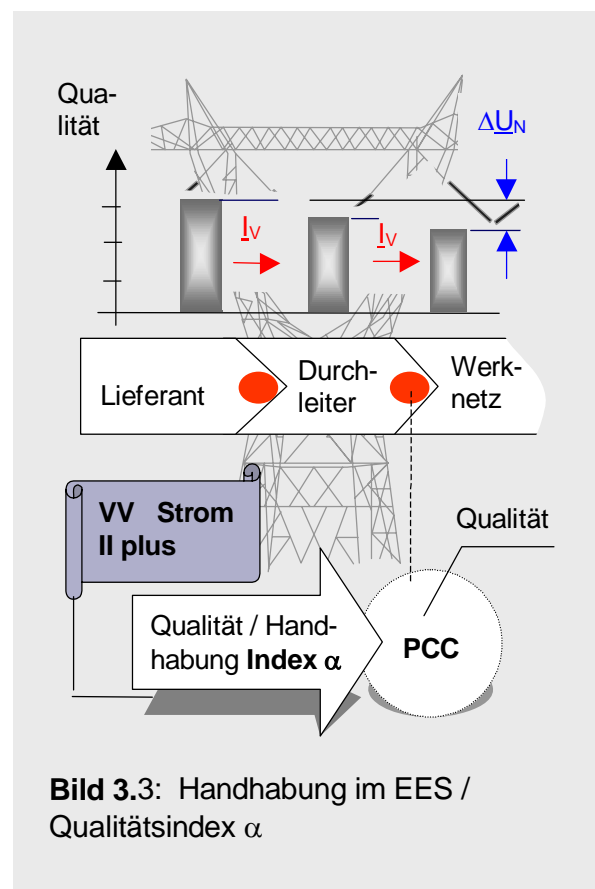


Bild 3.3: Handhabung im EES / Qualitätsindex α

Maßnahmen zur Erreichung einer bestimmten innerbetrieblichen Qualitätsstufe nach Q-Index „ β “ – am Beispiel der Qualitätsstufung im EES, Abschnitt 2.4.4.1, äquivalent der Tabelle 2-6 und Tabelle 2-7 – ist vom Elektroenergiekunde als Abnehmer des Produkts EE der Bedarf selbst bereitzustellen, respektive durch erweiterte Technik anzupassen. Die Handhabung im öffentlichen Elektroenergieversorgungssystem erfolgt ausschließlich nach den Festlegungen der VV Strom II plus. Eine darüber hinausgehende rechtliche Handhabe hat der Elektroenergiekunde ohne Zusatzdefinition im Elektrizitätsliefer- und/oder Netzanschlussvertrag nicht.

3.2.2 Elektrizitätsliefervertrag

Vor der Liberalisierung war der Netzanschlusspartner (Elektroenergieversorger) der ganzheitliche Partner der den Elektroenergiekunden über den Elektrizitätsliefer- und Netzanschlussvertrag mit EE in benötigter Quantität und ausreichender Qualität – auch ohne vertraglichen Kontext zum Q-Index „ β “ – versorgte. Der Elektrizitätsliefervertrag – gelegentlich im privaten, gewerblichen und/oder industriellen Umfeld als Stromliefervertrag bezeichnet – war wie der Netzanschlussvertrag ein Vertragsgebilde von und zum Kunden, das den Kunden als All-inclusive-Kunde umgab. Der vor der Liberalisierung stets zum Kunden ausgerichtete lokale oder regionale Flächenversorger sorgte durch Eigenerzeugung oder Fremdbezug über so genannte Netzdurchleitungsverträge mit Drittlieferanten immer für eine ausgeglichene Bilanz an EE am kundeneigenen Netzanschlusspunkt. Hier gleicht der Netzbetreiber durch Ankauf und Verkauf, d.h. durch ein entsprechend gehandhabtes Bereitstellungsmanagement prinzipiell unter dem Gesichtspunkt der Versorgungszuverlässigkeit (Q-Index „ α “) die benötigten Differenzgrößen aus. Q-Index „ β “, ein vor der Marktöffnung hoch gepriesener Indikator für die Ingenieurskunst deutscher Netze, wird durch weitergehende Maßnahmen zur Kostendämpfung in seinem Qualitätsband zum Kunden als Nutzer EE stetig gesenkt. Weiter verstärkt die Absenkung des Qualitätsbandes vor allem die in die Netze ungehemmt einfließende Störbelastung technischer und technologischer Elektroenergieabnehmer im privaten, gewerblichen und industriellen Umfeld. Die veränderte Bindung zum Kunden verändert folgend auch den Sprachraum um das Medium EE. Der Begriff der Handelsware für das Produkt der EE entstand, das in seiner Vorgehensweise die Rahmenparameter der Elektroenergiequalität im Elektroenergieversorgungsnetz nicht nach technischen, sondern nach marktwirtschaftlichen Gesichtspunkten widerspiegelt.

Doch eines blieb beim Alten und das ist qualitätsentscheidend. Der physikalische Anschlusspunkt des Netzkunden, als qualitätsbildendes Element dem Netzkunden nur bedingt bekannt, ist und bleibt weiter Bestandteil des örtlichen Netzbetreibers, gesehen als lokaler Flächenversorger. Wechselt ein Netzkunde im Rahmen seiner neuen Möglichkeit den Lieferanten an EE, so verändert er nicht nur die wirtschaftliche Marge durch attraktivere Bezugspreise, sondern auch die Verbindlichkeit zur Produktverantwortung zur EE. Der neue, unerwartet günstige Versorgungspartner handelte nach dem Prinzip Q-Index „ α “ der Verbändevereinbarung VV Strom II plus, d.h. Sicherheit und Stabilität der Versorgung. Sein Vertragskonstrukt zum Netzbetreiber des Netzkunden (ehemaliger Altversorger mit physikalischem Netzanschluss zum Kunden) unterliegt als reiner Transporteur analogen Verpflichtungen, d.h. der Konditionierung am Produkt EE nach Q-Index „ α “ mit den Bestandteilen der Spannung- und Frequenzhaltung, des Versorgungswiederaufbaus und der Betriebsführung, und muss entsprechend rational handeln. Für die Wahrung eines ordentlichen Qualitätsstandards von EE über den Q-Index „ α “ hinaus, d.h. Elektroenergiequalität nach Q-Index „ β “, gibt es für den direkten Netzanschlusspartner zum Netzkunden keinen finanziellen Ausgleich, d.h. keinen nachvollziehbaren Anreiz mehr zu leisten als notwendig.

Das Resultat ist: Eingebunden im Vertragskontext der Verbände reguliert hier die Entgeltsituation beim Netzanschlusspartner nicht mehr der Kunde, sondern der Energielieferant nach festen Entgeltsätzen der VV Strom II plus, so zu sehen in Cent pro übertragene kWh nach Qualitätsmaßstab Q-Index „ α “. Der in gewisser Art und Weise degradierte Altlieferant hat – gegenüber der Situation vor der Liberalisierung – keine Kundenbindung mehr. Das Bestreben des Netzkunden den Qualitätsindex „ β “ am PCC gegenüber dem Netzbetreiber zu platzieren bedeutet für den Netzbetreiber mit dem physikalischen Anschlusspunkt zum Netzkunden ein mehr an Kosten, das mit dem momentanen Entgelt durch die VV Strom II plus nicht abgegolten ist.

Chance und Risiko bietet ein, vom Autor im Vertragskontext des Elektrizitätsliefervertrages eingebundener Passus, der das Entgelt am Produkt EE nach Klassen der Nutzbarkeit am Netzanschlusspunkt des Netzkunden (Elektroenergiequalität mit Q-Index „ b_1, b_2, \dots, b_x “) festlegt. Analog Tabelle 3-1 entstehen Kostengruppen, die je nach vereinbartem und vorherrschendem Qualitätsindex einen Abstrich am Preis der Bezugsleistung zu Gunsten der qualitativen Bereitstellung am Standardprodukt EE nach DIN EN 50160 durch den Netzbetreiber vorsieht.

Elektroenergiekunde	Kostengruppe A	Qualitätsindex β
	Qualitätsindex α (Versorgungszuverlässigkeit)	Kostengruppe B C D E
Elektroenergieliefervertrag	Preis der Bezugsleistung in Cent/kWh -> Preis 1	-----
Netzanschlussvertrag (physikalischer Netzanschlusspunkt)	Preis des Netzanschlusspunktes über die Bezugsleistung Q-Index „ α “ -> Preis 2 (P 2)	Preis für Qualität „elektrischer Energie“ nach Bedarf des Kunden -> Preis 3 (P 3)

Tabelle 3-1

$$\text{Summenpreis} = (P 1 - x \% P 3) + (P 2 + P 3)$$

Eine Miteinbindung des Elektroenergielieferanten in die Problematiken um die Schnittstelle zwischen Elektroenergieabnehmer und Elektroenergiekunde des Elektroenergiekunden entsteht dahingehend, dass der Kunde des Warenprodukts EE, den in Tabelle 3-1 mit Preis 3 bezeichneten Leistungsumfang zum Teil mit Preis 1 des Lieferanten von EE verrechnet. Die vom Autor als Chance bezeichnete Maßnahme ermöglicht es dem Netzkunden spezifizierte Elektroenergiequalität aus dem Elektroenergieversorgungsnetz zu ordern, und den Netzbetreiber dafür gebührend zu entlohnen. Als Risiko werden gewisse Netzanschlusspartner betrachtet, die durch die Wahl netztechnischer Maßnahmen – Beispiel: Minderung der Netzkurzschlussleistung am Übergabepunkt zum Netzkunden – eine bewusste oder unbewusste Elektroenergiequalitätsänderung zum eigenen Wohle generieren.

3.3 Rechtssicht zur Qualität im EES

Die Rechtssicht zur Qualität im Elektroenergieversorgungsnetz ist eindeutig. Der Elektroenergieversorger setzt im EES auf Aspekte die vom Autor in Abschnitt 2.4.4.2 mit dem Q-Index „ α “ bezeichnet wurden. Dieses sieht z.B. auch so das Landgericht Frankfurt an der Oder im Urteil in Berufungsinstanz /42/ zur Sachlage qualitativer Differenzen im Bereich der Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer. Das dort klagende Unternehmen akzeptierte nicht den direkten Zusammenhang zwischen der am Netzübergabepunkt durch den Netzbetreiber bereitgestellten Elektroenergiequalität und der im innerbetrieblichen Prozessablauf auftretenden Qualitätsbeeinträchtigung.

Gefordert wurde vom klagenden Unternehmen eine Anhebung der Elektroenergiequalität, d.h. eine Absenkung der am Einspeisepunkt vorherrschenden Störgröße. Nach Schema des Autors bedingt der vorliegende Fall eine Anhebung des Q-Index „ α “ des Elektroenergieversorgers auf die Bedürfnisse des Elektroenergieabnehmers nach Q-Index „ β “.

Vom Landgericht Frankfurt an der Oder galt es daher zu entscheiden ob ein Netzkunde ein Anrecht darauf hat eine, vom Qualitätsindex der Versorgungssicherheit mit Mindestmerkmalen einer Versorgungsspannung nach DIN EN 50160 abweichenden Qualitätsinhalt auch zur Absicherung eigener Arbeitsplätzen vom Elektroenergieversorger (lokaler Netzbetreiber) bindend abzufordern. Für das Gericht kam erschwerend hinzu, dass das klagende Unternehmen das Störphänomen (schnelle Spannungsänderungen, sichtbar als Flicker) nicht selbst produzierte, sondern von Dritten aus dem vor- und nachgelagerten öffentlichen Elektroenergieversorgungsnetz ins nichtöffentliche Werknetz des klagenden Unternehmens eingekoppelt wurde.

Die Berufung der Klage am Landgericht Frankfurt an der Oder gegen das Ersturteil des Amtsgerichts Fürstenwalde /41/ wurde abgewiesen. Das Urteil in Berufungsinstanz stützt sich auf Entscheidungsinhalte der Verordnung über die allgemeinen Bedingungen für die Elektrizitätsversorgung von Tarifkunden (AVBEltV) und begründet die Entscheidung gegen den Kläger wie folgt, Zitat:

Entscheidungsgründe – Abschnitt 2: Der Anspruch der Kläger auf Belieferung mit Strom richtet sich hinsichtlich der Qualität des Stroms nach §4I,IV S.1, 2 AVBEltV. Nach §4I AVBEltV kann der Kunde eines Stromvertrages lediglich beanspruchen, dass die Stromspannung etwa 220 Volt, die Frequenz etwa 50 Hz beträgt. Die Angabe „etwa“ stellt eine Leistungsbeschreibung im Sinne der Anerkennung eines gewissen vertraglich zulässigen Schwankungsbereichs dar. Grund dieser Einschränkung der vertraglichen Leistungsverpflichtung des Unternehmens ist es, dass eine vollständig gleich bleibende Versorgung mit Strom technisch nicht möglich und auch nicht anzustreben ist. Zu betrachten ist nämlich das Verhältnis zwischen dem Aufwand und der dadurch erzielbaren Verbesserung der Spannungs- und Frequenzhaltung. Energieversorgungsunternehmen sind nicht zur Einhaltung eines möglichst hohen technischen Standards verpflichtet, sondern müssen die Energieversorgung möglichst preisgünstig gewährleisten.

3.4 Fazit – Vertragskonstrukt im EES

In Abschnitt 3 wird sichtbar, dass das Elektroenergiesystem qualitative Risiken, vor allem in der Vertragsgestaltung und Vertragshandhabung zwischen Elektroenergiekunde und Elektroenergielieferant enthält, die in so manchem Fall über die Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer quantitative Beeinflussungen beim Elektroenergiekunden hervorrufen kann. Schützen kann man sich nur durch die konsequente Einbindung von Qualitätskriterien der Indexklasse „β“ auch in die Vertragskonstellationen neuer Verträge. Ein unter marktwirtschaftlichen Gesichtspunkten gesicherter Betrieb von Elektroenergieabnehmern an der Schnittstelle zum Elektroenergieversorgungsnetz muss daher fähig sein das Zusammenspiel unterschiedlichster Netzbenutzer, mit voneinander differenzierenden Übertragungs-, Verteilungs- und Verbrauchsverhalten, allzeit abzudecken. Dazu gehört vor allem die Notwendigkeit der Schaffung von Regeln und Richtlinien die von allen Beteiligten zur Grundlage ihres gemeinschaftlichen, d.h. bilateralen Handelns, respektive Wirkens an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer zu nutzen sind.

Reicht der Qualitätsanspruch der Versorgungssicherheit zur Wahrung innerbetrieblicher Qualitätsanforderungen nicht mehr aus (Beispiel industrieller Kunden in der Rechtssicht zur Qualität im EES nach Abschnitt 3.3), ist der Kunde und nicht der Lieferant des Produkts EE gefordert geeignete Maßnahmen zur Qualitätsabsicherung zu ergreifen. Technische Regeln und Standards sind dabei Mittel und Werkzeuge für die Sicherstellung der Anforderung der Elektroenergieabnehmer gegenüber dem Elektroenergieversorgungsnetz die einer klareren Definition in ihrem Umgang und in ihrer Handhabung im Elektroenergiesystem der Zukunft bedarf. So zu sehen ist diese Art der kompatiblen Abstimmung vor allem unter dem Aspekt der Nutzung qualitativer Verbindlichkeiten als markantes Eckelement zur Verifizierung von Differenzen auch unter der rechtsverbindlichen Sichtweise der nachstehenden Produktion, d.h. der Nutzung des Produkts EE. Die Sensibilisierung ist gegeben, die Umsetzung am Objekt, d.h. am Elektroenergieabnehmer noch offen.

4 Elektroenergieabnehmer

4.1 Regeln und Richtlinien im Wirtschaftsraum der EG

Wirtschaftsräume, so auch die der „Europäischen Gemeinschaft“ (EG), bedingen Normen und Richtlinien zu ihrer Handhabung. Ein An- und Abgleichen bestehender nationaler Reglementierungen in der neu sich ausbildenden Freihandelszone der Europäischen Union (EU) war notwendig. Als Harmonisierung von Rechtsvorschriften bezeichnet, galt es zwischen den Mitgliedsstaaten einen gemeinschaftlich tragfähigen Konsens zu bilden. Zu diesem Zweck übertrug die „Europäische Kommission“ dem „Europäischen Normensetzer“ CENELEC das Mandat zur EU-weiten Vereinheitlichung. Als Ersteller anerkannter Regeln der Technik stand sein Fokus nach Vorgabe der EU in der Wahrung der Sicherheit von Maschinen und Geräten gegenüber dem Betrieb und der Benutzung durch Personen jeglicher Art. Bei der Verpflichtung bezog sich CENELEC auf die Kreierung eines Werkzeuges, das eine rechtsstaatliche Anforderung als bindende Umsetzung an Hersteller und an Betreiber gleichermaßen zu Grunde legte. Allgemeine Sorgfallspflicht, Produkthaftungsgesetz, allgemeine Produktsicherheit, Gerätesicherheitsgesetz, Gesetz zur elektromagnetischen Verträglichkeit, alles Bestandteile einer Strategie zum Wohle des Endnutzers.

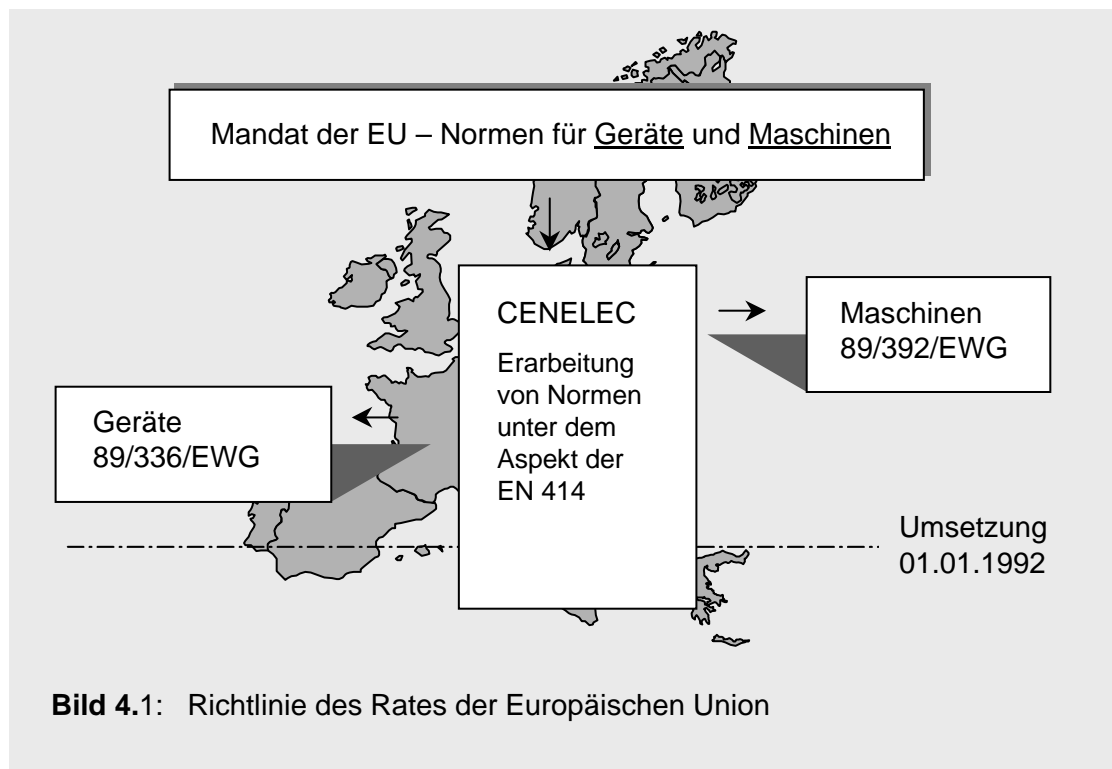


Bild 4.1: Richtlinie des Rates der Europäischen Union

Für beide Normenpakete, die der Geräte (EG-EMV-Richtlinie 89/336/EWG /47/) und die der Maschinen (EG-Maschinen-Richtlinie 89/392/EWG /48/), verpflichteten sich die Mitgliedsstaaten nationale Rechtsvorschriften zur Umsetzung dieser Schutzziele bis zum 1. Juli 1991 nicht nur auf nationaler (einzelstaatlicher) Ebene zu erlassen, sondern sie bereits ab dem 01. Januar 1992 auch innerhalb der „Europäischen Freihandelszone“ anzuwenden. Bild 4.1 zeigt die Rechtsgrundlage in ihrer Strategie zu Geräten und Maschinen als das Mandat der „Europäischen Union“.

Im Zuge der Vorbereitung zur EU-Mandats-Umsetzung sah man sich bei CENELEC gezwungen diese Schutzziele als „Anforderung zur Abfassung und Gestaltung“ auch innerhalb der Geschäftsordnung des europäischen Normensetzers als Satzung zu etablieren /9/ (Leitfaden für die Aufnahme von Sicherheitsaspekten in Normen).

Grund war: CENELEC, der europäische Harmonisierer nach Bild 4.2, hatte in diesem Sinne auch verpflichtende Bedeutung für die einzelstaatlichen Normensetzer, z.B. den der „Deutschen Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik“ (DKE) im DIN und VDE.

National und international eingeteilt stellt die Normenstruktur nach Bild 4.2 drei Ebenen dar:

- IEC mit weltweiter, empfehlender Bedeutung;
- CENELEC mit europäischer, zur Harmonisierung verpflichteter Bedeutung;
- DKE als nationale Ebene für Deutschland.

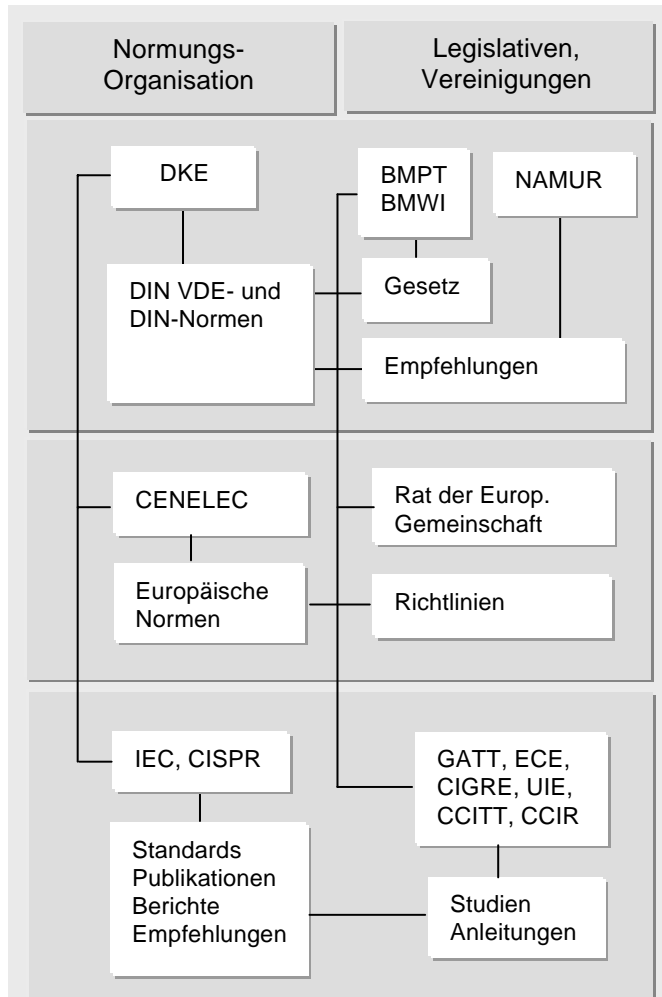


Bild 4.2: Ebenen der Normgesetzgeber und der Legislativen

Mit der Schaffung der DIN EN 414:1992-4, der heute aktuellen Version DIN EN 414:2000-10 /12/, entstand die von der EU geforderte Schutzzielanforderung von Maschinen und Geräten in ihrer Erstausgabe. Bereits gestützt auf der Entwurfsfassung der DIN EN 414 von 1990, verabschiedete die EU im November 1991 die EG-Richtlinie zur Sicherheit von Maschinen (EG-Maschinen-Richtlinie 89/392/EWG /48/), im Juli 1992 die Richtlinie zur Sicherheit von Geräten (EG-EMV-Richtlinie 89/336/EWG /47/). Bindendes Element am Standort Deutschland ist für die EG-Maschinen-Richtlinie das Gerätesicherheitsgesetz (GSG), für die EG-EMV-Richtlinie das Gesetz zur elektromagnetischen Verträglichkeit (EMVG).

4.2 EG-EMV-Richtlinie, Rechtsvorschrift für Geräte

Die EG-EMV-Richtlinie 89/336/EWG, eine Rechtsvorschrift für Geräte, verpflichtet als nationales Rechtsgebilde seit 1992 den Industriestandort Deutschland zur Anwendung harmonisierter Schutzzielanforderungen auch im Umfeld von Geräten (Definition Gerät: Apparat, System, Anlage und Netz). Das Thema Netz, als Gerät unbemerkt in seiner Konsequenz zu Industrie und Gewerbe in der 2. Neuauflage des deutschen EMV-Gesetzes vom 18. September 1998 als Schutzziel mit aufgenommen, erzeugt 2004 im Ergebnis gegenüber der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer eine Perspektive, welche die Thematisierung der Qualität am Produkt EE in den Fokus der Verpflichtung zum Betrieb setzt – doch dazu später. Zu aller erst galt es mit dem Ratsbeschluss von Mai 1998 (89/336/EWG) die Ziele der Schutzfunktion als Richtlinie zur elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) mit Stichtag 01. Januar 1992 in nationales Recht zu wandeln. Als Gesetz zur elektromagnetischen Verträglichkeit von Geräten konzipiert (kurz EMVG /7/), verabschiedete der deutsche Bundestag den Gesetzentwurf am 09. November 1992.

4.2.1 Gesetzlicher Rahmen der Einbindung

Mit der Inkraftsetzung des EMVG durch die Veröffentlichung des Gesetzestextes im Bundesgesetzblatt am 14. November 1992 war zwar der rechtsstaatliche Akt abgeschlossen, doch die erhoffte zügige Umsetzung zum EMVG blieb nicht nur auf nationaler Ebene aus. Stattdessen erwirkten die EU-Mitgliedstaaten mit dem Änderungsantrag 92/31/EWG /50/ bereits am 28. April 1992 einen, bis zum 31. Dezember befristeten Aufschub bei der Anwendung des EMVG. Als Grund der Verschiebung im Be-

reich nationaler Einbindung sah man die Probleme beim Harmonisierer CENELEC. Das bis dato von CENELEC nur bruchstückhaft zur Verfügung gestellte Normenkaster ließ ein globales Handeln nur unzureichend zu. In der Pflicht einen Leitfaden anzuwenden, der bei richtiger Nutzung Hindernisse und Schwierigkeiten für den freien Handel (freier Verkehr) von Waren im europäischen Wirtschaftsraum (EWR) beseitigen sollte, musste CENELEC akzeptieren, dass die Grundvoraussetzungen einer einheitlichen Handhabung noch zu oberflächlich waren, d.h. die in den EMV-Forumsitzenden einzelstaatlichen Funktionäre in ihrer Außendarstellung noch zu weit voneinander entfernt standen. Die Uneinigkeit war groß. Noch galt es die wichtigsten Marktteilnehmer, wie Hersteller von Wirtschaftsgütern, ihren Wirtschaftsverbänden, die für die Ausarbeitung von Normen zuständigen Stellen verstärkter, d.h. direkt mit einzubinden um den erhofften Effekt der Akzeptanz auch zu erzielen. Das galt für den normativen Inhalt ebenso, wie für dessen volkswirtschaftliches Abbild in der EU.

Gebunden an einzelstaatliche Richtlinien beschreibt das Gesetz zur elektromagnetischen Verträglichkeit (EMVG) nicht nur den Schutz von Geräten gegenüber dem Nutzer, sondern gleichzeitig auch die Gewährleistung der Verträglichkeit beim Betrieb gegenüber Störungen leitungs- und feldgebundener Art. Rückblickend auf Abschnitt 2.3 (Störsignale als Störphänomene allgemein und spezifisch – 2.3.1, 2.3.2 / Störphänomen als Signalmodell 2.3.3 / Signalmodell im EES – 2.3.4) kann das dort erarbeitete Modell der Elektroenergiequalität (EEQ) als Grundlage weitgehender Betrachtungen genutzt werden. Äquivalent Abschnitt 3 (Elektroenergieversorgungsnetz) gilt es vor allem das Bedarfsspektrum der Elektroenergieabnehmer als Gerät(e) und/oder Maschine(n) zu analysieren um Eckelemente einer Nutzungsvorgabe in die Beschreibung der EEQ an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer mit einzubinden. Zu diesem Zweck nutzt man das internationale Erscheinungsbild der Schnittstelle unter Gesichtspunkten der Kompatibilität zur elektrotechnischen Grundgröße (periodische Grundschiwingung in Spannung und Strom) um über die davon abweichenden Inhalte (Störsignale als Störphänomene allgemeiner (Abschnitt 2.3.1) und spezifischer (Abschnitt 2.3.2) Art detailliertere Kompatibilitätsbetrachtungen vorzunehmen. Elektromagnetische Kompatibilität (EMC - electromagnetic compatibility) macht vor allem mit der Wortwahl der „KOMPATIBILITÄT“ zu Spannungen (electro-) und Strömen (-magnetic) den Querverweis zu energetischen Strukturen mit differenten Nutzern deutlich. Dazu zählt vor allem die Trennstellen zwischen dem Elektroenergieversorgungsnetz und dem/den Elektro-

energieabnehmer(n). Hier hat der Fokus der Betrachtung um die EMC den konformen, d.h. den verbindlichen Abgleich zwischen der durch die Übertragung des Produkts EE im Elektroenergieversorgungsnetz vorherrschenden, und der vom Elektroenergieabnehmer verkraftbaren Elektroenergiequalität zu beschreiben.

Kompatibilität – im deutschen Sprachgebrauch „Verträglichkeit“ – steht am Ende der Wirkungskette und ist für die technische- und technologische Verbindlichkeit bilateral wirkender Strukturen und/oder Komponenten verantwortlich. Diese Verbindlichkeit ist stets zu sehen unter dem Aspekt von Quelle und Senke, beispielsweise der Störphänomene nach Abschnitt 2.3.2.1 bis 2.3.2.8. Ein derart diffiziles Handlungsfeld an einer Schnittstelle mit unterschiedlichsten Nutzern bedarf einer strukturierten Vorgehensweise. Für den Nutzer von Elektroenergieabnehmern, wie Geräten und/oder Maschinen ist es wichtig zu wissen:

Elektromagnetische Verträglichkeit oder elektromagnetische Kompatibilität als internationaler Begriff ist nicht nur auf Industrie oder Gewerbe beschränkt, nein er umspannt auch das private Umfeld der Nutzung elektrischer Geräte.

Bild 4.3 zeigt am Beispiel zum Umfeld den Nutzungshorizont im privaten, gewerblichen und industriellen Bereich, so zu sehen als Handlungsfeld zum EMVG. Hinterlegt ist die Aussage von Bild 4.3 in der Anlage A1 des EMVG. Deklarierbar als Wirkungs-

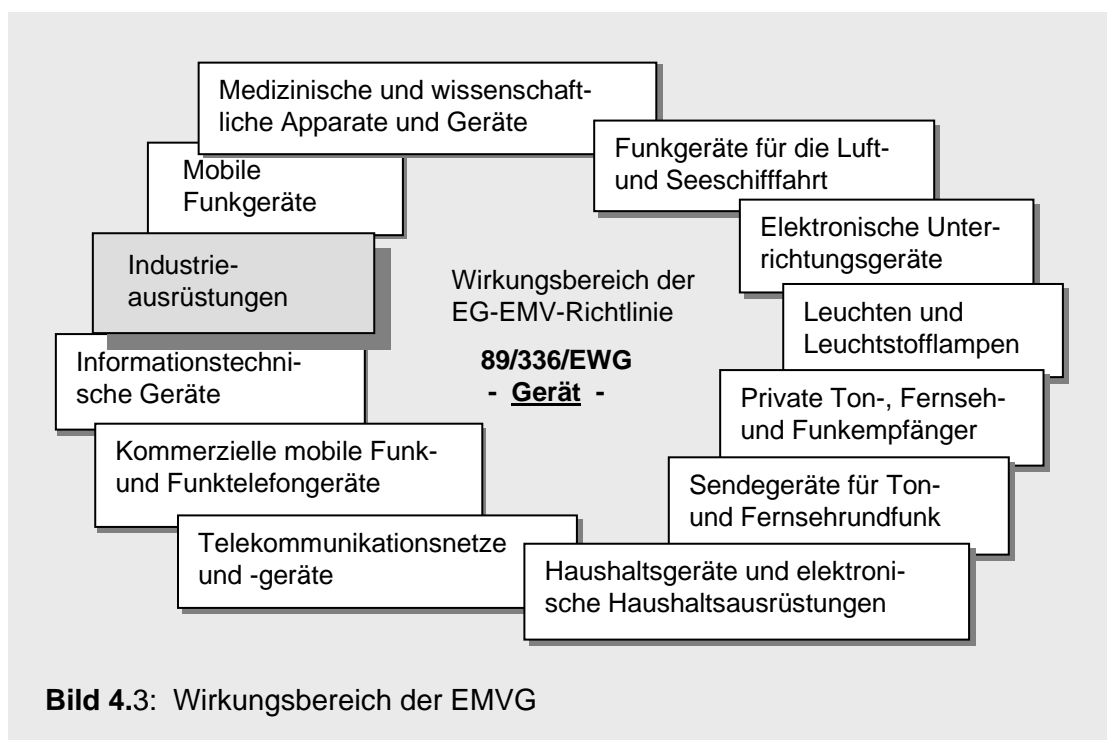


Bild 4.3: Wirkungsbereich der EMVG

horizont oder Wirkungsbereich der EG-EMV-Richtlinie sei der Part der zu betrachtenden Ausrüstung im Industrieunternehmen in seinem Geltungsrahmen als Schnittstelle zwischen Elektroenergieabnehmer und Elektroenergieversorgungsnetz (Umfeld, Umgebung) besonders hervorgehoben.

Fokussiert man sich auf die Umsetzung so bilden Grund- und Fachgrundnorm, auch bezeichnerbar als Vertikal- und Horizontalnorm, die Eckelemente nach Bild 4.4. Ihre Aussage betreffend Beispiel Bild 4.4, der DIN EN 61000, zeigt den Faktor der Umgebung als ein Element der Kompatibilität, z.B. zum Produkt EE im öffentlichen DIN EN 61000-2-2 /20/ und im nichtöffentlichen DIN EN 61000-2-4 /21/ (industriellen) Bereich. Der gezielt angesprochene Verträglichkeitskodex zur Umgebung (Bild 4.4: DIN EN 61000-2 Verträglichkeit, DIN EN 61000-3 Grenzwerte, DIN EN 61000-4 Störfestigkeit, DIN EN 61000-5 Installationsrichtlinie und Abhilfemaßnahmen) zeichnet in den Normen den Rahmen im Einflussbereich zum EMV-Recht ab. Vor allem die Begriffsdefinition Netz, in der 2. Neuauflage des EMVG nach Vorgabe der EU dort direkt eingebunden, gestattet es dem Nutzer, Apparate, Systeme und Anlagen, letztendlich auch industrielle Einrichtungen in ihrem Verbund mit anderen innerbetrieblichen, aber auch außerbetrieblichen Einheiten unter der Grundlage internationaler (ICE 1000 / electromagnetic compatibility – EMC) und nationaler (DIN EN 61000 / Elektromagnetische Verträglichkeit – EMV) Normung zu stellen.

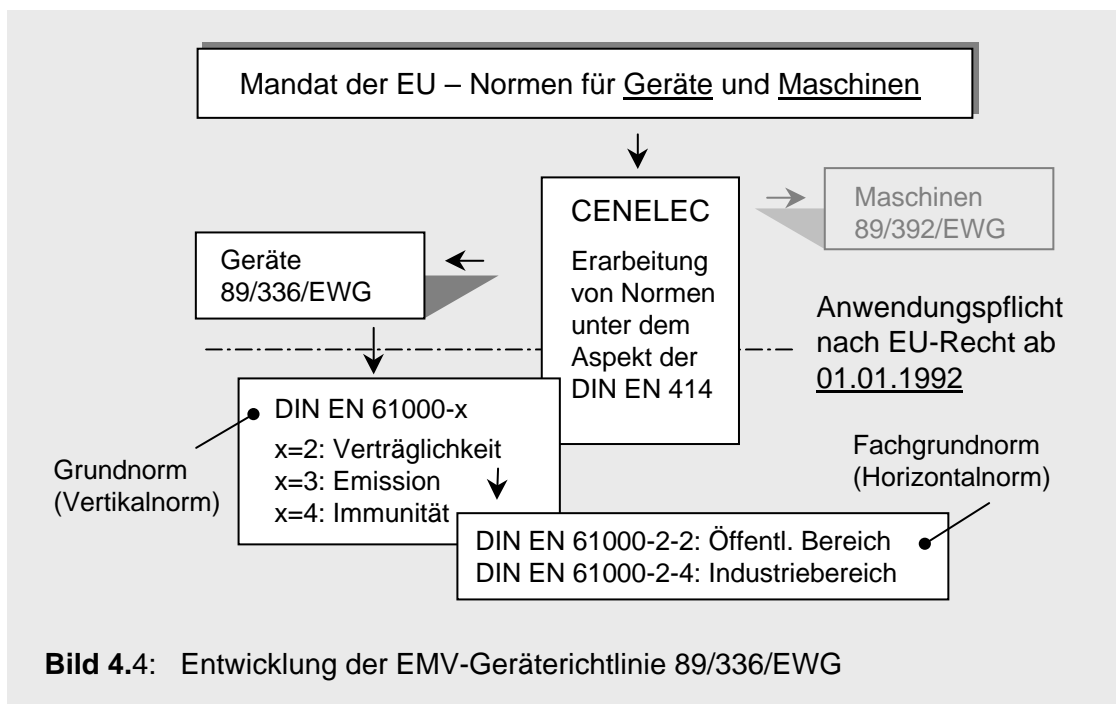


Bild 4.4: Entwicklung der EMV-Geräterichtlinie 89/336/EWG

4.2.2 Fokus Prozessumfeld

Mit der Initiative der Legislative das Umfeld zum Prozess in den Sicherheitskreis der Geräte mit einzubinden, so zeigt die EMV-Richtlinie als Abbild des EMV-Gesetzes eine deutliche Positionierung auch gegenüber dem technisch- und technologischen Verbund von Geräten. Der Verbund von Geräten ist zu betrachten als Einheit, die direkt oder indirekt betroffene elektrische Komponenten, wie Apparate, Systeme, Anlagen, und Bauteile zur Prozessaktivität enthält, aber räumlich nicht an einen Ort gebunden ist (Geräteverbund). Normativ stellt das EMVG mit seinem Inhalt zwar ein Abbild der EMV-Richtlinie dar, doch enthält es auch Vorschriften, die in den EMV-Richtlinien so nicht beschreibbar sind. Dieses hat seine Ursache dahingehend, dass die europäische EMV-Richtlinie keine Regelungen darüber enthält, wer in dem jeweiligen Mitgliedstaat als zuständige Behörde, z.B. für die Ausführung zuständig ist, oder welche Maßnahme bei Zuwiderhandlung gegen die Vorschriften (§ 12 der EMVG – Busgeldvorschrift / § 13 das EMVG – Zwangsgeld) zu ergreifen sind.

Für das EMVG als gesetzlicher Rahmen der elektromagnetischen Verträglichkeit sind zwei Bedingungen zum Prozessumfeld zu erfüllen: Erstens darf die elektrische Einrichtung in ihrer Eigenschaft als Sender (Quelle) keine unzulässigen Emissionen verursachen, zweitens darf die in ihrer Eigenschaft auch als Empfänger (Senke) wirkende, nicht durch äußere elektromagnetische Felder (Immissionen) in ihrer Funktion gestört werden. Die zweite Eigenschaft, die Immunität gegenüber elektromagnetischen Feldern leitungs- und nicht leitungsgebundener Art, wird als Störfestigkeit bezeichnet. In der vorliegenden Dissertation fokussiert sich der Bedarfsfall auf den der leitungsgebundenen Art, bezeichnet als Effekt der Elektroenergiequalität im Elektroenergieversorgungsnetz. Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) in leitungsgebundener Struktur ist dabei nicht nur als Wirkung im industriellen Umfeld allgegenwärtig, man definiert den Faktor der elektromagnetischen Verträglichkeit nach DIN EN 61000-2-4 /21/ ganz allgemein als, Zitat:

....die Fähigkeit einer elektrischen Einrichtung, in ihrer elektromagnetischen Umgebung zufrieden stellend zu funktionieren, ohne diese Umgebung unzulässig zu belasten.

Da mit der Inkraftsetzung von harmonisierten EU-Vorschriften und EN-Normen im Bereich der Mandatsabwicklung (Normen für Geräte und Maschinen) diese seit dem 01.01.1992 sukzessiv an die Stelle einzelstaatlicher Bestimmung (in Deutschland:

DIN-Normen) traten, war und ist noch immer die Überdenkung von Vorgehensweisen im Zeichen des EMVG mit Blick auf den innerbetrieblichen Prozess als DIN-EN-Norm zu überdenken, gegebenenfalls anzupassen. DIN-EN-Normen, ein harmonisierter Bestandteil bereits in der Bezeichnung der Norm (DIN EN) sichtbar, verleiht dem Gesamtsystem ein elementares Unterfangen, oder negiert gesprochen ein elementares Unterlassen von sicherheitsrelevanten Verpflichtungen des Unternehmers oder seines Verantwortlichen, d.h. dem so genannten Prozess- oder Dienstleistungsverantwortlichen.

Diese Art der verpflichtenden Bürde für Industrie und Gewerbe, so zu sehen als direkten Eingriff einzelstaatlicher Strukturen auf innerbetriebliche Prozesse stieß nicht immer auf eine positive Haltung im Bereich der Sprecher dieser Unternehmen (Verbände und Organisationen als Interessensvertreter der Firmen). Selbst die EU hatte da in mancher Beziehung einzelstaatlicher Interpretationen und Umsetzungen ihre Zweifel am zu erreichenden Ziel der Harmonisierung elementarer Normen und Richtlinien. Das Ergebnis war: Die nach der Verschiebung gemäß Änderungsantrag 92/31/EWG /50/, letztendlich am 30. August 1995 veröffentlichte Neufassung des EMVG deutschen Rechts, war bereits kurz nach ihrer Inkraftsetzung in wesentlichen Punkten zu überarbeiten. Als (un-)geschickte Abstimmung zum Gesamtprozess zu sehen enthielt das deutsche EMVG in seiner ersten Ausgabe keinen Querverweis zur Umgebung. Das Gerätesegment NETZ, in der 2. Neuauflage als Element eines Gerätes komplettiert, war und ist ab der Neuauflage im September 1998 für viele Nutzer Neuland. Meist unbeachtet in seiner Konsequenz zu Effekten paralleler Prozesse, wie z.B. die der Liberalisierung des Elektroenergiemarktes (Abschnitt 1.1 – Elektrische Energie im Wandel), öffnete sich eine Pforte der Veränderung, die schleichend aber stetig von statten ging. Das Netz – im vorliegenden Fall das Elektroenergieversorgungsnetz – elementarer Bestand der Sicherheit im Zeichen des EMVG heutigen Stands, nutzt momentan den Preis-Leistungs-Kampf zwischen Versorger und Versorgtem zur kontinuierlichen Verschiebung seiner Qualität – auch ins Negative (Abschnitt 1.3 – Blick über nationale Grenzen). Eine Diskrepanz zwischen Soll und Ist einer als kompatibel ausgelegten Schnittstelle entsteht, deren Zielfunktion der Einhaltung sicherheitsrelevanter Anforderungen des Gerätes (Elektroenergieabnehmer) an momentanen Gegebenheiten des Netzes (beispielsweise: Elektroenergieversorgungsnetz, Erdungsnetz) bedingt.

4.2.2.1 Prozessumfeld bindet Hersteller und Betreiber

Trotz allem war eine, zumindest nach EG-Mandat angestrebte vollständige Harmonisierung mit der 2. Neuauflage abgeschlossen. Das EU-Basismandat war erreicht. Der Prozess konnte auf eine breitere, ganzheitlich wirkende Basis gestellt werden. Die Kernstücke des EMV-Rechts, in der 1. Neuauflage des EMVG, August 1995 bereits integriert, waren durch das damalige Veto der EU nicht mehr eingeschränkt. Doch was war, bzw. ist das Kernstück? Welche Bindung hat es zu Personen (Hersteller, Betreiber)?

Kernstück im EMVG ist die zwingende Erklärung der Übereinstimmung – bezeichnet als Übereinstimmungs- oder Konformitätserklärung – des Herstellers von Geräten im Sinne geltender EU-Rechtsvorgabe zu wirken. Daher stellt sich die Frage: Wer und was ist überhaupt ein Hersteller?

➤ Hersteller im Sinne EMV-Recht, Zitat EMVG /7/, §2 EMVG ist:

....diejenige natürliche oder juristische Person oder rechtsfähige Personengesellschaft, die für den Entwurf oder die Fertigung eines der Richtlinie 89/336/EWG des Rates vom 4. Mai 1988 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit (Abl. EG Nr. L 139 S. 19), der Richtlinie 92/31/EWG des Rates vom 28. April 1992 zur Änderung der Richtlinie 89/336/EWG unterliegenden Gerätes verantwortlich ist oder die sich durch das Anbringen ihres Namens, ihrer Marke oder eines anderen unterscheidungskräftigen Kennzeichens als Hersteller ausgibt;

Hersteller ist auch der, wer aus gefertigten Endprodukten ein neues Gerät herstellt oder **wer ein Gerät verändert, umbaut oder anpasst.**

Fazit zum Prozessumfeld: Bindende Kompetenz zum Hersteller umfasst auch Funktion zum Betreiber, im Sinne der Veränderung, Anpassung oder Umbau, ein im industriellem Umfeld alltägliches Unterfangen. Das betrifft die Verantwortung für das Gerät, wie auch die Verantwortung an dem Gerät (Thema: Geräteverbund). Die Konformitätserklärung des Herstellers, gesehen als Schutzfunktion für den Nutzer (Betreiber des Prozesses) unterliegt nach gültigem EG-Recht auch der Verpflichtung zur Dokumentation. Doch Dokumentationspflicht, was umfasst das? Was muss der Hersteller und der Betreiber im Sinne der Verantwortung für das Gerät dort beschreiben, bzw. hinterlegen?

4.2.2.2 Prozessumfeld und Dokumentation

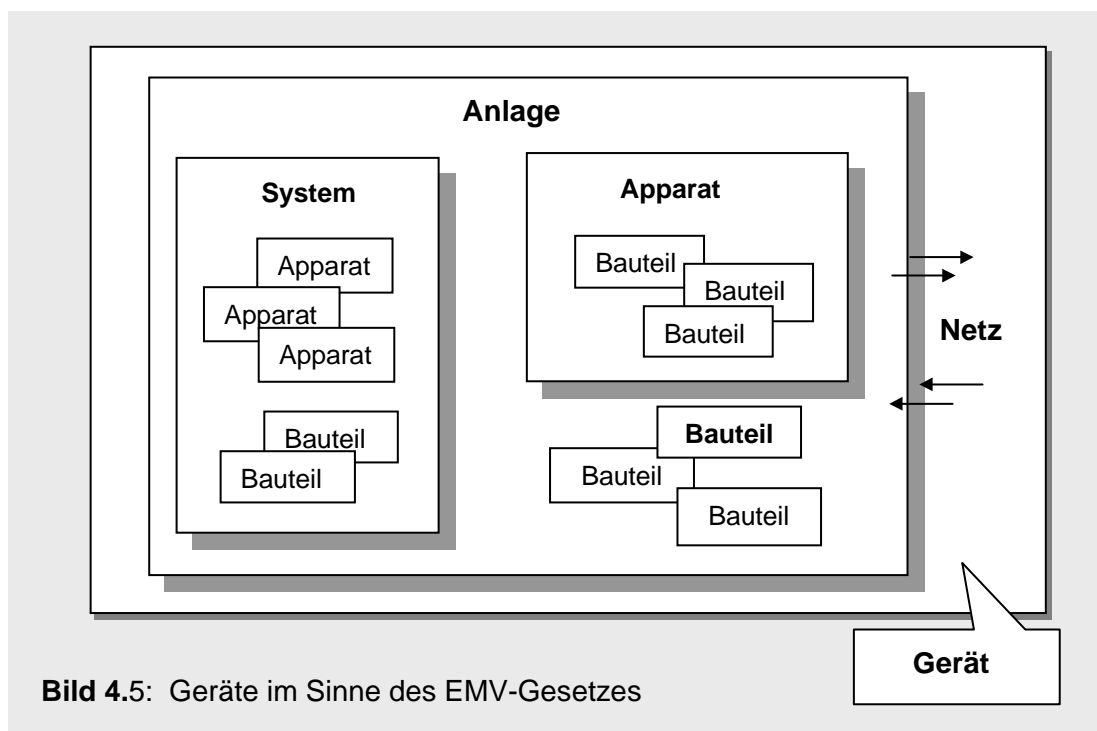
Betrachtet man den Prozess der Dokumentation beginnt er prinzipiell bei der Erklärung zur Übereinstimmung, d.h. der Erklärung zur Konformität. Nach außen sichtbar dargestellt als Kennzeichnung des hergestellten Produkts, ist die Dokumentation der Kompatibilität am Beispiel der Elektrik des Gerätes gegenüber der Elektroenergiequalität des Netzes eine Grundvoraussetzung zum „BESTIMMUNGSGEMÄßEN Verkauf“ und damit „BESTIMMUNGSGEMÄßEN Betrieb“ von Geräten im „Europäischen Binnenmarkt“. Für Hersteller und Betreiber gleichermaßen verbindlich steht hier die rechtsverbindliche Aussage zur Freigabe eines Geräts durch den Planer, Betreiber oder Nutzer einer Geräteeinheit stets unter einem juristischen Kontext. Er stellt nicht nur den notwendigen Inhalt für das Inverkehrbringen, oder deren gewerbsmäßigen Weitergabe, bzw. Inbetriebnahme dar, sondern bedingt auch die Kontrolle der Beibehaltung dieser Kenndaten über die Lebens- oder Arbeitsdauer der/des Geräte(s) hinweg. Doch was umfasst der Begriff Gerät?

Nach der Definition § 2 EMVG /7/, Zitat:

- sind Geräte alle elektrischen und elektronischen **Apparate, Systeme, Anlagen** und **Netze**, die elektrische und/oder elektronische Bauteile enthalten;
- ist ein **Apparat** ein Endprodukt mit einer eigenständigen Funktion; er besitzt ein eigenes Gehäuse und gegebenenfalls für Endbenutzer gebräuchliche Verbindungen;
- ist ein **System** eine Kombination aus mehreren Apparaten oder gegebenenfalls elektrischen oder elektronischen Bauteilen, die vom selben Hersteller so entwickelt, hergestellt oder zusammengebaut wurden, dass diese Bestandteile nach vorschriftsmäßiger Installierung miteinander eine bestimmte Aufgabe erfüllen; ein System wird als eine funktionelle Einheit in Verkehr gebracht;
- ist eine **Anlage** eine Zusammenschaltung von Apparaten, Systemen oder elektrischen, elektronischen Bauteilen an einem gegebenen Ort derart, dass diese Bestandteile miteinander eine bestimmte Aufgabe erfüllen; die Bestandteile müssen nicht als eine funktionelle oder kommerzielle Einheit in Verkehr gebracht werden;
- ist ein **Netz** eine Zusammenfassung von mehreren Übertragungsstrecken, die an einzelnen Punkten elektrisch oder optisch mittels einer Anlage, eines Systems, eines Apparates oder eines Bauteils verbunden sind.

Bild 4.5 zeigt schematisiert die einzelnen Elemente eines Gerätes, sichtbar als Kombinationen von elektronischen Bauteilen, Komponenten und Einrichtungen. Gerade das dort über das Netz (z.B. Elektroenergieversorgungsnetz, Erdungsnetz, etc.) wirkende Umfeld hat zwangsweise Auswirkung auch auf Gefahren beim Betrieb, beim Betreiben, aber auch im Sinne allgemeiner Funktionsstörungen, allgemeiner Zerstörungen in Form von Ausfällen. Funktionsstörungen, die abgesehen von softwaretechnischen Funktionsproblemen vorwiegend aus dem Vorhandensein elektrischer Störgrößen elektromagnetischer Art resultieren, nehmen zumindest im Umfeld des Autors, d.h. im betrachteten Industrieunternehmen erheblich zu. Elektromagnetische Geräte und Systeme – wie sie im Sprachgebrauch der Grund- und Fachgrundnormen zur elektromagnetischen Verträglichkeit bezeichnet werden – zeigen in ihrem Empfinden gegenüber elektromagnetischen Störungen, wie leitungsgeführte elektrische Störgröße, elektrostatische Störgrößen und gestrahlte elektromagnetische Störgröße, eine steigende Tendenz. Die im privaten, gewerblichen und industriellen Prozess verwendeten elektronischen Bauteile (Komponenten) und Einrichtungen (Geräte und Systeme) verhalten sich, respektive sind äquivalent der Aussage der DIN EN 61000-4-1 /25/, Punkt 3, zu sehen, Zitat :

...als sehr viel empfindlicher gegen diese Art der Störgrößen, insbesondere gegen deren hochfrequente und kurzzeitige (transiente) Größe.



4.3 EG-Maschinen-Richtlinie, Rechtsvorschrift für Maschinen

Die EG-Maschinen-Richtlinie 89/392/EWG /48/, eine Rechtsvorschrift für Maschinen wird als Vorgabe der EU durch die DIN EN 292 /11/ konkretisiert. Zu diesem Zweck bildet sie als Sicherheitsgrundnorm – Norm Typ A – die notwendige Umsetzanwendung. Strukturiert wird die DIN EN 292 durch zwei Teile. Sie dokumentiert die grundlegende Terminologie und Methodik und gibt Aufschluss über die Fähigkeit einer Maschine bzw. einer Maschinenanlage über ihre Lebensdauer hinweg. Sie detailliert sich in der:

- ➔ DIN EN 292 Teil 1, 1991-11 : Technische Leitsätze und Spezifikationen
- ➔ DIN EN 292 Teil 2, 2000-6 : Gestaltungsleitsätze und Begriffe

Die DIN EN 292-1 /-2 betrachtet die Maschine als, Zitat:

...eine Gesamtheit von miteinander verbundenen Teilen oder Baugruppen, von denen mindestens eine beweglich ist, sowie mit den entsprechenden Stellteilen, Steuer- und Energiekreisen, die für eine bestimmte Anwendung, wie für die Verarbeitung, Behandlung, Fortbewegung oder Verpackung eines Materials, zusammengefügt sind .. ; .. dazu gehört auch eine Gruppe von Maschinen, die als einheitliches Ganzes zusammenarbeitet .. ;

.. die Zuverlässigkeit dieser Maschine (Maschinenanlage) ist dabei die Fähigkeit, eine geforderte Funktion, unter festgelegten Bedingungen, und für einen vorgegebenen Zeitraum, ohne Ausfall zu erfüllen“.

Zur Sicherstellung der Zitataussage zählt die Mechanik, wie auch die Elektrik einer Maschine, bzw. einer Maschinenanlage in gleicher Wichtung. Betrachten wir in diesem Zusammenhang vorzugsweise den elektrischen Part der Maschine und Maschinenanlage, so verweist die bereits zitierte Sicherheitsgrundnorm DIN EN 292-1:1991-11, wie auch die 2004 noch im Entwurf stehende Fassung (DIN ENE 292-1:2000-06) auf die Sicherheitsgruppennorm der DIN EN 60204-1 /18/ vom November 1998 als „Sicherheit von Maschinen / Elektrische Ausrüstung von Maschinen“.

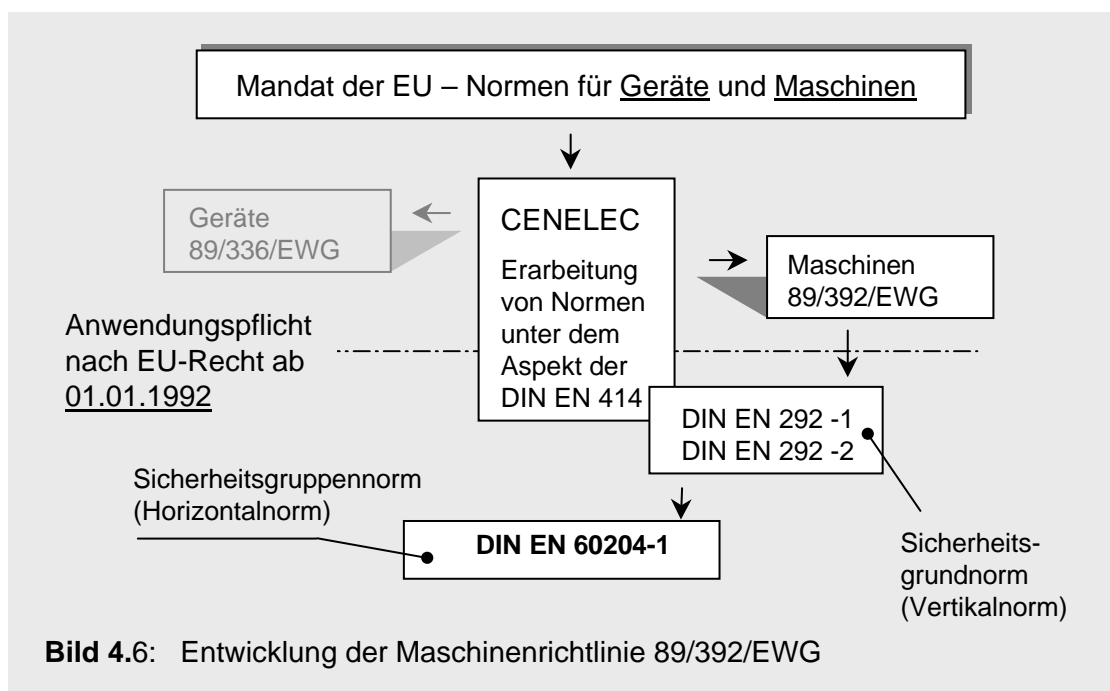
Auf den Fokus der Dissertation bezogen, ist die Rechtsvorschrift der technischen Leitsätze das markante Schutzziel, das zur Bestimmung der Schnittstelle zwischen Maschine und Elektroenergieversorgungsnetz - äquivalent zum Schutzziel Gerät, Abschnitt 4.2 - von wegweisendem Interesse ist.

4.3.1 Schutzziel Elektrik

Teil 1 der DIN EN 292 – technische Leitsätze und Spezifikationen – stand als DIN-EN-Norm als erste gültige Norm zur Definition der Schutzziele im Bereich der Ausrüstung von Maschinen ab 1992 für alle EU-Mitgliedsstaaten gleichermaßen gültig zur Verfügung. Vom technischen Komitee bei CEN und CENELEC als Sicherheitsgrundnorm eingestuft, ist der als Vertikalnorm bezeichnete Sicherheitsleitfaden ein Normenprodukt, das erstmals auf Basis der Rechtsgrundlage der DIN EN 414 /12/ (Regeln für die Abfassung von Sicherheitsnormen, siehe Abschnitt 4.1) zur Geltung kam. Doch bei der Handhabung von Sicherheitsgrund- (DIN EN 292-1/2 /11/) und Gruppennormen (DIN EN 60204-1 /18/ gilt es zu wissen:

Wo Produktfamilienormen oder spezifische Produktnormen existent sind – beispielsweise die der Merkmale der Versorgungsspannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen, DIN EN 50160 /15/ – als Eingangsmedium oder Nutzungsmedium der Maschinen – haben deren Anforderungen Vorrang vor den Anforderungen der Sicherheitsgruppennorm (z.B. DIN EN 60204-1) und die der Sicherheitsgrundnorm (z.B. DIN EN 292-1/-2).

Die Anforderungen aus der Sicherheitsgruppennorm, im expliziten Fall zur Bestimmung der Schnittstelle zwischen Maschine und Elektroenergieversorgungsnetz, und zwar die der Elektrik nach DIN EN 60204-1, ist vom Anbieter einer Maschine (Herstel-



ler, Lieferant, etc.), aber auch vom Nutzer einer Maschine (Betreiber, Einrichter, etc.) anzuwenden. Voraussetzung ist: keine spezifische Produktnorm, bzw. Produktfamilienorm ist existent oder zutreffend.

Die Entwicklung von der Sicherheitsgrundnorm zur Sicherheitsgruppennorm zeigt Bild 4.6, die der Einbindung im Themenkomplex der Schnittstelle zwischen Elektroenergieabnehmer und Elektroenergieversorgungsnetz, Bild 4.7. Zu sehen als Ablaufschema im Normenkonstrukt (Bild 4.6) und als Anforderungsprofil am Objekt (Bild 4.7) gilt es die in sich gestaffelten, bzw. fordernden Elemente nach EU-Recht im Prozessumfeld zu konkretisieren. So zu sehen wie Glieder einer Kette verpflichtet sie Anbieter und Nutzer von Elektroenergieabnehmern – im vorliegenden Fall die der Maschinen – bei deren Verwendung im europäischen Handelsraum gleichermaßen. Vor allem aus der Sichtweise des juristischen Imperativs heraus haben die Elektroenergieabnehmer den momentanen Stand der Technik im Bereich von Design und Benutzung der dort hinterlegten Elektrik gegenüber deren Elektroenergiequalität kompatibel wiederzugeben. Wichtig: Die in Bild 4.6 aufgezeigte Sicherheitshaut- und -gruppennorm zur Umsetzung des Schutzziels Elektrik im Prozess, Bild 4.7, ist nur ein Teil der funktionalen Gesamtkette, die der Nutzer im Sinne der Absicherung kompatibler Qualitäten der EE sicherzustellen hat.

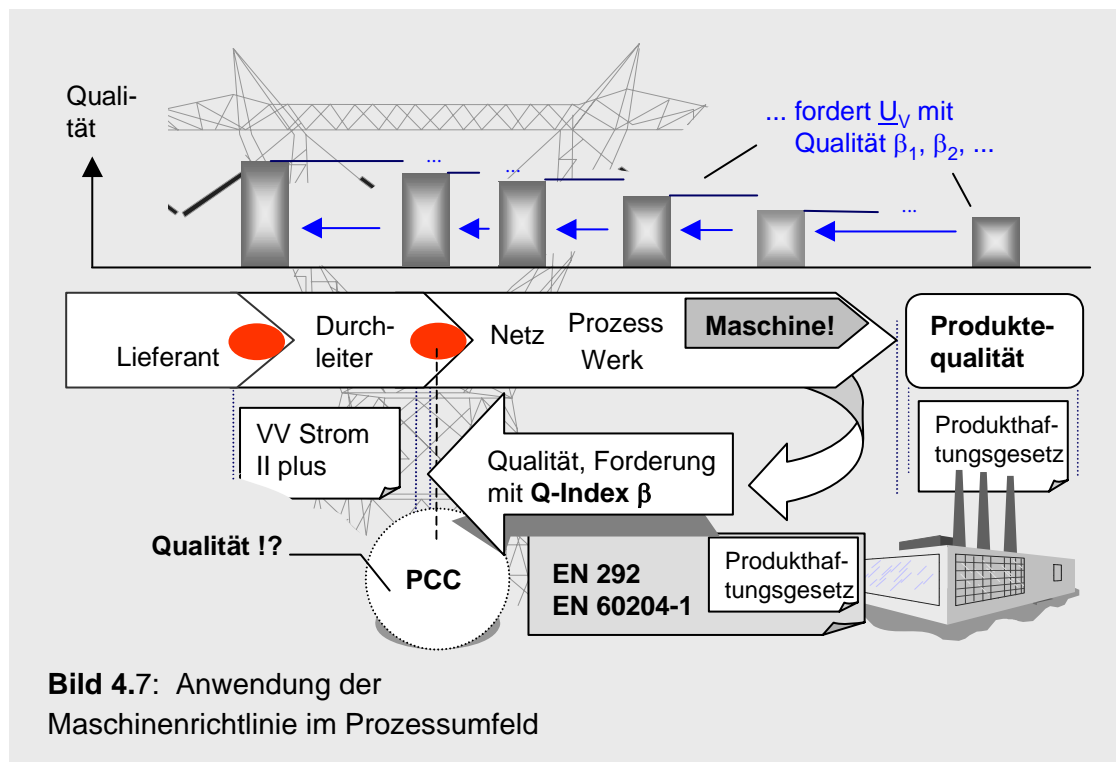


Bild 4.7: Anwendung der Maschinenrichtlinie im Prozessumfeld

4.3.2 Elektrik „via“ EEQ

Unter Punkt 4.1 der DIN EN 60204-1 – Sicherheit von Maschinen / Elektrische Ausrüstung von Maschinen – wird zur Minderung von Sicherheitsrisiken beim Betrieb von Maschinen eine Abstimmung zwischen Nutzer (Betreiber, Kunde) und dem Anbieter (Lieferant, Hersteller, Dienstleister, etc.) gefordert. Hierzu zählt vor allem der Abgleich geeigneter Verfahren als Grundlage bilateraler Vereinbarungen. In diesen Part der Abklärung von Verbindlichkeiten gehört auch die Vereinbarung über die am Netzananschlusspunkt des Elektroenergieabnehmers vorherrschenden, bzw. zusätzlich verkraftbaren Qualitätsbedingungen am Produkt EE. Zur Abklärung der EEQ im EES gegenüber den Schutzzielen der im Elektroenergieabnehmer (Maschine) verbauten elektrischen Bauteile und Komponenten – in der Überschrift des Abschnitts mit Elektrik „via“ EEQ bezeichnet – zählt die, in Bild 4.8 als Abgleich dargestellte Bildung einer allseitig abgestimmten Anforderung als das anzustrebende Ziel. Gegenüber den am Eingangskreis der Elektroenergieabnehmer zu wahrenden Parametern, auch als Wichtung einer Anforderung zu sehen, ist die Wertigkeit der auf Grund-, Gruppen- und Produktnorm basierenden Rahmenvorgaben in die Entscheidung entsprechend gewichtet einzubeziehen. Bezeichnet in Bild 4.8 als Abgleich der Wertigkeit der Anforderungen ist das zu erzielende Ergebnis, z.B. beim Betrieb des Elektroenergieabnehmers am Elektroenergieversorgungsnetz, oder bei der Planung der Elektroenergieabnehmer zwischen Kunde und Lieferant, verbindlich zu regeln.

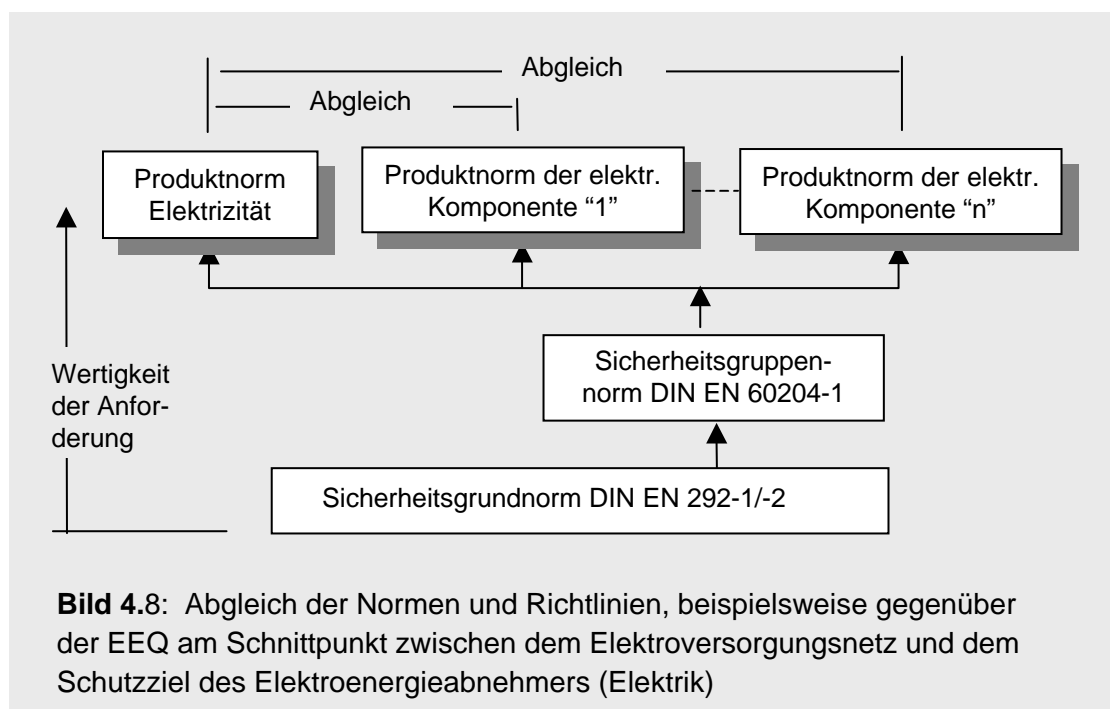


Bild 4.8: Abgleich der Normen und Richtlinien, beispielsweise gegenüber der EEQ am Schnittpunkt zwischen dem Elektroversorgungsnetz und dem Schutzziel des Elektroenergieabnehmers (Elektrik)

Der Hinweis auf Qualitätsklassen der Spannung und deren mögliche Überwachung definierter Qualitätsparameter, so zu sehen als Element der Abklärungsvereinbarung zwischen Nutzer und Lieferant, hat in seiner Konsequenz als Resultat oder Ergebnis im Umfeld der allgemeinen Sorgfallspflicht des Unternehmers nach §823 Produkthaftungsgesetz /6/ zu stehen. Der industrielle Arbeits- und Ablaufprozess muss dieses ohne Einschränkung auch wiedergeben, so dass Zuverlässigkeit und Verträglichkeit – besser elektromagnetische Kompatibilität – allzeit und überall gegeben ist.

Eine Symbiose im Fokus der (Be-)Nutzung ist angesagt, die den Hersteller, Lieferant, wie auch den Nutzer dazu auffordert, eine umfassende Abstimmung bereits im Planungs- und Erstellungszustand zwischen dem treibenden Medium EE und dem damit betriebenen Betriebsmittel (elektrisches und/oder elektronisches Bauteil, Komponente, etc.) zu veranlassen. Mess- und bewertbar, z.B. mit entsprechenden Hinweisen auf die notwendige Abstimmungen zur Produktnorm EE, zur Produktnorm der Ausrüstung von Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebsmitteln, zur Produktnorm drehzahlveränderbarer elektrischer Antriebe, um nur einige der Wesentlichen zu benennen, ist dieser Fakt in der Gestaltung der Vor-Ort-Umsetzung auf der Produktebene als Realisation am Objekt (Elektroenergieabnehmer) darzustellen. Die Sicherheitsgruppennorm DIN EN 60204-1 /18/ verweist zu diesem Zweck unter Punkt 4.3, Zitat:

Die elektrische Ausrüstung muss so ausgelegt sein, dass sie unter nachfolgenden Bedingungen der Versorgung fehlerfrei arbeitet:

- *wie in Anlage A1.1 der Norm definiert,*
- *wie vom Betreiber festgelegt - Anlage A1.2 der Norm oder*
- *wie durch den Lieferanten im Falle besonderer Betriebsbedingungen festgelegt.*

Auftraggeber und Auftragnehmer verpflichtet ein derart differentes Vorgehen gleichermaßen zur Definition von Vereinbarungen im Sinne von Standards (Standardanforderungen), aber auch von Zusatzerfordernungen, gespiegelt z.B. an den Merkmalen der Versorgungsspannung in öffentlichen Elektroenergieversorgungsnetzen (DIN EN 50160 /15/), bzw. der Verträglichkeit von Maschinen in Industrienetzen nach DIN EN 61000-2-4 /21/ der ERSTEN oder ZWEITEN Umgebung. Erste und zweite Industrieumgebung kennzeichnet in diesem Zusammenhang die notwendige Störfestigkeitsklasse der am Industrienetz betriebenen Maschine nach DIN EN 61000-4-x /24/.

Nach dem Grundprinzip der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) in Form von Klassen der Verträglichkeit – Klasse 2 für ERSTE und Klasse 3 für ZWEITE Umgebung – dargestellt, beschreibt es ein Segment der Sicherheit mit verifizierbarem Inhalt. Darüber hinaus gibt es spezifizierte Produktklassen, so z.B. die für drehzahlge-regelten Antriebe nach DIN EN 61800-3 /28/, die für die Ausrüstung von Starkstrom-anlagen mit elektronischen Betriebsmitteln DIN EN 50178 /16/, aber auch vertiefende Betrachtungen zu Einzelmerkmalen, wie die der Kommutierungseinbrüche nach DIN EN 60146-1 /17/, zu sehen als ein Auszug aus einem breiten Spektrum der Verbind-lichkeit zur Übereinstimmung (Konformität), in Abstimmung zu bringen.

4.3.3 Schutzbereich Aufstellungsort

In der Fassung der DIN EN 60204-1 vom Mai 1992 gab es immer wieder Missver-ständnisse dahingehend, ob die EG-EMV-Richtlinie 89/336/EWG – Geräte, die elek-trische und/oder elektronische Bauteile enthalten – auch Anwendung auf die Produkt-familie der Maschinen findet. Im Zeichen der Harmonisierung der Rechtsvorschriften innerhalb der Europäischen Union hat mit Wirkung zum 01 Juli 2001 (Ablauf der Gül-tigkeit der DIN EN 60204-1:1992-5) die EU diesem Zwiespalt ein klares Ende berei-tet. Durch

- die Definition des Gültigkeitsbereiches „Industrieausrüstungen“ im Gesetzestext zur elektromagnetischen Verträglichkeit, §2, Abschnitt 3, Definition von Geräten im Sinne des EMVG, Anlage 1, Punkt b,
- das Einbringung der elektromagnetischen Verträglichkeit in die Sicherheitsgrup-pennorm der Maschinen, Elektrische Ausrüstung von Maschinen, DIN EN 60204-1, Stand 1998-11, Abschnitt 4.4.2.,

hat CENELEC auch in der Maschinenrichtlinie eine unmissverständliche Einbindung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) in das industrielle Umfeld geschaffen. Mit dem Ursprungsmandat der EU, d.h. der Harmonisierung zwischen Maschine und Gerät, der Neufassung des EMVG, der Erweiterung der DIN EN 60204-1, ist ein Kon-strukt entstanden, das allen und allem allumfassend Rechnung trägt. Das Zitat aus Punkt 4.4.2 der DIN EN 60204-1 /18/ macht diesen Fakt noch deutlicher:

Die elektrische Ausrüstung muss für die Verwendung unter den physikali-schen Umgebungs- und Betriebsbedingungen geeignet sein. Sie darf keine elektromagnetische Störung oberhalb des für den vorgesehenen Einsatzort

zulässigen Niveaus erzeugen. Zusätzlich muss die Ausrüstung eine ausreichende Störfestigkeit gegen elektromagnetische Störung haben, so dass sie in ihrer vorgesehenen Umgebung einwandfrei arbeitet.

Unerwünschte Folgen durch elektrostatische Entladungen, abgestrahlte elektromagnetische Energie und netzgebundene Störungen müssen vermieden werden.

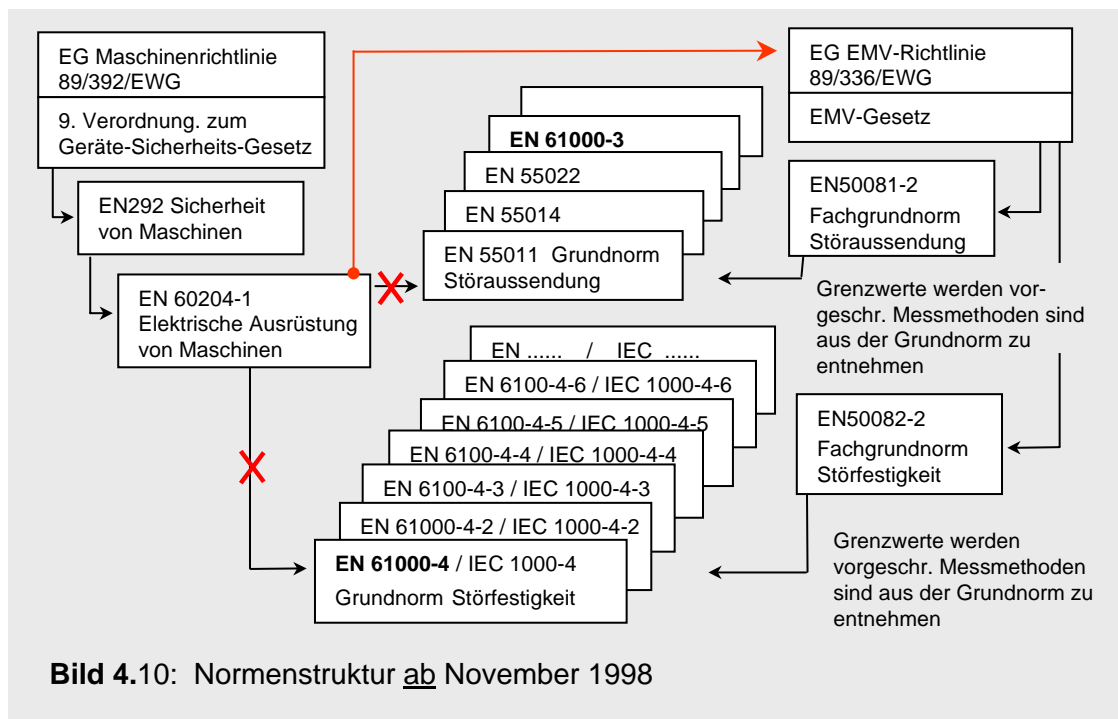
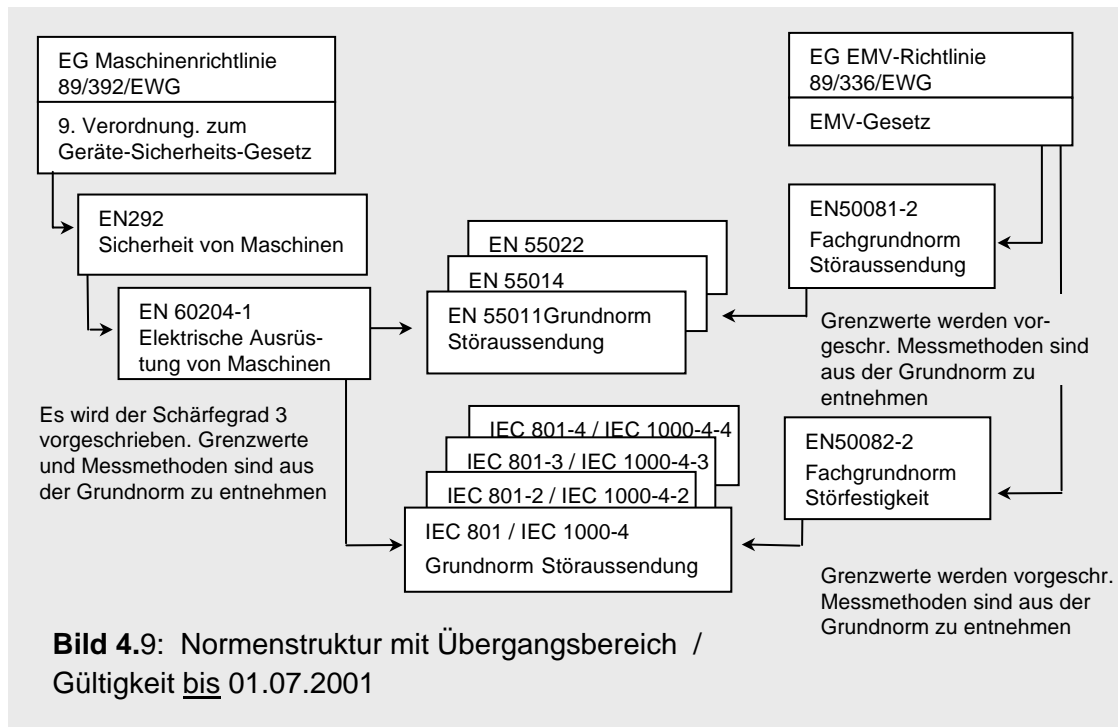
Notiz der Norm: Bezogen wird dabei auf die Europäischen Normen der Störaussendung (EN50081-1 bzw.-2) und der Störfestigkeit (EN 50082-1 bzw. -2 / abgelöst zum 01.03.2002..... durch die DIN EN 61000-2-2 /20/ öffentlich und DIN EN 61000-2-4 /21/ für industrielle Umgebungen) die allgemeine Grenzwerte zur Umgebung festlegt. Des Weiteren wird auf Produktnormen, wie z.B. die der Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen DIN EN 60439-1 /19/ verwiesen, die detailliertere EMV-Anforderungen enthält.

4.3.4 Paradigmawechsel in der Schutzzielzuweisung

Ein regelrechter Paradigmawechsel verbindet die Sicherheitsgruppennorm DIN EN 60204-1 (Sicherheit von Maschinen / Elektrische Ausrüstung von Maschinen), Stand 1992 mit der Neuauflage Stand 1997, bzw. der Ergänzung vom November 1998. Ein Paradigmawechsel, der die Produktmerkmale der EE – äquivalent der EMV-Richtlinie für Geräte – in das Zentrum der Betrachtung um die Sicherheitsschwerpunkte beim Betrieb „elektrischer Ausrüstungen“ stellt. Doch die Sichtweise elektromagnetischer Verträglichkeit (DIN EN 60204-1, Punkt 4.4.2), hier eingebunden als Element der physikalischen Umgebungs- und Betriebsbedingungen (DIN EN 60204-1, Punkt 4.4), ist auch nach Ablauf der Übergangsfrist der Alt- zur Neu-Version, 01 Juli 2001 den Unternehmen nicht deutlich genug bewusst. Vor allem die Art und Weise der bindenden Übereinstimmung technischer und technologischer Kriterien zwingt den Unternehmer zum Umdenken.

Bild 4.9 und 4.10 zeigt den Wechsel im Zeitrahmen der Neuausrichtung der DIN EN 60204-1 und macht deutlich, dass das EMVG bereits seit November 1998, spätestens seit 01.07.2001, ein sicherheitsrelevanter Bestandteil der Maschinenrichtlinie (Thema: Gerätesicherheitsgesetz) im Sinne der Sicherheit von Maschinen, elektrische Ausrüstung von Maschinen, geworden ist. Das heißt: ab 01.07.2001 sind alle

gefährbringenden Situationen durch Störphänomene leitungs- und feldgebundener Art, entweder von außerhalb der elektrischen Ausrüstung erzeugt (Netz, Umfeld, etc.), oder innerhalb der elektrischen Ausrüstung verursacht, im Sicherheitskonzept der Planung, wie auch des Betriebes der Maschine zu berücksichtigen und mit entsprechenden EEQ-Maßnahmen an der Maschine und/oder am Netz zu belegen.



4.4 EMVG, Richtlinie für Geräte und Maschinen

Sowohl die EG-EMV-Richtlinie (89/336/EWG - Abschnitt 4.2) als auch die EG-Maschinen-Richtlinie (89/392/EWG - Abschnitt 4.3) stellen verbindliche Anforderungen an die elektromagnetische Verträglichkeit zur Umgebung, d.h. zu den physikalisch-technischen Umfeldbedingungen am Anschlusspunkt des Elektroenergieabnehmers dar. Gerade der in der Industrie vorhandene Betriebs- und Prozessverbund, zu betrachten und zu kennzeichnen vor allem im Sinne der Struktur von und zum EES, übt zur Maschine nach EG-Maschinen-Richtlinie, wie auch zum Gerät nach EG-EMV-Richtlinie die gleiche, rechtlich relevante Verbindlichkeit aus. Irrelevant sind Betrachtungen, dass Insellösungen der Umgebung zur Maschine, zum Gerät in einem von beiden gemeinsam genutzten Arbeitsumfeld existent sein könnten.

Doch noch 2004, drei Jahre nach Ablauf der Altregelung der DIN EN 60204-1:1992-5 besteht für viele Unternehmen noch immer nicht die Transparenz, dass Maschinen und Geräte in ihrer Strategie zur Verträglichkeit nach dem Gesetz der elektromagnetischen Verträglichkeit zu behandeln sind.

Gerade die Konsequenz der elektromagnetischen Wirkung des Elektroenergieabnehmers, vor allem in Kombination mit dem global vernetzten Elektroenergieversorgungsnetz im internen oder externen Netzverbund (öffentlicher/nichtöffentlicher Netzanschlusspunkt), beeinflusst die lokale Größe erheblich mit. Es gilt den Bezug der lokalen, respektive globalen Grenzsituation in die physikalischen Umgebungs- und Betriebsbedingungen als Defizitwirkung zur EEQ am Schnittpunkt zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer ganzheitlich, d.h. nicht nur beschränkt auf prägnante Störphänomene einzubeziehen. Hier zählt vor allem die Tatsache, dass eine globale Auswirkung lokal sichtbar wird, oder umgekehrt eine lokale Größe global bemerkbar ist. Die Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer ist stets als eine Art von Pforte mit variabler Bandbreite zu Störphänomenen allgemeiner Art auch aus vor- und nachgelagerten Netzebenen zu sehen.

Globales Ganzes für Maschinen und Geräte heißt deshalb die Devise. Heruntergebrochen auf das gewerbliche, wie auch industrielle Arbeitsumfeld zeigt sich die bilaterale Beziehung zwischen Elektroenergieabnehmer und Elektroenergieversorgungsnetz unbeeindruckt ob durch ein Gerät oder eine Maschine erzeugt. Die (Rück-)Wirkung zum betrieblichen Umfeld, beispielsweise nach Bild 4.11, ist als identisch zu be-

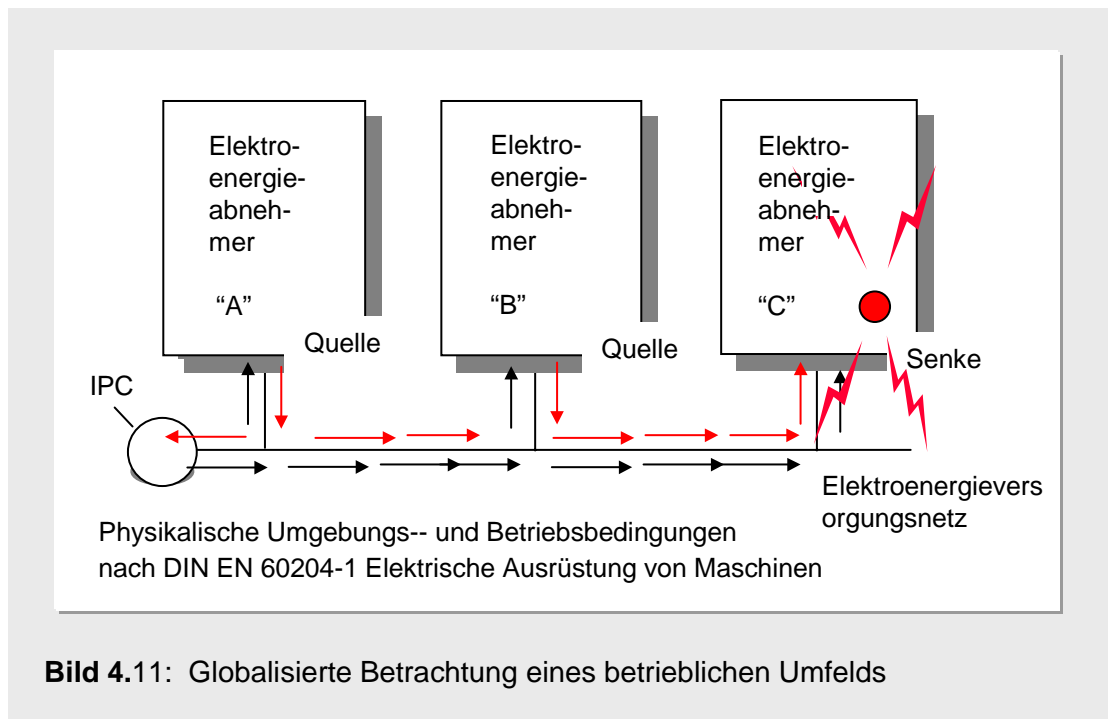


Bild 4.11: Globalisierte Betrachtung eines betrieblichen Umfelds

trachten. Wen die Störung am Ende trifft, und wie stark sie innerbetrieblich einwirkt, bzw. bemerkbar ist – ob an der Maschine oder am Gerät sei dahingestellt – ist allein von der Festigkeit gegenüber der elektroenergetischen Größen, d.h. den so genannten Produktparametern der Elektroenergiequalität abhängig. Ein Schutz gegen Nichtfunktionalität gibt es nur durch Wahrung der Konformität, hinterlegt als konkreter Abgleich der Elektroenergiequalität an den bilateral wirkenden Schnittstellen.

4.4.1 Schutz durch Konformität

Um gegenüber den Gepflogenheiten der Hersteller von Maschinen und Geräten, den sogenannten Nutzern als Betreiber der Elektroenergieabnehmer nicht nur zu beschützen, sondern zu unterstützen, befindet sich in der DIN EN 60204-1, Anhang B ein Fragebogen, der die diesbezügliche Positionierung im Bereich der Sicherheit der elektrischen Ausrüstung von Maschinen vorsieht. Eine allgemeine Vereinbarung zwischen Anbieter (Hersteller, Dienstleister, etc.) und Nutzer (Kunde, Betreiber, etc.) hat die harmonisierte Einhaltung rechtlich bindender Sicherheitsnormen zum Ziel. Unterstützt wird die Erreichung der Normenvorgabe für Anbieter und Nutzer mit der Festbeschreibung der Aussage zur kompatiblen Ausrüstung gleichermaßen. Hierzu das Zitat aus der DIN EN 60204-1:1998-11 /18/, Punkt 4.4.2:

... die Ausrüstung darf keine elektromagnetischen Störungen oberhalb des für die vorgesehene betriebliche Umgebung zulässigen Niveaus erzeugen. Zusätzlich muss die Ausrüstung eine ausreichende Störfestigkeit gegen elektromagnetische Störungen haben, so dass sie in ihrer vorgesehenen Umgebung einwandfrei arbeitet.

Allgemeine Maßnahmen werden in der DIN EN 60204-1 unter Punkt 4.4.2 dahingehend angezogen, dass die Erzeugung elektromagnetischer Störungen, d.h. die leitungsgebundene und/oder abgestrahlte Emission nicht nur zu begrenzen ist, sondern gegen diese leitungsgebundenen, aber auch eingestrahlenen Störgrößen (niederfrequenter- wie hochfrequenter Art) die Festigkeit der eigenen elektrischen Einrichtung abzusichern ist.

4.4.1.1 EE, ein Element der Konformität

Nach EMVG, Abschnitt 2, §3 – Schutzanforderungen – wird festgelegt, wie Geräte (Apparate, Systeme, Anlagen und Netze) beschaffen sein müssen, um den Schutzanforderungen des privaten, gewerblichen aber auch industriellen Marktes Stand zu halten, Zitat:

Geräte müssen so beschaffen sein, dass bei vorschriftsmäßiger Installierung, angemessener Wartung und bestimmungsgemäßigem Betrieb gemäß den Angaben des Herstellers in der Gebrauchsanweisung.

- 1. die Erzeugung elektromagnetischer Störungen soweit begrenzt wird, dass ein bestimmungsgemäßer Betrieb von Funk- und Telekommunikationsanlagen sowie sonstigen Geräten – unter Punkt b der Anlage 1 des EMVG, Industrieanrüstungen - möglich ist,*
- 2. die Geräte eine angemessene Festigkeit gegen elektromagnetische Störungen aufweisen, so dass ein bestimmungsgemäßer Betrieb möglich ist.*

§3, Abs. 1 des EMVG beschreibt die Emissionsbegrenzung und §3, Abs. 2 die der Immunitätsanforderung. EMVG, § 4 erweitert den Bereich des Inverkehrbringens und des Betriebens, Zitat:

*Geräte, bei dem der Hersteller die in § 3 Abs. 2 genannten Normen angewandt hat dürfen nur dann in Verkehr gebracht, gewerbsmäßig weitergegeben oder **in Betrieb genommen werden**, [– nach Definition § 2 des EMVG auch der, ...der ein*

Gerät verändert, umbaut oder anpasst... –] wenn der Hersteller oder sein Bevollmächtigter.....

- 1. die Übereinstimmung des Gerätes mit den Vorschriften dieses Gerätes durch eine EG-Konformitätserklärung. nach Anlage II des EMVG erklärt hat,*
- 2. die CE-Kennzeichnung nach Anlage II des EMVG auf dem Gerät oder, wenn es nicht möglich ist, auf der Verkaufspackung, der Gebrauchsanweisung oder dem Garantieschein angebracht hat,*
- 3. den Aussteller der EG-Konformitätserklärung in Verbindung mit der CE-Kennzeichnung auf dem Gerät oder, wenn dies nicht möglich ist, auf der Verkaufspackung, der Gebrauchsanweisung oder dem Garantieschein angegeben ist,*
- 4. folgende Angaben für den bestimmungsgemäßen Betrieb des Gerätes in der beigefügten Gebrauchsanweisung gemacht hat:*
 - a) Hinweise auf Fortsetzung für den bestimmungsgemäßen Betrieb (Thema Allgemeine Umgebungsbedingungen);*
 - b) Hinweise auf Einschränkungen, wenn das Gerät nicht für alle elektromagnetischen Umgebungsbedingungen geeignet ist;*
 - c) Anweisungen zur Installation, soweit sie für die elektromagnetische Verträglichkeit erforderlich sind;*
 - d) Hinweise zum Umfang und zur Häufigkeit von Wartungsmaßnahmen, soweit diese zur dauerhaften Aufrechterhaltung der elektromagnetischen Verträglichkeit erforderlich sind.*

Vornehmen kann die Durchführung einer Konformitätsvermutung, z.B. im Bezug auf die Einhaltung der Schutzanforderungen gemäß §3 des EMVG entweder der Inbetriebnehmer (Lieferant), aber auch der Betreiber einer Anlage (Industrieunternehmen). Er übernimmt als Person, wie unter Abschnitt 2.1 bereits ausführlich dargelegt, die volle juristische Verantwortung dafür, dass das System als Ganzes dem EMV-Gesetz und damit indirekt auch dem Gerätesicherheitsgesetz der Maschinenrichtlinie entspricht.

Die entsprechende Konfiguration der Maschine, des Gerätes am Beispiel der Umgebung Netz, muss unter EMV-Gesichtspunkten definiert und dokumentiert sein. Eine entsprechende Dokumentation ist vom Prüfenden (Lieferant, Kunde oder Dritten) an-

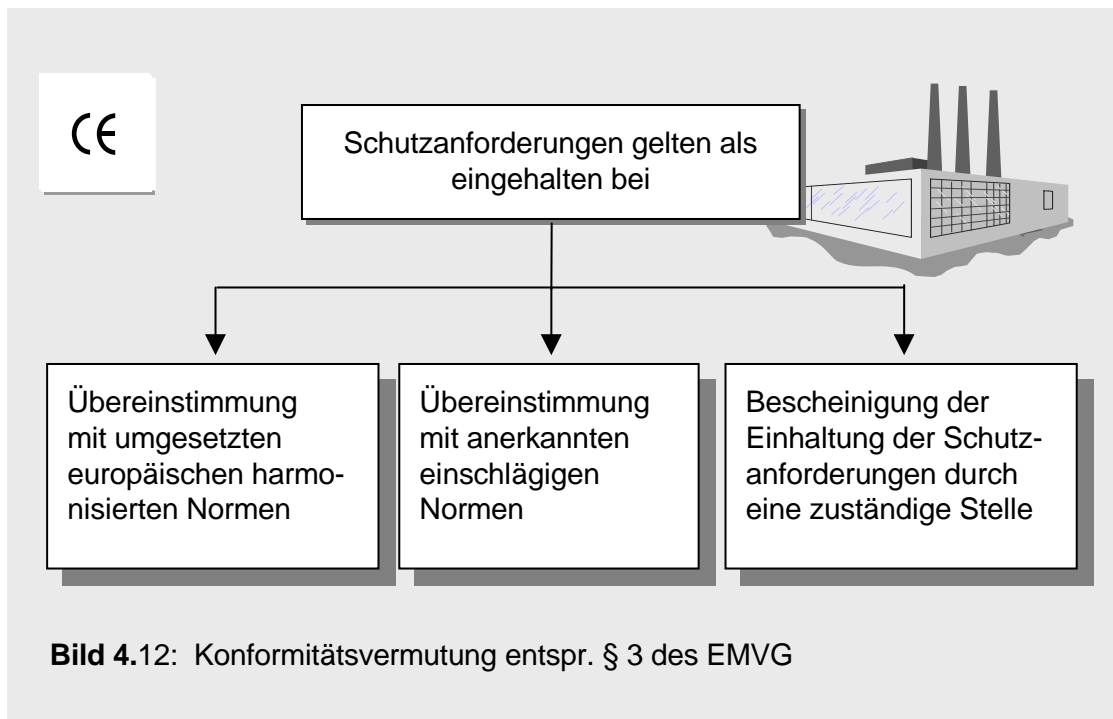


Bild 4.12: Konformitätsvermutung entspr. § 3 des EMVG

zufertigen und auf Verlangen den Behörden vorzulegen. Die diesbezügliche Vorgehensweise ist in Bild 4.12 schematisiert dargestellt und gibt Aufschluss über den Inhalt der Vermutung zur Übereinstimmung der Schutzzielanforderung nach EU-Mandat.

Anbieter, wie auch Nutzer von Maschinen und Geräten müssen sich bei der Anwendung der Konformitätsvermutung nach Bild 4.12 bewusst sein, dass bereits bei einer Kombination von zwei oder mehreren Geräten (Apparaten, Systemen, Anlagen oder auch Netzen), die daraus entstandene neue Maschinen- und/oder Geräteeinheit (Elektroenergieabnehmer), nicht automatisch den einschlägigen Normen und Richtlinien nach dem EMV-Gesetz entspricht, bzw. dieses erfüllt. Die Kombination, z.B. einer speicherprogrammierbaren Steuerung und eines Motorantriebes, zusammengeführt in einer Werkzeugmaschine, führt nicht zur EG-Konformität nach dem EMVG des gesteuerten Antriebselements der Maschine als Summe.

Wichtig:

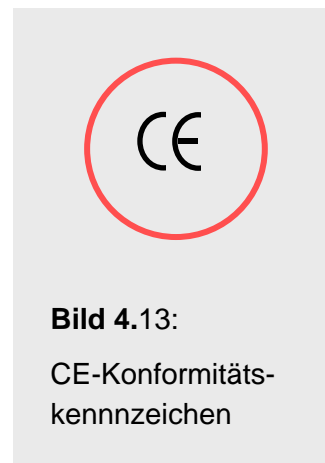
Netze (Datennetze, Kommunikationsnetze, Energienetze, etc.) sind zwar nach der EG-Konformitätsvorgabe nicht CE-Kennzeichnungspflichtig, doch sind auch sie grundlegender Bestandteil der Konformitätsbewertung nach EMVG.

4.4.1.2 CE, das Kennzeichen der Konformität

Aus bereits besagtem rechtlich wirksamen Grund ist es ratsam die Produktionsanlagen und Produktionseinrichtungen des gewerblichen und industriellen Prozessumfelds aus Sicht der Prozessvarianz innerbetrieblicher Gegebenheiten zum Produkt EE in ihrer qualitativen Versorgung zum und vom Elektroenergieabnehmer mit fixen EEQ-Werten fest zu besetzen. Entsprechende Elektroenergiequalitätsparameter, auch Power-Quality-Parameter bezeichnet, klären die Rahmenbedingungen zwischen Lieferant und Kunde, bzw. Anbieter und Nutzer vertraglich bindend ab. Entsprechende Details sind zu dokumentieren und nach Bedarf abzurufen. Kommt es trotz allem bei Inbetriebnahme oder Betrieb zu innerbetrieblichen EMV-Problemen, so muss z.B. im Planungsfall bei entsprechender Vereinbarung nicht der Nutzer, als Benutzer, Assembler oder Einrichter diese spezifischen, meist objektorientierten EMV-Situation beseitigen, sondern der Anbieter, als Lieferant der problemproduzierenden Maschine, bzw. des störenden Gerätes. Der Markt bietet dazu eine Fülle von Zusatzprodukten an, die nach Art und Weise der örtlich wirksamen Problemsituation eingesetzt das Problem beseitigen oder mindern.

Abkommen der EU:

Parallel zum Mandat an CENELEC vom Mai 1989 hat der Rat der Europäischen Gemeinschaft am 21. Dezember 1989 die Erschließung eines globalen Konzeptes für die Konformitätsbewertung von Maschinen und Geräten verabschiedet. Als CE-Konformitätskennzeichen oder kurz CE-Zeichen nach Bild 4.13 galt es stets die EG-EMV-Richtlinie und die EG-Maschinen-Richtlinie dahingehend zu unterstützen, dass das Inverkehrbringen industrieller Erzeugnisse innerhalb des Binnenmarktes nicht nur gefördert, sondern auch erleichtert wird. Des Weiteren galt es das Konzept vom Dezember 1989 mit einem Instrumentarium abzusichern, das nach Außen für jedermann sichtbar die Produkte des europäischen Binnenmarktes als Sicher nach dem Gerätesicherheitsgesetz (GSG) und dem Gesetz der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMVG) ausweist. Ziel war insbesondere die Gewährleistung beim Schutz der Gesundheit und der Sicherheit bei der Benutzung von Erzeugnisse – im vorliegenden Fall die der Maschinen und Geräte.



Zur Dokumentation der Konformitätsbereitstellung (Konformitätserklärung, Konformitätsvermutung – Abschnitt 4.4.1.1) hat der Rat der EU der Verwendung eines gemeinsamen Kennzeichens als Leitgrundsatz zugestimmt und mit dem Beschluss 90/683/EWG /49/ 1990 umgesetzt. Der Beschluss sieht vor, dass Industrieerzeugnisse, wie Maschinen, Geräte als Apparate, Systeme, Anlagen und Netze, die unter die technischen Harmonisierungsrichtlinien fallen, erst dann in Verkehr gebracht werden können, wenn der Hersteller auf dem Elektroenergieabnehmer die geforderte „CE-Kennzeichnung“ gut sichtbar angebracht hat. Hier gilt das Inverkehrbringen auch für das Betreiben von Elektroenergieabnehmern an Elektroenergieversorgungsnetzen.

Da das Dokument der Konformität auch als Erklärung der Übereinstimmung energetischer Schnittstellen zu sehen ist, stellt der dort darzustellende Funktionsinhalt im Sinne fixer Rahmenbedingungen, wie die der EEQ, nicht eine erhöhte Anforderungen, sondern eine Stabilität, bzw. Stabilisierung im Sinne der Verfügbarkeit der Elektroenergieabnehmer dar. Die EEQ an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer BINDET HIER nicht nur den Lieferanten, sondern vor allem auch den Nutzer von Elektroenergieabnehmern am Elektroenergieversorgungsnetz. Sichtbar dargestellt als Kennzeichnung des dort zur Verfügung gestellten Produktes EE, Bild 4.14, steht hier bindend die Kompatibilität der Spannung (Spannungsqualität) als Indikator der Konformität nach EMVG an oberste Stelle. Das nutzt der Autor dahingehend aus, dass die Konformitätserklärung nach Schema Tabelle 4-1 und 4-2 das Umfeld von Prozess und Produkt auch im Sinne der VERMUTUNG einer elektromagnetischer Verträglichkeit (Konformitätsvermutung nach §3 EMVG, Bild 4.12, Abschnitt 4.4.1.1) gegenüber den dort wahrzunehmenden Anforderungen technischer, und technologischer Art, darzustellen hat. Die Zuweisung der EEQ als Kennzeichnung einer elektrotechnischen Schnittstelle dient dem Autor vor allem als Beschreibung

- der Immunität als Grenzwert der Qualitätsbelastung (Q-Index „β“ nach Definition Abschnitt 2.3.4 2) gegenüber dem am Netzknoten vorherrschenden schwächsten Partner (Elektroenergieabnehmer). Als Umsetzung der Schutzzielumsetzung nach DIN EN 414 /12/ ist die dort zu hinterlegende Immunität als strategischer Planwert einer Qualitätsbelastung in der Spannung zu sehen;
- der Emission als Belastungswert im Q-Index „β“ beim Betrieb der Anlagen. Je nach Verwendungszweck des Dokuments wird der Emissionsinhalt genutzt als Informationsinhalt des IST-Standes;

- einer Qualitätssituation der operativen Belastung am PCC oder IPC im Messfenster des Einzelmerkmals. Hier repräsentiert der Summenwert aller am Netzknoten eingespeisten Qualitätsbelastungen den Betriebspegel der Emission am Betrachtungspunkt auch gegenüber der Belastung vor- und nachgelagerter Netzknoten im Elektroenergieversorgungsnetz;
- einer Qualitätsfreigabe gegenüber der Emission einer Einzelanlage, die z.B. für einen Netzknoten in Beschaffung ist. Der dort im Emissionsbereich hinterlegte Belastungswert charakterisiert das vom Betreiber des Elektroenergieversorgungsnetzes freigegebene Band einer Zusatzbelastung im Einzelmerkmal einer Spannung.

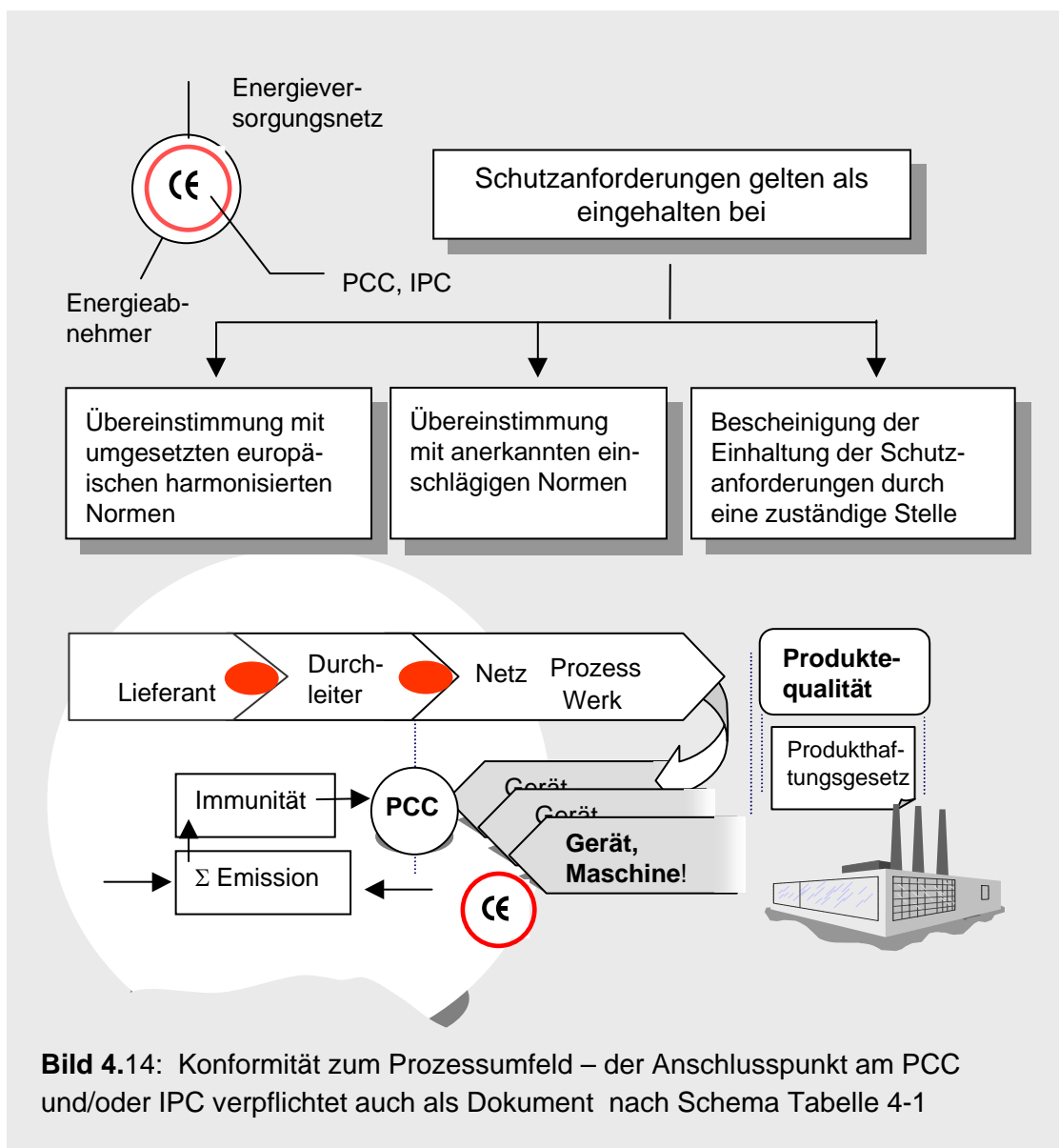


Tabelle 4-1: Dokument zum Prozessumfeld

	Kenngröße der Spannungsqualität																																																																																																																												
	Immunität Elektroenergie- abnehmer MIN	Emission																																																																																																																											
		Elektroenergiever- sorgungsnetz	Elektroenergieab- nehmer MAX																																																																																																																										
PCC																																																																																																																													
IPC ₁																																																																																																																													
.....																																																																																																																													
IPC _n																																																																																																																													
Standort Gebäude 130/8 Achse Station Maschennetz																																																																																																																													
Einzuhaltende Normen: EN 60204-1, EN 61000-2-4, BGV B1																																																																																																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Parameter Anlage – leitungsgebunden</th> <th colspan="2">Immunität (min)</th> <th colspan="2">Emission (max)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="6">Oberschwingung THD Spannung</td> </tr> <tr> <td>Oberschwingung Einzelwert</td> <td>0.2 kHz</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Spannung (Netz- u. Zwischenharm.)</td> <td>2..9 kHz</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Kommutierungseinbruch</td> <td>Tiefe</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Fläche</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="6">Transiente Überspannung</td> </tr> <tr> <td colspan="6">Zeitweilig netzfrequente Überspannung</td> </tr> <tr> <td colspan="6">Transienter Spannungseinbruch</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Kurze Spannungseinbrüche (Voltage Dip)</td> <td>Anzahl</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Dauer</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Tiefe</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="6">Schnelle Spannungsänderungen (<=20 ms)</td> </tr> <tr> <td colspan="6">Spg.änderungen und –schwankungen (< 1 min)</td> </tr> <tr> <td colspan="6">Spg.änderungen und –schwankungen (>=1 min)</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Kurze Unterbrechungen der Versorgungsspannung</td> <td>Anzahl</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Dauer</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="6">Signalspannung auf der Versorgungsspannung</td> </tr> <tr> <td colspan="6">Spannungsunsymmetrie / Unsymmetriegrad</td> </tr> <tr> <td colspan="6">Frequenzänderung</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Flicker</td> <td>Pst:</td> <td>Plt:</td> <td>Pst:</td> <td>Plt:</td> </tr> </tbody> </table>				Parameter Anlage – leitungsgebunden		Immunität (min)		Emission (max)		Oberschwingung THD Spannung						Oberschwingung Einzelwert	0.2 kHz					Spannung (Netz- u. Zwischenharm.)	2..9 kHz					Kommutierungseinbruch	Tiefe					Fläche					Transiente Überspannung						Zeitweilig netzfrequente Überspannung						Transienter Spannungseinbruch						Kurze Spannungseinbrüche (Voltage Dip)	Anzahl					Dauer					Tiefe					Schnelle Spannungsänderungen (<=20 ms)						Spg.änderungen und –schwankungen (< 1 min)						Spg.änderungen und –schwankungen (>=1 min)						Kurze Unterbrechungen der Versorgungsspannung	Anzahl					Dauer					Signalspannung auf der Versorgungsspannung						Spannungsunsymmetrie / Unsymmetriegrad						Frequenzänderung						Flicker		Pst:	Plt:	Pst:	Plt:
Parameter Anlage – leitungsgebunden		Immunität (min)		Emission (max)																																																																																																																									
Oberschwingung THD Spannung																																																																																																																													
Oberschwingung Einzelwert	0.2 kHz																																																																																																																												
Spannung (Netz- u. Zwischenharm.)	2..9 kHz																																																																																																																												
Kommutierungseinbruch	Tiefe																																																																																																																												
	Fläche																																																																																																																												
Transiente Überspannung																																																																																																																													
Zeitweilig netzfrequente Überspannung																																																																																																																													
Transienter Spannungseinbruch																																																																																																																													
Kurze Spannungseinbrüche (Voltage Dip)	Anzahl																																																																																																																												
	Dauer																																																																																																																												
	Tiefe																																																																																																																												
Schnelle Spannungsänderungen (<=20 ms)																																																																																																																													
Spg.änderungen und –schwankungen (< 1 min)																																																																																																																													
Spg.änderungen und –schwankungen (>=1 min)																																																																																																																													
Kurze Unterbrechungen der Versorgungsspannung	Anzahl																																																																																																																												
	Dauer																																																																																																																												
Signalspannung auf der Versorgungsspannung																																																																																																																													
Spannungsunsymmetrie / Unsymmetriegrad																																																																																																																													
Frequenzänderung																																																																																																																													
Flicker		Pst:	Plt:	Pst:	Plt:																																																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Parameter Anlage – feldgebunden</th> <th colspan="2">Immunität (min)</th> <th colspan="2">Emission (max)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Elektrisches Feld</td> <td>Abstand 1m (H-Feld in V/m)</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Magnetisches Feld</td> <td>Abstand 1m (E-Feld in V/m)</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Elektromagnetisches Feld</td> <td>Nahfeld</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Fernfeld</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> </tbody> </table>				Parameter Anlage – feldgebunden		Immunität (min)		Emission (max)		Elektrisches Feld	Abstand 1m (H-Feld in V/m)					Magnetisches Feld	Abstand 1m (E-Feld in V/m)					Elektromagnetisches Feld	Nahfeld					Fernfeld																																																																																																	
Parameter Anlage – feldgebunden		Immunität (min)		Emission (max)																																																																																																																									
Elektrisches Feld	Abstand 1m (H-Feld in V/m)																																																																																																																												
Magnetisches Feld	Abstand 1m (E-Feld in V/m)																																																																																																																												
Elektromagnetisches Feld	Nahfeld																																																																																																																												
	Fernfeld																																																																																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Parameter Netz</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Netzkurzschlussleistung S_K*</td> <td>Min:</td> <td>Max:</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Netzverhältnis (R/X)</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Netzart</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Netzbelastung S</td> <td>Vorbelastung</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Anfahrleistung neu</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Leist. Beharrung neu</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Parameter Netz			Netzkurzschlussleistung S _K *	Min:	Max:	Netzverhältnis (R/X)			Netzart			Netzbelastung S	Vorbelastung		Anfahrleistung neu		Leist. Beharrung neu																																																																																																								
Parameter Netz																																																																																																																													
Netzkurzschlussleistung S _K *	Min:	Max:																																																																																																																											
Netzverhältnis (R/X)																																																																																																																													
Netzart																																																																																																																													
Netzbelastung S	Vorbelastung																																																																																																																												
	Anfahrleistung neu																																																																																																																												
	Leist. Beharrung neu																																																																																																																												
Untertürkheim, _____ Lieferant Hr. _____																																																																																																																													

Tabelle 4-2: Beispiel für ein Dokument der Konformität des Elektroenergieabnehmers zum Elektroenergieversorgungsnetz

Als Geräte werden laut EMVG alle elektrischen und elektronischen Apparate, Systeme, Anlagen und Netze bezeichnet, die elektrische oder elektronische Bauteile enthalten.

4.4.2 Regeln der Umsetzung

Die Umsetzung erfolgt unabhängig ob es sich um gewerbliche oder industrielle Fertigungsanlagen handelt. Insbesondere im industriellen Umfeld ist es bereits beim Anschluss dieser Fertigungsanlagen (Elektroenergieabnehmer) an das Elektroenergieversorgungsnetz nach Bild 4.15 oder Bild 4.16 notwendig, entsprechende Regeln zu beachten. Die EG-Konformitätsvermutung, fokussiert auf die Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmers gemäß Bild 4.14, Abschnitt 4.4.1.2, sowie deren Konformitätsbeschreibung in der EG-Konformitätserklärung als Gebrauchsanweisung gegenüber den physikalischen Umgebungs- und Betriebsbedingungen am Aufstellungsort (Tabelle 4-2, Abschnitt 4.4.1.2), müssen sich auf das System als Ganzes beziehen. Es muss eindeutig sein, welche Kombination das System momentan bildet oder zukünftig bilden kann. Der Systemhersteller übernimmt nur dann als Anbieter die Verantwortung für die Einhaltung der Konformität nach EMVG – insbesondere deren Schutzanforderungen gegenüber Dritten – wenn er diese auch vom Nutzer, d.h. vom Betreiber, bzw. Auftraggeber schriftlich mitgeteilt bekommen hat. Wenn nicht vorhanden, treten verallgemeinerte Grundwerte, wie die nach DIN EN 60204-1, Punkt 4.3.2 Wechselstromversorgung, aber auch herstellerspezifische Umgebungsbedingungen an ihre Stelle. Spiegeln die in der überwiegenden Anzahl der Bestellungen dem Hersteller / Lieferanten offen gelasse-

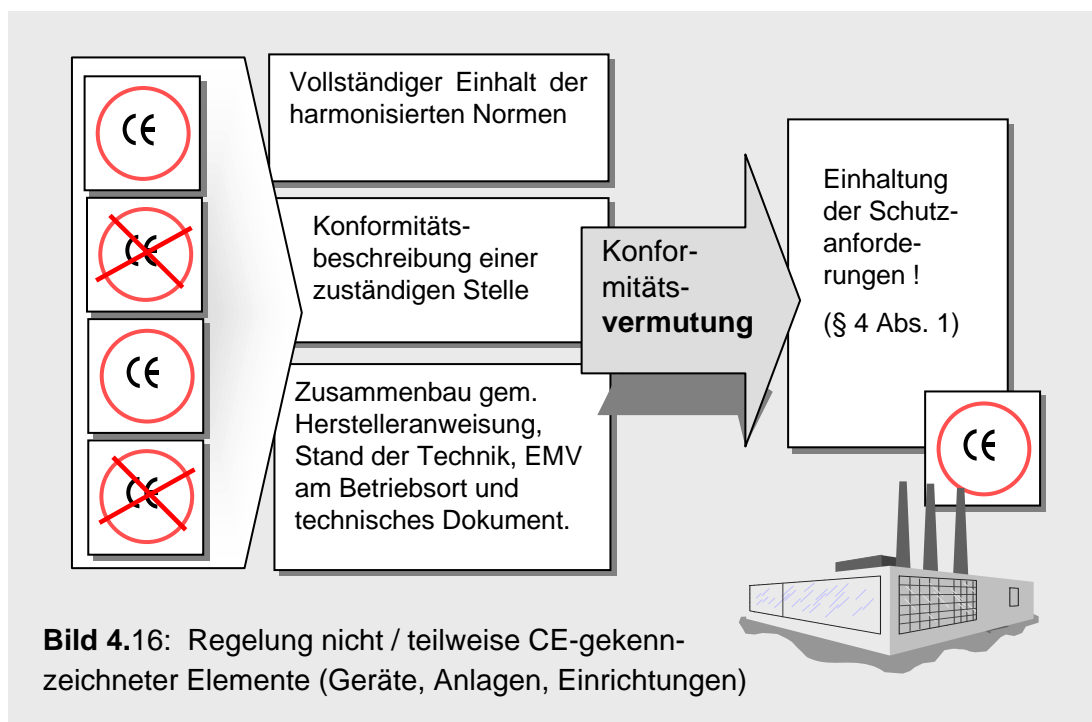
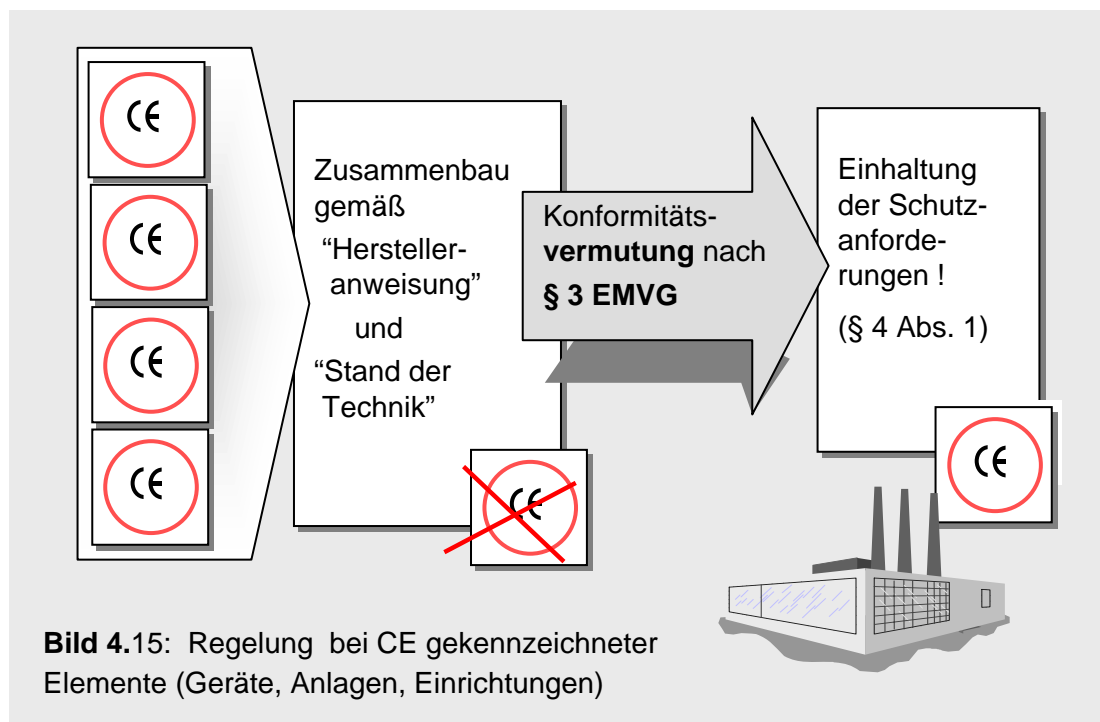


Bild 4.16: Regelung nicht / teilweise CE-gekennzeichneter Elemente (Geräte, Anlagen, Einrichtungen)



nen Umfänge nicht die am Bestimmungs- oder Einsatzort der Maschine oder des Gerätes vorherrschenden Bedingungen wieder, beruht die Konformitätserklärung des Lieferanten auf einer falschen Basisaussage und ist dadurch nach dem EMV-Gesetz rechtlich nicht bindend.

Folge:

Stets ist der Nutzer (Betreiber, Inbetriebnehmer) und nicht der Lieferant im Sinne einer juristisch haftenden Person verpflichtet für die Abdeckung bzw. Aufdeckung der Diskrepanz entsprechende Sorge zu tragen. Am Beispiel des Netzanschlusspunktes gilt dieses uneingeschränkt für die Parameter der EEQ über die Nutzungszeit des betrieblichen Einsatzes von Maschinen und/oder Geräte hinweg. Hier unterliegt die rechtlich relevante Verlagerung der Verantwortung zum Nutzer, gesehen als Verschiebung der Pflicht zur Sicherstellung der Sicherheit der Maschine nach EMVG und auf mögliche Einschnitte in der Gewährleistungsgarantie des Kunden (Betreiber) gegenüber dem Anbieter (Hersteller, Lieferant).

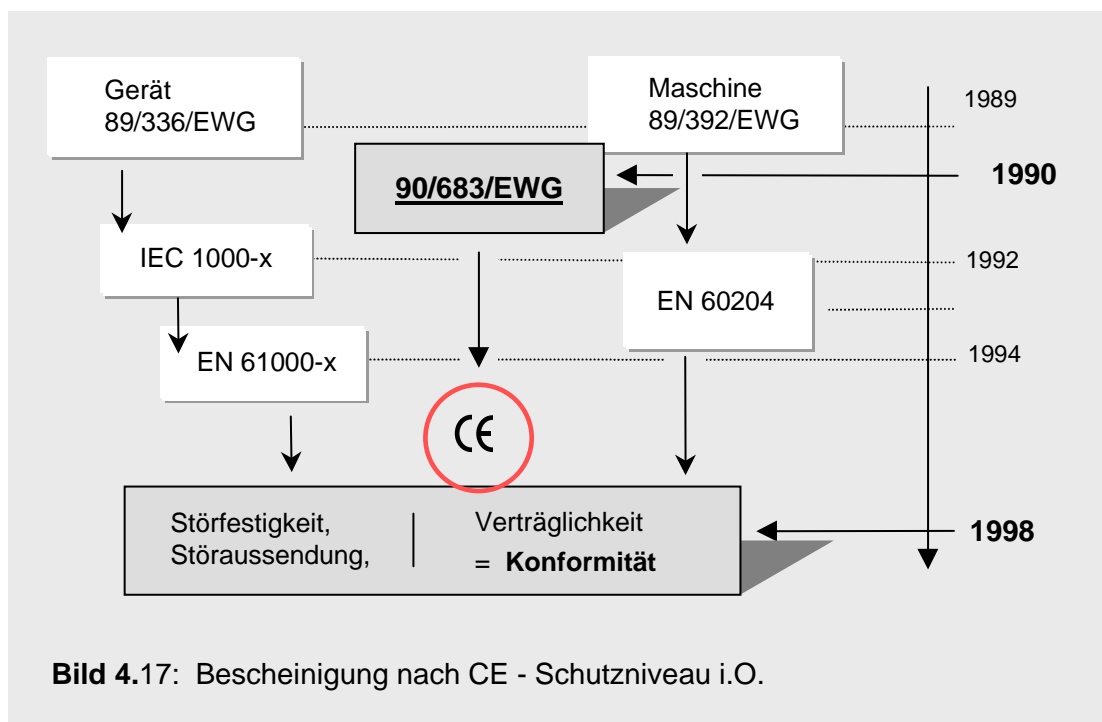
EMVG, §4, Abs. 1 beschreibt das Verfahren nach dem der Hersteller oder sein im europäischen Wirtschaftsraum niedergelassener Bevollmächtigter, unter den dort genannten betrieblichen Umständen – auch der Betreiber, Planer oder Einrichter einer

Maschine und/oder eines Gerätes selbst – sicherzustellen und zu erklären hat, dass die betreffenden Produkte (Maschinen und Geräte - Apparate, Systeme, Anlagen und Netze) und dessen betrieblicher Einsatz als Fokus innerbetrieblicher Umgebung am Nutzungsort den einschlägigen harmonisierten EG-Normen entspricht.

Der zuständige Bevollmächtigte (Hersteller, Lieferant, Betreiber, etc.) kennzeichnet dieses als juristisch voll haftende Person mit dem Anbringen – bei Herstellung / Lieferung / Erstinbetriebnahme – oder mit der Beibehaltung – Umstellungen / Erweiterungen / Betrieb – des CE-Kennzeichens und stellt eine entsprechende schriftliche Konformitätserklärung aus. Bei betriebsbedingter Neubewertung entspricht der Konformitätserklärung die der Konformitätsvermutung, die vom Ausstellenden persönlich zu unterzeichnen ist.

4.4.2.1 Freigabe zum Betrieb

Sicherheit zur Freigabe zum Betrieb, Sicherheit im Zeichen des CE-Symbols. Bild 4.17 macht dieses am Beispiel der EG-EMV-Richtlinie 89/336/EWG und der EG-Maschinen-Richtlinie 89/392/EWG in seiner Hierarchie und Struktur zum Normenwerk der EU noch einmal deutlich, ist kein Kavaliersdelikt. Wird der Konformitätsnachweis mit „i.O.“ vom Hersteller / Anbieter bei der Lieferung von Maschinen und/oder Gerä-



ten, bzw. vom Nutzer, respektive Betreiber bei der Veränderung, dem Umbau oder der Anpassung von Maschinen und/oder Geräten bescheinigt, so bestätigt er dem jeweiligen Wirtschaftsbeteiligten (Kunde, Mitarbeiter, etc.) durch seine Unterschrift unter die Konformitätserklärung oder –vermutung **juristisch bindend**, dass die Maschine oder das Gerät gegenüber **ALLEN**, dem Gemeinschaftsrecht relevanten Bewertungs- und Betrachtungsverfahren im Sinne ihrer harmonisierten Normen und Richtlinien und Gesetze unterzogen worden ist.

Dieses gilt implizit für die Thematik um die Schnittstelle als Element der physikalischen Umgebung und des technisch-technologischen Betriebs des Elektroenergieabnehmers am Elektroenergieversorgungsnetz, wie für die innerhalb der Elektrik des Elektroenergieabnehmers verarbeiteten Bauteile und Komponenten.

Im industriellen Prozess der Veränderung, des Umbaus oder der Anpassung von Maschinen, Maschinenanlage und Geräten – verallgemeinert als Infrastruktur des Nutzers bezeichnet – ist ein, in dieser Weise zu sehendes Element des Herstellers unter dem Deckmantel der Konformität qualitätsabsichernd zu verstehen. Innerhalb der schnell wachsenden industriellen Umgebung physikalischer Prozessbedingungen stellt gerade die Schnittstelle vielerorts einen GRAUEN, in den Prozess der Zertifizierung nicht eingebundenen Fleck dar. Ein umfassend wirkendes Konformitätssystem, das von der Beschaffung, über den Betrieb, bis zur Verschrottung einer Maschine, eines Gerätes wirkt, ist momentan im Umfeld des Autors nach Schema Bild 4.18 in Aufbau.

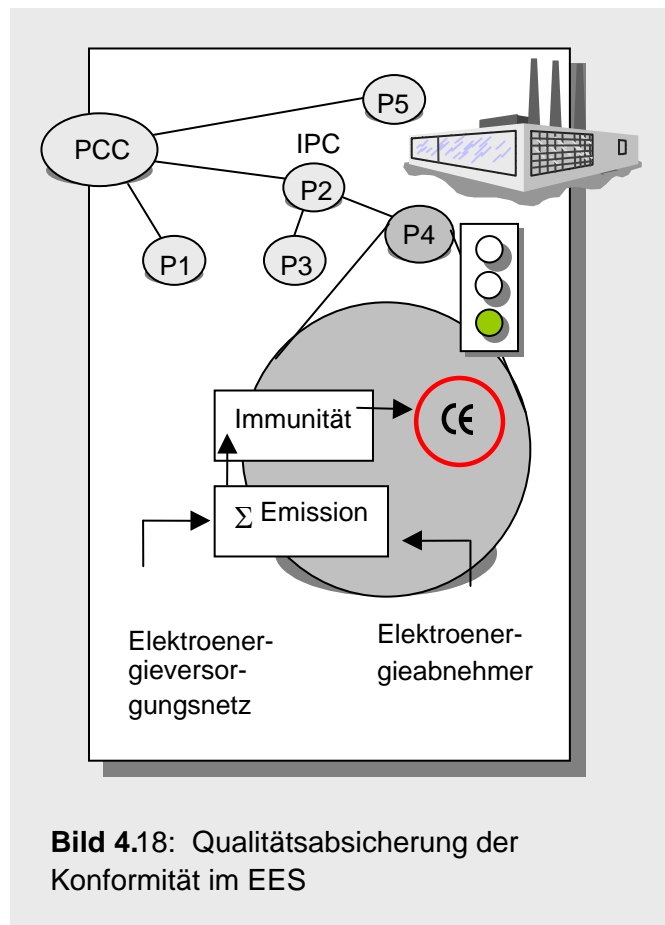


Bild 4.18: Qualitätsabsicherung der Konformität im EES

4.4.2.2 Sicherheit im Zeichen von 93/465/EWG

Mit dem Beschluss 93/465/EWG /51/ des Rates der Europäischen Union erweiterte die Gemeinschaft den Handlungsumfang der Konformität auch auf Bereiche der abgesicherten und kontrollierten Fertigung. Als Harmonisierung der Qualitätssicherung angesehen, stand ab Juli 1993 die Konformität beim Hersteller unter einem zusätzlichen Gesichtspunkt, und zwar dem Fokus der Absicherung einzelner Arbeitsschritte.

Heruntergebrochen auf Arbeitsinhalte um die Thematik der Schnittstelle als physikalisch-technische Einheit in der Planung und dem Betrieb infrastruktureller Komponenten ist der Beschluss 93/465/EWG ein weiteres Obligo, das im Auftrag des Unternehmens (Unternehmers) zur Sicherstellung konformer Verhältnisse sorgt. Seit der Einführung der Gewerbefreiheit haben die Unternehmen zu diesem Zweck die volle, rechtlich autark wirkende Organisationsfreiheit, und damit die Organisationsverantwortung. Diese Organisationsverantwortung wird durch internationale Organisationsnormen weder eingeschränkt noch konkretisiert. Der Unternehmer hat jedoch dann dafür einzustehen, wenn er der Überwachung und Prüfung nicht nachkommt. Ob er diese nicht richtig organisiert hat, oder deren Mangel bei einer richtigen Organisation entdeckt worden wäre, ist hier nicht der zu betrachtende Fakt. Fakt ist vor allem die konsequente Einbeziehung der Konformität in interne Abläufe, d.h. konkretisiert an realen Aufgaben. Dabei bezieht sich die Organisationsverantwortung – so auch aus Sicht des Bundesgerichtshofs /4/ – auf diejenigen rechtlichen Anforderungen aus Normen und Richtlinien, die im Rahmen des Gesetzes zur elektromagnetischen Verträglichkeit (EMVG) und des Gerätesicherheitsgesetzes (GSG) verabschiedet worden sind, und dem Unternehmen zum Abruf vorliegen. Geltend für die Anwendung und Umsetzung der Maschinenrichtlinie, der Niederspannungsrichtlinie, der Richtlinien über die elektromagnetische Verträglichkeit, etc. ist die nicht zu unterschätzende Verbindlichkeit zu sehen, die dort der Unternehmer der Absicherung seiner Mitarbeiter an dieser Stelle gegenüber dem Gesetzgeber eingeht.

Unangenehm wird es für den Unternehmer dann, wenn betriebliche Prozessgrößen zwar existent sind, die im Rahmen geforderter Bewertungsgrößen, z.B. nach geltendem EU-Recht im Bereich der Schutzanforderung von Maschinen und Geräten zu bewerten waren, der Unternehmer aber infolge fehlender Qualitäts-Sicherungs-Systeme diese nicht erfassen ließ, oder aus Budgetmangel nicht erfasst hatte. Hier ist eine Strukturierung von notwendigen und sinnvollen Aspekten konformen Planens,

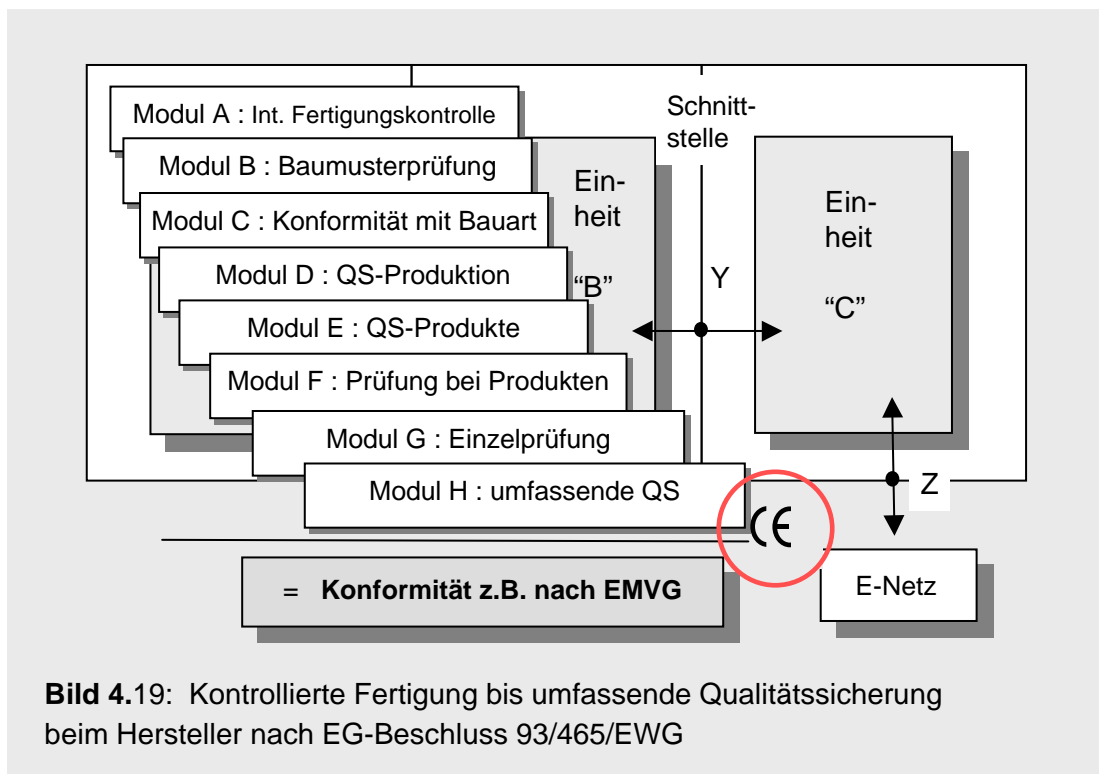


Bild 4.19: Kontrollierte Fertigung bis umfassende Qualitätssicherung beim Hersteller nach EG-Beschluss 93/465/EWG

Betreibens, Instandhaltens hilfreich. Der EG-Beschluss 93/465/EWG bietet dazu jede Menge Ansatzpunkte die hilfreich und unterstützend den spezifizierten Prozess des Nutzers kontrolliert zuzuordnen vermögen. Zur Sicherstellung der Konformität liegt es nahe, den fertigungsspezifischen Konformitäts-Sicherungs-Nachweis in Form entsprechender Qualitäts-Sicherungs-Systeme, z.B. im Bezug auf die nach EMVG geforderten physikalischen Umgebungs- und Betriebsbedingungen so zu fokussieren, dass eine rechtsverbindliche Dokumentation auch entstehen kann. Gerade die Konformität, zergliedert in eine Vielzahl Normen, Richtlinien und Regeln, bedingt hier die Strukturierung der Tätigkeiten in Tätigkeitsfelder, gegliedert beispielsweise in Module, oder Moduleinheiten nach Bild 4.19.

Die einzelnen Schritte in der Qualitätsabsicherung, Bild 4.19, werden als Konformitätsphasen bezeichnet. Konformitätsphasen gehen hier von „A“, wie interne Fertigungskontrolle bis „H“, umfassende Qualitätssicherung. Sie enthalten in Stufen die Verpflichtung zur Transparenz konformen Wirkens. Kontrollierte Fertigung nach der EG-Richtlinie des EG-Beschluss 93/465/ EWG nutzt im dort dargestellten Modul „D“ und „E“ bereits die Qualitätssicherung zur Produktion (Modul D) und zum Produkt (Module E). Die unter Modul „H“ vorgegebene umfassende Qualitätssicherung rundet die Konkretisierung des angestrebten Gesamtergebnisses der Konformität oder Kon-

formitätsvermutung sicherheitsrelevanter Umgebungs- und Betriebsprozesse gegenüber Dritten – auch als Dokument – nachvollziehbar ab. Charme hat eine derart eingebundene Konformitätssicherung vor allem unter Aspekten innerbetrieblicher Veränderung, beispielsweise bei Planung und Betrieb von Maßnahmen im EES. Ein lokaler Eingriff, z.B. durch Umbau, Erweiterung, Ergänzung, Umstellung oder Betriebsänderung, die einen spontanen, stochastischen oder auch schleichenden Verlust der Konformität, d.h. der Elektroenergiequalität am Netzanschlusspunkt im Bestandsbereich der Alt- und Neuanlagen (Elektroenergieabnehmer) zur Folge haben könnte, wäre im Konstrukt der Qualitätsabsicherung den einzelnen Stufen im operativen und strategischen Sinne zugeordnet, verbleibt jedoch stets in der Selbstverantwortung der Unternehmen.

Bild 4.20 zeigt am Beispiel allgemeiner Schnittstellen den Sicherheitsgedanken im EG-Beschluss 93/465/EWG unter Aspekten des Qualitätssicherungsbausteins „C“ als die Konformität mit der Bauart nach Schema Bild 4.19. Mit der Kennzeichnung der Schnittstelle A, B, C1 bis C3 der Elektroenergieabnehmer, Bild 4.20, Maschine 1, 2, 3, jeweils für sich mit Konformitätszertifikat CE „1“, bis CE „3“ ausgerüstet, charakterisiert der Autor am dort dargestellten Beispiel den direkten Verschachtelungsprozess der Maschinen (Schnittstelle A, B), vorzugsweise über mechanische und elektrische

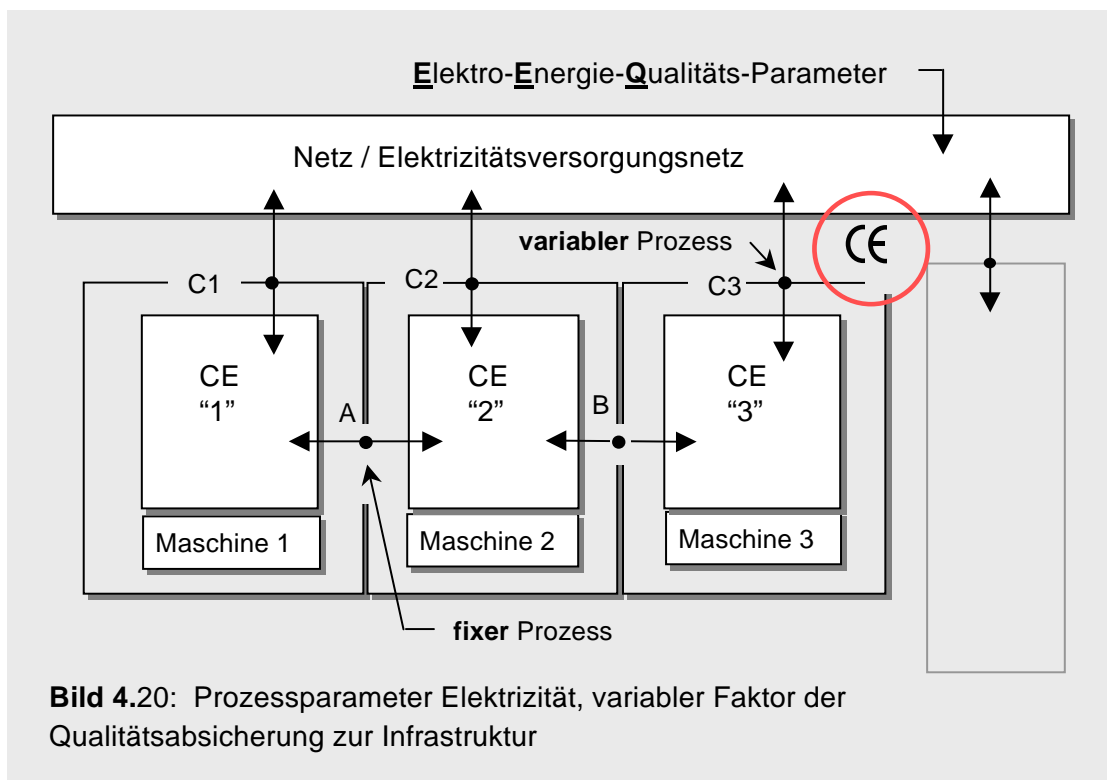


Bild 4.20: Prozessparameter Elektrizität, variabler Faktor der Qualitätsabsicherung zur Infrastruktur

Direktverbindungen, und den indirekten Verschachtelungsprozess von Maschinen (Schnittstelle C1, C2, C3) über das Netz (z.B. Elektroenergieversorgungsnetz, Erdungsnetz, Kommunikationsnetz, etc.). Im Gegensatz zu den meist fixen mechanischen Verbundprozessen (Bild 4.20, Teilprozess A: Maschine 1 zu 2, Teilprozess B: Maschine 2 zu 3) ist der Teilprozess über das dort eingezeichnete Elektroenergieversorgungsnetz ein Prozessgebilde, das von weiteren Prozessbeteiligten direkt, wie auch indirekt beeinflusst wird. Vom Autor als variabler Prozess bezeichnet, ist sein Prozessabbild über die Nutzungszeit der Maschine oder des Gerätes hinweg nicht abgesichert. Da die dort geltenden Parameter der Elektroenergiequalität nach EMVG stets ein Maß der Relevanz gegenüber der Bauart dort betriebener Elektroenergieabnehmer eine Kompatibilität darzustellen hat, ist die Bestimmung der Elektroenergiequalität als Konformitätsparameter der Elektroenergieabnehmer an Elektroenergieversorgungsnetzen ein stetiges muss.

Es gilt: Konform im Sinne des CE-Konformitätskennzeichen ist nur, wer alle Prozessparameter A, B, C1 bis C3, Bild 4.20, in seinem innerbetrieblichen Qualitätssicherungs- und Qualitätskontrollsystem organisatorisch integriert und technologisch eingebunden hat.

4.5 Fazit – Elektroenergieabnehmer

Unabhängig der Speisung von Elektroenergieabnehmern aus dem öffentlichen oder nichtöffentlichen Elektroenergieversorgungsnetz gilt es beim Betrieb von Elektroenergieabnehmern quantitative Grenzen gegenüber etwaigen Störphänomenen aus dem Elektroenergieversorgungsnetz festzulegen und einzuhalten. Fest verankert in Gesetzen, Normen und Richtlinien steht hier vor allem der Aspekt der elektromagnetischen Verträglichkeit zur Absicherung eines funktionalen Inhalts beim Elektroenergieabnehmers, d.h. der Vermeidung eines nichtkonformen finalen Prozesses an oberster Stelle. Hier muss der Kunde, besser der Nutzer eines Elektroenergieabnehmers und nicht der Lieferant, bzw. Hersteller vermehrte Kompetenz zeigen. Eingebunden im Portfolio einer juristischen Konsequenz gilt es vor allem die Elektroenergiequalität im Zeichen der Freigabe zum Betrieb durch Vorgabe in der Abstimmung, d.h. z.B. in der Parameterwahl einer Spannung in Form, Verlauf und Stabilität, klarer zu kennzeichnen. Gerade die im Steuer- und/oder Leistungsteil der Maschine und/oder des Gerätes verwendeten elektrischen und/oder elektronischen Bauteilen und Komponenten kennzeichnen den dort geforderten Qualitätskennfaktor am Produkt EE.

Konformität, ein Schlüsselwort um die Beschreibung der Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer nutzt den Faktor zwischen Anforderung und Gegebenheit um eine Abstimmung zu beidseitig kompatiblen Werten zu erzielen. Es gilt Themen anzufassen, die den Part der Selbstverantwortung beider Partner vermehrt in den Vordergrund bilateraler Aktivitäten rückt. Eine Messlatte in der Beziehungen zwischen Elektroenergiekunde und Elektroenergieerzeuger, bzw. Elektroenergielieferant an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieabnehmer und Elektroenergieversorgungsnetz gilt es darzustellen, die Probleme der Kunden (Wahrung der Immunitäten) und der Versorger (Minderung der Emission) gleichermaßen mitbetrachtet. Eine Partnerschaft in Form von Leistungen rund um das Thema der EE ist notwendig, die nicht nur agierend an Preishöhe und Flexibilität eine imaginäre Strategie naheilt, sondern ausgerichtet am Indikator der Elektroenergiequalität den Leistungsaustausch zwischen Lieferant und Kunde konform, d.h. abgestimmt reguliert. Gegenüber dem Produkt EE gilt hier vor allem zu sehen, dass der Preis allein noch keine Qualität darstellt. Qualität ist ein Element, das in Abhängigkeit der gegenseitigen Beziehungen die technischen, technologischen als auch organisatorischer Strukturen zu einem neuen Preis-Leistungs-Gebilde zusammenzuführen hat. Vor allem gilt die Devise, dass erst die Summe aller Kosten den Indikator für wahre Effizienz eines Preises und einer Leistung kennzeichnet, d.h. ein Produkt mit Qualitätsindikatoren der analog der Aussage aus Abschnitt 3 mit Q-Index „ α “ oder „ β “ zu handhaben ist. Die Kernkompetenz aller Partner eines Partner-Chips am und um den Netzanschlusspunkt der Zukunft ist gefragt. Vor allem die Kernkompetenz im Betriebsprozess beim Netzbetreiber, wie auch Kernkompetenzen im Beschaffungs- und Fertigungsprozess beim Netzkunden als Nutzer der Elektroenergieabnehmer am Elektroenergieversorgungsnetz zeigt hier neue Wege auf. Eine Kunden-Lieferanten-Strategie ist angesagt, die sich im Preis-Leistungs-Gap beider Partner positiv niederzuschlagen hat, denn billig im Preis des Warenproduktes muss nicht zwangsläufig preiswert innerhalb der Gesamtbilanzierung des Produktes bedeuten. Eindeutigkeit und Transparenz im Bezug auf die Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer führt am Ende langfristig zur

- Wirtschaftlichkeit, weil Kosten reduziert werden;
- Wirksamkeit, weil Effizienzen erhöht werden;
- Wissenschaftlichkeit, weil Daten valide und reliabel sind.

Eine 3-W-Wirkung entsteht, deren Grundkonzeption die Bildung von nutzungsorientierten Kennziffern zur Schaffung von Indikatoren als Wirkfaktoren enthält, so z.B. gesehen im Bereich des Energieverbrauchs, des Lastflusses und der Elektroenergiequalität, stets stehend unter dem Gesichtspunkt der Konformität nach EMVG. Vor allem zeigt sich durch die Anwendung konformer Fahrweisen, dass erst die Summenbilanz von Aufwand und Nutzen über alle Kosten hinweg den Aufschluss über notwendige und wirtschaftlich nützliche Ziele, Strategien und Strukturen am Netzanschlusspunkt der Netzanschlusspartner herausbildet. Zu den dort anzusetzenden Strategien zählt zusätzlich zur Wahrung elektromagnetischer Verträglichkeiten gegenüber physikalischen Umgebungs- und Betriebsbedingungen vor allem:

- die Schaffung benchmarkfähiger Aussagen;
- die Erstellung von Planungsdaten;
- die Überprüfung von Betriebsdaten.

Daraus ableitbare Konsequenzen sind in einer gemeinsamen Sprachregelung, d.h. in Form von Kennziffern und Wirkfaktoren einer Konformität nach Schema Tabelle 4-1 und 4-2, Abschnitt 4.4.1.2, darzustellen. Nicht der Einzelpegel von Störphänomenen ist dabei vielfach der innerbetriebliche Ausfallpegel, sondern sein kumulativ wirkender Summenpegel, wie auch sein stochastisch überlagerter Pegel. Hier bildet die zufällige Summierung einzelner Maxpegel, die sich zu einem Gesamt-Wirkungs-Pegel der Elektroenergiequalität zusammenfügen, den (nicht-)konformen Konsens. Nonkonformität führt zu beidseitigem Druck innerhalb einer vorhandenen Kunden-Lieferanten-Beziehung rund um das Medium EE. Die Schaffung einer gemeinsamen Sprachregelung ist deshalb oberste Prämisse aller Beteiligten im Elektroenergiegeschäft. Des-
halb: die Erstellung eines Alphabets im Zeichen von CE, so zu sehen als Konformität zum Produkt EE steht an, und wird beispielsweise umgesetzt durch:

- Schaffung optimierter betrieblicher Spielräume;
- Optimierung der vorhanden Netze betreffend
 - ihres Aufbaus,
 - ihrer Elemente und
 - ihrer Vernetzung;
- Optimierung betrieblicher Elemente im Bereich der Störfestigkeit und Störaussendung;

- Trennung des Störers (Quelle) vom gestörten Bereich (Senke);
- Vermeidung verstärkter Wechselwirkung zwischen Lieferant, Durchleiter und Kunde;
- Bildung von Kennziffern gegenüber allen Parametern des Qualitäts-Management- und Qualitäts-Sicherungsprozesses, beim Lieferanten, wie auch beim Kunden.

Selbstverantwortung beider Partner heißt das Motto. Selbstverantwortung im Denken und im Handeln zeigt beispielsweise Bild 4.21 als Resümee aus Abschnitt 4. Daran festgemacht wird die weitere Vorgehensweise, die nicht mehr an der Pegelbetrachtung zwischen „high-quality“ und „low-quality“ als Grenze der Merkmale der Versorgungsspannung in öffentlichen oder nichtöffentlichen Elektroenergieversorgungsnetzen ausgerichtet ist, sondern an der notwendigen oder freigegebenen Konformität gegenüber dem Leistungsbild des Elektroenergieabnehmers selbst. Die Verantwortung gegenüber dem EES wächst für alle Partner. Unabhängig dem Status der Versorgung aus dem allgemeinen und/oder spezifischen Versorgungsnetz heraus, ist der Handlungsrahmen der Schutzzielbewertung auch unter dem Aspekt der betrieblichen Zertifizierung im Qualitätssicherungs- und Qualitätsmanagementprozess zu betrachten. Insbesondere der dort wirkende Rechtsbereich zur Elektroenergiequalität gegenüber der Schnittstelle als Risikogebilde finaler Funktion zum Produkt oder zum Prozess, setzt den weiteren Fokus in der Dissertation.

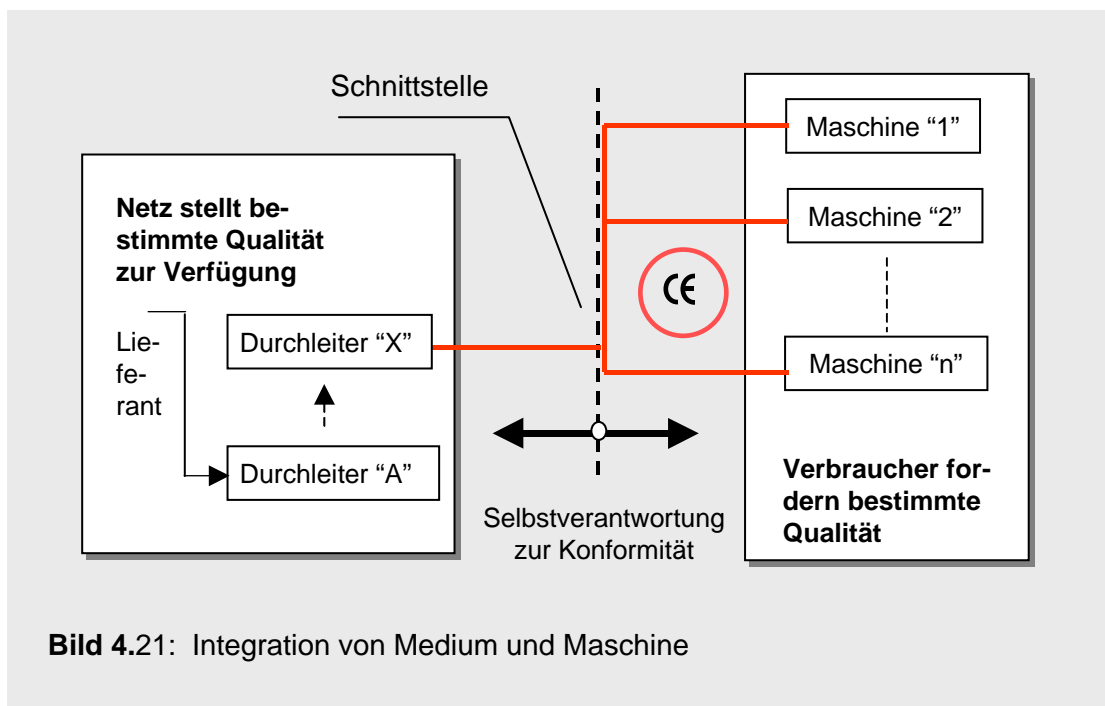


Bild 4.21: Integration von Medium und Maschine

5 Schnittstelle im EES

5.1 Schnittstelle, juristischer Imperativ der (BE-)Nutzer

Die Schnittstelle im EES, Bestandteil der Betrachtung der Konformität nach EMVG bindet die Elektroenergiequalität im Sinne

- der Forderungen der EG-Maschinen-Richtlinie an das Produkt Maschine, Beispiel: **Abnehmer** „elektrischer Energie“ (Elektrizitäts-**Stecker** – nach der Sicherheitsgruppennorm DIN EN 60204-1 /18/ oder dessen spezifischen Produktnormen elektrischer Komponenten und Antriebe);
- den Anforderungen der EG-EMV-Richtlinie an das Produkt EE im EES, Beispiel: **Anbieter** „elektrischer Energie“ (Elektrizitäts-**Steckdose** – nach der Produktnorm DIN EN 50160 /15/).

Der Nutzer, nach EMVG die juristische Person des Betriebsprozesses, hat die Aufgabe als Verpflichtung zu übernehmen die Anforderungen zwischen Abnehmer und Anbieter des Produkts EE als Stecker-Steckdosen-Kombination unterschiedlichster Partner eines Partner-Chips der Nutzung als Kombination der Kompatibilität zueinander ins Verhältnis zu setzen. Ziel ist das Entstehen der Konformität als Ergebnis der Übereinstimmung der Parameter der Elektroenergiequalität.

5.1.1 „Corporate Identity“ der Schnittstelle

Bild 5.1 interpretiert die momentane Aufgabenstellung an und um das Segment der Schnittstelle mit der beispielsweise ein (BE-)Nutzer konfrontiert wird. Vom Autor globalisiert als „Corporate Identity“ der Schnittstelle bezeichnet, gilt es für den Benutzer der Gesamtkombination den, durch den kleinen Schritt – Hauptschalter EIN, Stecker in Steckdose stecken – hervorgerufenen Nutzungseffekt in einen allgemeingültigen Vorgang einzubeziehen, der auf der Konformitätsdarlegung der Elektroenergiequalität basiert. Im Moment des Leistungsabrufs von Anbieter „A“ (Bild 5.1, Lieferant Produkt EE) und Anbieter „B“ (Lieferant Maschine, Gerät) tritt für den Benutzer nach Abschnitt 2 §3 EMVG (Schutzanforderungen) der in Bild 5.1 als Anbieterabgleich deklarierte juristische Imperativ der Nutzung in Kraft. Er, der Benutzer der energetischen Kombination ist im Moment der Zuschaltung der alleinig wirkende Personenkreis der zwischen Funktionalität und Nichtfunktionalität, d.h. zwischen Sicherheit und Nichtsicherheit eines energetischen Prozesses entscheidet. Mit der Zuschaltbereitschaft erklärt der

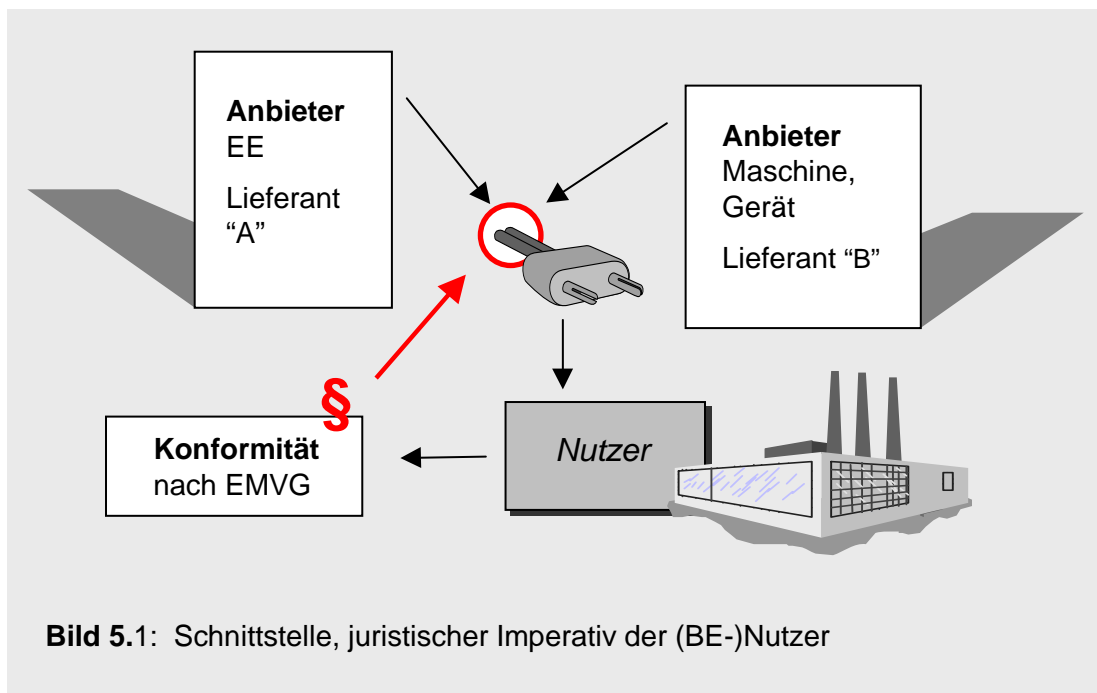


Bild 5.1: Schnittstelle, juristischer Imperativ der (BE-)Nutzer

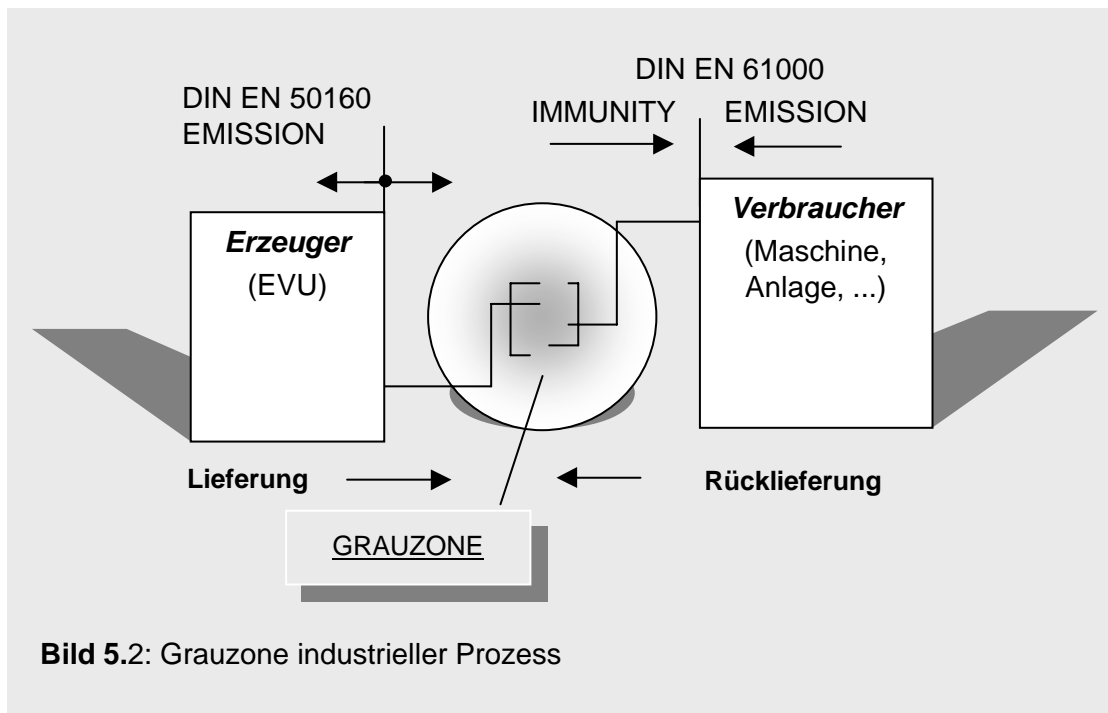
Benutzer eines Elektroenergieabnehmers (Maschine, Gerät) seine Zustimmung zu den allgemeinen Betriebsbedingungen beider Partner. Für das Warenprodukt EE bedeutet das, dass der Benutzer die Elektroenergieversorgungsquelle, z.B. den Indikator der Spannung in Form, Verlauf und Stabilität auf die Bedürfnisse des Elektroenergieabnehmers abgestimmt hat. Hier gilt die Erklärung nach Abschnitt 4.4.1.1 dann als erfüllt, wenn die Abstimmung der Emission und der Immunität des Elektroenergieabnehmers über die Kopplung des Elektroenergieversorgungsnetzes hinweg (Bild 5.1 dargestellt als manuelle / mechanische Kopplung, respektive Zuschalten des Schalters, Einstecken des Steckers in die Steckdose) keinen funktionalen Defizit auf beiden Seiten hervorruft. Für die Garantie der Einhaltung der Grenzen der Elektroenergiequalität steht im ersten Moment des Schadenfalls nicht der in Bild 5.1 eingezeichnete Lieferant „A“ oder Lieferant „B“, sondern zu aller erst der Nutzer als Auslöser einer Aktion und Reaktion im EES. Im Grunde garantiert der Nutzer bei der Benutzung den beiden Vertragspartnern (Lieferant „A“: Anbieter EE / Lieferant „B“: Anbieter Maschine, Gerät),

- dass der Elektroenergieabnehmer nicht mit Emissionen oberhalb der dort in der Produktvorschrift hinterlegten Immunitäten betrieben wird;
- dass das Elektroenergieversorgungsnetz nicht durch Emissionen des Elektroenergieabnehmers so belastet wird, dass es weitere Elektroenergieabnehmer im EES, d.h. im lokalen oder globalen Umfeld stört.

Sind die Emissions- und die Immunitätswerte zum Zeitpunkt der Zuschaltung konform zum Dokument der Konformitätserklärung des Lieferanten „A“ (Anbieter der Ware EE) und dem Lieferanten „B“ (Anbieter der Ware Maschine, Gerät), z.B. nach Tabelle 4-1, und 4-2, Abschnitt 4.4.1.2, handelt der Nutzer konform. Eine Differenzabweichung zwischen dem dort als Dokument nach §3 EMVG hinterlegtem Konformitätsabgleich trifft den, der die Grenzen verfehlt (Lieferant „A“, Lieferant „B“) oder denjenigen, der als Gesamtverantwortlicher – beispielsweise: **Planer der Maßnahme** – für die Grenzen in Immunität und Emission verantwortlich war, d.h. **den Abgleich zum EES** vorgenommen hat.

Geräte-, Maschinenanbieter, wie auch Elektroenergieversorger nutzen gezielt verifizierter Produktnormen meist ausgerichtet auf Grenzgrößen einzelner Produktgruppen, wie Bauteile, Komponenten, Systeme und Apparate. Begrenzt auf different deklarierte Inhalte der EEQ geben sie dem Betreiber die Grenzgrößen des lokalen Elektroenergieversorgungsnetzes gezielt vor. Zum Nachteil des Nutzers wirkt die Grenzwertvorgabe - in der Regel die der Immunitätsanforderung (Störfestigkeit) – nicht auf das Gesamtsystem, sondern vorwiegend auf dort verwendete, in sich abgeschlossener Teile und Komponenten (Stellantriebe, Mess- und Regeleinheiten, Sichtstationen, etc.). Das funktionale Zusammenspiel aller spezifischen Elemente eines Gerätes oder einer Maschine bleibt außen vor. Auch der Einbezug des Emissionsverhaltens von Teilen der Anlage gegenüber weiteren Komponenten, Geräten und/oder Maschinen, respektive dem Eigenanteil der über das Produkt EE wieder rückkoppelnd aus dem Elektroenergieversorgungsnetz als Zusatzbelastung zur Netzgrundbelastung die Immunität beeinflusst, wird oft nicht angegeben.

Ein zweifelsohne rechtlich relevanter Graubereich gegenüber Störphänomenen vom und zum Elektroenergieversorgungsnetz tritt auf, der nicht zu Lasten des Herstellers, respektive Lieferant ausgetragen wird, sondern stets zu Lasten des Gesamtverantwortlichen einer Maßnahme, d.h. dem Planer, Betreiber, Nutzer. Gegenüber dem im Bild 5.2 vom Autor als Grauzone der Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer bezeichneten Vermaschungspunkt gilt es deshalb mit gebührender Sorgfalt umzugehen. Mit dem dort provokant eingezeichneten Fragezeichen im Graubereich, d.h. der „Grauzone EE“ an der Schnittstelle zwischen Erzeugung (Elektroenergieversorgungsnetz) und Verbrauch (Elektroenergieabnehmer), stellt sich die Frage: wer reguliert und wer macht wem im operativen und strategischen Geschäftsbereich welche Vorgabe?



Beispiel aus dem Umfeld des Autors:

Zur Analyse von Produktionsabläufen, Fehler- und Ausfallereignissen und –statistiken von Produktionsanlagen galt es am Beispiel der Planung und Beschaffung mehrere Prüfstände über einen Generalunternehmer (GU) das technologische Equipment der Investmaßnahme durch EINE ganzheitlich gültige Konformitätserklärung funktional abzusichern. Angedacht war eine Betrachtung der elektromagnetischen Verträglichkeit als Gesamtsystem (Blackbox der Investition) zur bereits vorhandenen Infrastruktur am Elektroenergieversorgungsnetz. Darzulegen galt hier die Unterschreitung des Grenzmerkmals der Elektroenergiequalität zwischen Emission und Immunität im funktionalen Betrieb der Gesamtanlage.

Doch gerade hier zeigte die Realität ein erschreckendes Bild. Zwar gab es vom GU für den Betreiber der Anlage jede Menge an Einzeldokumenten als Konformitätsdarstellung gewisser Zulieferanten zu allerlei Produktnormen, doch kein Gesamtdokument mit detailliertem Wertinhalt zum Elektroenergieversorgungsnetz. Erschreckend war: keiner der beteiligten Unternehmen war bereit über die als Teildokumente dort vorliegenden Verbindlichkeitsaussagen der verwendeten Bauteile und Komponente hinaus eine Aussage zur elektromagnetischen Verträglichkeit der Gesamtanlage nach EMVG, geschweige über den Verbund mit den dort wirkenden Peripheranlagen zu geben.

Gravierend zu Tage trat vor allem der Fakt, dass der im Einzeldokument der Konformitätserklärung dargelegte Verträglichkeitspegel eine differenzierte Umgebung zu betrachten hat. Je nach Standpunkt des Teillieferanten wurden Normen speziell für den am Einzelement darzustellenden Nutzungsinhalt angezogen, wie beispielsweise der DIN EN 50160 für die Elektroenergieversorgungs-komponenten der Gebäudeversorgung, der DIN EN 50178 für die Ausrüstung von Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebsmitteln, die DIN EN 61800 für drehzahl-geregelte Antriebe, etc.. Darauf aufbauend entstand ein Abbild der elek-

tromagnetischen Verträglichkeit leitungsgebundener Störungen des GU nur da, wo der momentane Pegelwert der Einzelphänomene nach Abschnitt 2.3.2.1 bis 2.3.2.8 den gemeinsamen Mengewert, d.h. das gemeinsame Vielfache unterschiedlichster Normen und Richtlinien – schematisiert dargestellt in Bild 5.3 – nicht überschreitet.

Ein weiteres Beispiel:

Die These der indifferenten Abdeckungen bilateraler Partner am Beispiel der Elektroenergiequalität am gemeinsamen Vermaschungs- oder Vernetzungspunkt, Bild 5.3, zeigte auch am Beispiel der transienten Spannungsänderung beim Zuschalten einer Mittelspannungskompensationsanlage seine nicht unerhebliche Wirkung im Werknetz des betrachteten Industrieunternehmens. Bereits in Abschnitt 2.3.2.2 angezogen, bewirkte der transiente Spannungseinbruch des Zuschalt-effektes am Mittelspannungskondensator das Ansprechen der Sicherheitseinrichtung im Stellantrieb einer Antriebseinheit zur Entfettung von Produktionskomponenten (Waschmaschine) mit zyklischer Unterbrechung der gesamten Produktionsstätte. Die dort vom Lieferant des Stellantriebs eines Leistungsmotors angezogene Konformitätserklärung basierte ausschließlich auf Produktmerkmalen die transiente

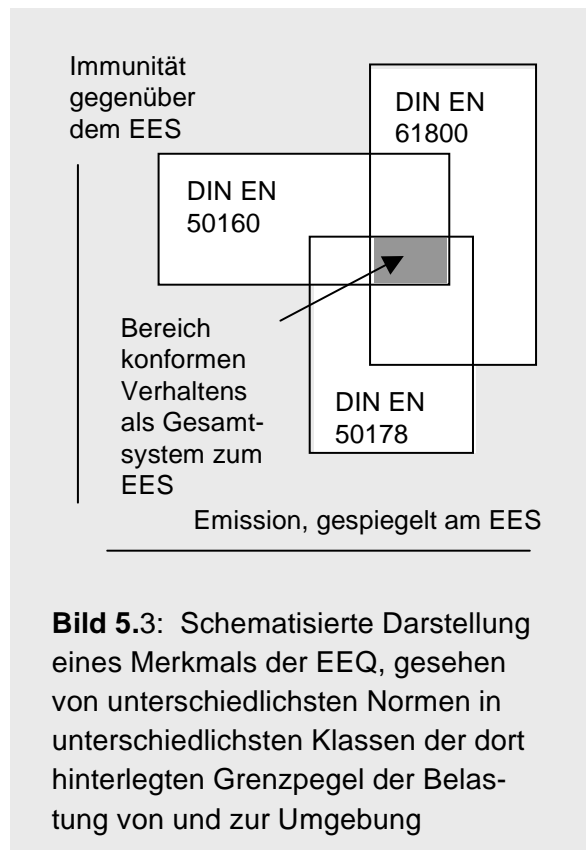


Bild 5.3: Schematisierte Darstellung eines Merkmals der EEQ, gesehen von unterschiedlichsten Normen in unterschiedlichsten Klassen der dort hinterlegten Grenzpegel der Belastung von und zur Umgebung

Spannungsänderungen mit hoher Flankensteilheit aus dem Elektroenergieversorgungsnetz heraus nicht vorsah. Dagegen betrachtete die Produktnorm des internen Elektroenergieversorgers im dort hinterlegten Leistungsportfolio derartige Störphänomene als völlig normale Störphänomene beim Betrieb von Elektroenergieversorgungsanlagen. Die Frage nach der Vermeidung einer derartigen Disharmonie in der Detailabstimmung blieb im Fall des Stellantriebes dem Nutzer überlassen. Beide Partner – Lieferant Stellantrieb und Lieferant Produkt EE – handelten aus ihrer Sicht heraus konform, doch hatten beide gegenüber dem Störphänomen – transiente Spannungsänderung mit hoher Flankensteilheit – keinen gemeinsamen Mengenpunkt zur elektromagnetischen Verträglichkeit.

Der Störfall Prüfstandseinheit und Stellantrieb steht symptomatisch für eine ganze Reihe von Störphänomenen im Umfeld des Autors, die zwar als Teilfunktionseinheit die geforderte Konformität dokumentieren, doch in einer unglücklichen Kombination – falsche Maschine am falschen Netzanschlusspunkt – momentan negativ agieren.

5.1.2 Betreiber als Nutzer der Schnittstelle

Die Aussage aus Abschnitt 5.1 „falsche Maschine am falschen Ort“ zeigt dem Nutzer den momentanen Interpretationsraum qualitativer Abstimmung zwischen Lieferanten und Nutzern von Elektroenergiekenngößen im EES. Doch der Rechtsbereich im Sinne der Benutzung elektrischer Anlagen und Einrichtungen (Elektroenergieabnehmer) durch den Betreiber oder Nutzer nimmt darauf keine Rücksicht. Hier obliegt es der prozessverantwortlichen Person der Nutzung von Elektroenergieabnehmern den Qualitätsinhalt am Produkt EE so verfügbar zu halten, dass ein sicherheitsrelevantes Problem an den Produktionsanlagen nicht auftreten kann. Aus ökonomischer Sicht gilt dieses Bestreben auch für den Part der Funktionalität einer Produktionsanlage. Die Konsensfindung liegt hierbei vor allem im Interesse des Kunden selbst einen gesicherten Funktionsinhalt gegenüber dem Medium EE zu erzielen. Nicht nur das Finden der elektromagnetischen Verträglichkeit am Objekt ist dabei das Maß aller Dinge, sondern vor allem die nach §4 EMVG zu wahrende Sicherstellung der Sicherheit über den Betriebszeitraum des Elektroenergieabnehmers hinweg, ist dort ein Dokument mit hohem Anspruchswert. Dabei genügt es nicht nur innerbetriebliche Grenzwerte zu fixieren und darauf zu achten, dass betriebliche Maschinen und Geräte diese Pegel als Beispielsrechnung einer ortsbezogenen, d.h. begrenzt zu betrachtenden summa-

rischen Addition der Einzelpegel (statische Betrachtung) nicht überschreiten, man muss vielmehr die Dynamik des Gesamtnetzes, d.h. deren vor- und nachgelagerten Netznutzer mit ins Kalkül der Überlegungen einbeziehen (dynamische Betrachtung). Das Störpotential ist so vielschichtig, wie die Nutzer selbst. Die Sorgfalts- wie auch Verkehrssicherungspflicht am Beispiel des Produkthaftungsgesetzes § 823 BGB /6/ verpflichtet Hersteller, Betreiber und Benutzer von gewerblichen, wie auch industriellen Einrichtungen gleichermaßen rechtsverbindlich zur Handlung. Handlungsfelder analog Tabelle 5-1 entstehen, die das Defizit zur EEQ im EES in Stufen charakterisieren ohne deren Wichtung als Merkmal zu berücksichtigen.

Handlungsfeld 1	Das Elektroenergieversorgungsnetz beeinflusst den Elektroenergieabnehmer durch schlechte Spannungsqualität im Energiebezug
Handlungsfeld 2	Der Elektroenergieabnehmer beeinflusst sich selbst und Dritte durch die Rückwirkungen elektrischer Energie am Verknüpfungspunkt und die daran gekoppelte Verschlechterung der Spannungsqualität am PCC und/oder IPC
Handlungsfeld 3	Das Elektroenergieversorgungsnetz und der Elektroenergieabnehmer verfahren am identischen Verknüpfungspunkt nach unterschiedlichen Vorgaben und Richtlinien / Elektroenergieversorger: VV Strom II plus; Elektroenergieabnehmer: EMV-Richtlinie
Handlungsfeld 4	Der Elektroenergieabnehmer beeinflusst bzw. mindert durch Rücklieferung elektrischer Energie die Spannungsqualität des Elektroenergieversorgungsnetzes

Tabelle 5-1: Handlungsfelder

5.1.3 Zertifikat der Benutzung

Das Übereinstimmen von (Mindest-)Anforderungen internationaler wie auch nationaler Normen (IEC / EN / DIN EN) mit den normativen Möglichkeiten innerbetrieblicher Umsetzung und Anwendung kennzeichnet den Rahmen der betrieblichen Selbstorganisation. Akkreditierte Organisationen, wie beispielsweise der TÜV, die DEKRA als Vertreter nationaler Körperschaften, so zu sehen als Zertifizierer haben diese zu bewerten. Bewertet wird die Konformität organisatorischer Strukturen innerhalb der Unternehmen, die dem Unternehmer mit einem entsprechenden Dokument (Zertifikat) übergeben wird.

Zertifikate im Rahmen des betrieblichen Zertifizierungsprozesses, gespiegelt am Beispiel DIN ISO 9001, 9002 oder folgende, sind keine handels- oder vertragsrechtlich wirkende Formen betrieblicher Aktivität. Demzufolge können sie auch keine rechtlich relevante Wirkung entfalten oder verhindern. Zertifikate zu Qualitäts-Management-Systemen (QM-Systemen) sind ausschließlich Bestätigungen, dass Teile der betrieblichen Organisation und/oder einzelne Abläufe innerhalb dieser Organisation den Mindestanforderungen einschlägiger Normen und Richtlinien entsprechen. Im vorliegenden Fall der Schnittstellenbetrachtung zwischen Elektroenergieabnehmer und Elektroenergieversorgungsnetz ist dieses im innerbetrieblichen Prozessablauf nicht gegeben. Die netzseitige Absicherung zur notwendigen Qualität am Produkt EE ist unter Qualitäts-Management-Aspekten nicht zertifiziert, respektive unter dem Gesichtspunkt elektromagnetischer Verträglichkeit nach EMVG risikobehaftet.

Über Risiken und rechtliche Aspekte spricht der Haftpflichtverband der Deutschen Industrie im Heft III von Oktober 89, Titel: Qualitätssicherungs-Systeme, Normen und Zertifikate /30/. Die von L. Rothe 1993 herausgegebenen rechtlichen Aspekte der Zertifizierung von Qualitäts-Management-Systemen /39/ ergänzen die dort getroffene Aussage zum Qualitäts-Managementsystem und bildet mit Blick zur Forderung nach Konformität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer folgende Aussage: Das Qualitätsmanagement-Systeme als momentan gehandhabte System im innerbetrieblichen Prozessablauf ist nicht dazu geeignet den Qualitätsaspekt konformer Maschinen und Geräte nach EMVG als Aussage der Eignung für bestimmte Anwendungen zu treffen. Das unter Abschnitt 5.1.1 angesprochene technische Graufeld (industrielle Grauzone) ist durch ein ergänzend wirkendes organisatorisches Kennfeld, beispielsweise der EMV-Planung im Vorfeld einer Maßnahme zu konkretisieren.

5.1.3.1 Zertifikat, Rechtsform im QS-Prozess

Zertifikate seitens des Anbieters von Waren oder Dienstleistungen entlastet den Nutzer dieser Ware oder dieser Dienstleistung nicht den Konformitätsgedanken nach EU-Recht auch nach dem Kauf oder der Inbetriebnahme weiterhin aufrecht zu halten. Dieses wurde in den vorangegangenen Abschnitten mehrfach und ausführlich aus unterschiedlichster Sicht dargelegt. Unabhängig der dort angezogenen Anforderungen aus Sicht des öffentlichen Rechts heraus (EMVG, GSG, etc.), stellt das Straf- und Zivilrecht zusätzliche Anforderungen an die Sicherheit von Produkten und damit

an den Qualitäts-Sicherungs-Prozess (QS-Prozess) im Unternehmen. Das Erfüllen von (Mindest-)Anforderungen als EG-Richtlinie oder harmonisierte EN-Normen ist zwar eine Voraussetzung für Herstellung und Vertrieb von Produkten des öffentlich-rechtlichen Bereichs, doch Vertragsrecht, übervertragliches Recht als Zivil- und Strafrecht nutzen nach L. Rothe /39/ verbindliche Querverweise und Abhängigkeiten.

Hier gilt: Alle vier Rechtsformen (öffentliches Recht, Vertragsrecht, übervertragliches Recht als Zivil- und Strafrecht) gelten stets gleichzeitig nebeneinander. Sie sind alle gemeinsam von den Unternehmen sowohl für Produkte, als auch für deren Verfahren und Dienstleistungen zu berücksichtigen und im Rahmen der Konformität als Rechtsform im betrieblichen Konsens als QS-Prozess zu erfüllen.

Öffentliches Recht

Im öffentlichen Recht werden durch Rechtsformen, z.B. Gesetze, Rechtsverordnungen allgemeine, produktspezifische Anforderungen gestellt und dafür Gesetze festgelegt. Das Gerätesicherheitsgesetz, wie auch das **EMV-Gesetz** fällt unter diese Rubrik und damit auch Verstöße gegen die Maschinen- und/oder EMV-Richtlinie. Das Erfüllen dieser allgemeinen Anforderungen des öffentlichen Rechtes ist notwendige Voraussetzung um Produkte in den Verkehr zu bringen. Es sind stets Mindestanforderungen, die von den Unternehmen – nicht nur den Lieferanten, sondern vielmehr der **Betreibern von Geräten** (Maschinen, Apparate, Systeme, Anlagen und Netze) – zu erfüllen sind. Sie dürfen in ihrer Funktionssicherheit nicht geändert, sondern höchstens übertroffen werden.

Vertragsrecht

Im Verkehr zwischen den Unternehmen setzen allgemeine Rechtsnormen des Vertragsrechts Grenzen für Vereinbarungen. Damit sind auch für die Unternehmen mitteilbare Grenzen gesetzt, deren Einhaltung Voraussetzung rechtlich wirksamer Verträge sind. Was dieser Grenze nicht entspricht, ist von Beginn an rechtlich unwirksam und kann auch nicht durch zweiseitige Vereinbarungen wirksam gemacht werden.

Übervertragliches Recht

- a) Zivilrecht: Rechtsnorm des Zivilrechtes stellen Anforderungen, wie z.B. allgemeine Gesundheits- und Sicherheitsanforderungen an Produkte und Verfahren die einzuhalten sind, auch wenn öffentlich rechtliche Vorschriften dafür nicht beste-

hen. Werden diese Bedingungen nicht eingehalten und erleiden Unternehmen oder private Endverbraucher Nachteile, so sind sie als Verursacher zu Schadensersatzleistungen verpflichtet. Wichtigster (Teil-)Bereich des Zivilrechts ist die Produkthaftung, sowohl nach der Rechtsprechung, als auch dem Produkthaftungsgesetz. Unbekannterweise gilt diese zivilrechtliche Handhabbarkeit auch für das Produkt EE, da sein Qualitätsmerkmal Spannung beispielsweise über die Merkmalbeschreibung nach DIN EN 50160 /15/ handel- und verhandelbar ist. Dieses setzt voraus, dass der Nutzer des Produktmerkmals EE den Produktinhalt unter dem Aspekt der EMV nach EMVG als Konformität der EEQ zwischen Elektroenergieabnehmer und Elektroenergieversorger mit allen Partnern des Netzanchlusspunktes (Lieferant Elektroenergieabnehmer / Lieferant Produkt EE) definiert, und im Liefervertrag (Produkt Elektroenergieabnehmer / Produkt EE), respektive Netzanschlussvertrag (Übergabe Produkt EE) dokumentiert hat.

- b) Strafrecht: Entstehen durch Verfahren oder Produkte EEQ-bedingte Defizite im Bereich der Konformitätsabsprache der EE nach Abschnitt a), die zu Personen- oder Sachschäden führen, so greift die allgemeinen Rechtsnormen des Strafrechts. Ein nicht zu unterschätzendes Thema in dieser Beziehung zwischen Zivil- und Strafrecht ist der versteckte Mangel am Prozess oder am Produkt als Ergebnis nicht konformer Arbeitsweise eines Elektroenergieabnehmers am Elektroenergieversorgungsnetz. Produkthersteller (Lieferant) und Produktnutzer (Kunde) gleichermaßen muss in Summe die lokale Anforderung als Gegebenheit kennen, um bei Konstruktion, Fertigung, Vertrieb und Nutzung der Verfahren bzw. deren Produkte sie zu berücksichtigen. Hier gilt es mögliche Schäden oder Fehler frühzeitig vorzubeugen, bzw. zu vermeiden.

Dieses entspricht der vorbeugenden Aufgabe der betrieblichen Qualitäts-Management-Systeme (QM-Systeme) im Bereich prozessorientierter Qualitätsabsicherung über Qualitäts-Sicherungs-Systeme (QS-Systeme).

5.1.3.2 Zertifikat, Rechtsform im QM-Prozess

Die Abgleichung der Konformität auf Basis von Zertifikaten im betrieblichen QM-Prozess ist im juristischen Sinne nutzlos. Ein Zertifikate über das Erfüllen von Anforderungen, so genannter Qualitätselemente (Beispiel: Q-Element am Produkt EE) hat für das Straf- und Zivilrecht nur soweit eine rechtliche Bedeutung, als die Anforderung

dieser Normen die rechtliche Anforderung vollständig wiedergibt und angemessen spezifiziert. Die rechtliche Anforderung, wie auch das Mittel zu ihrer Erfüllung, zeigt Bild 5.4. Die mangelnde Eignung zertifizierter Qualitäts-Management-Systeme zum Erfüllen rechtlicher Anforderungen hat die EG-Kommission schon frühzeitig festgestellt. Die EG-Richtlinie KOM (89) 209, (89-C267/03) vom 15. Juni 1989, Anhang Kapitel II sagt dazu aus, Zitat:

Prüfung, Zertifizierung und Überwachung können zwar die Risiken und damit die Wahrscheinlichkeit eines Schadens minimieren, berühren jedoch nicht die Haftung des Herstellers.

Bei der Betrachtung betrieblicher Qualitäts-Management-Zertifikate ist, im Bezug auf deren rechtliche Bindung, wichtig zu wissen:

Werden QM-Zertifikate beim Anfragen verlangt oder bei der Bestellung zur Auflage gemacht – z.B. Lieferung und Montage von Maschinen und/oder Geräten (Apparate, Systeme, Anlagen und Netze) –, ist das QM-Zertifikat zwar eine vertragliche Pflicht, nur sie hat für keine Vertragspartei maßgebliche rechtliche Wirkungen. Das QM-Zertifikat ist eine Erfüllungsvoraussetzung zur Einhaltung beispielsweise der Konformität nach EMVG, doch zur Erfüllung der rechtlichen Voraussetzung ist sie weder geeignet noch angemessen wirksam.

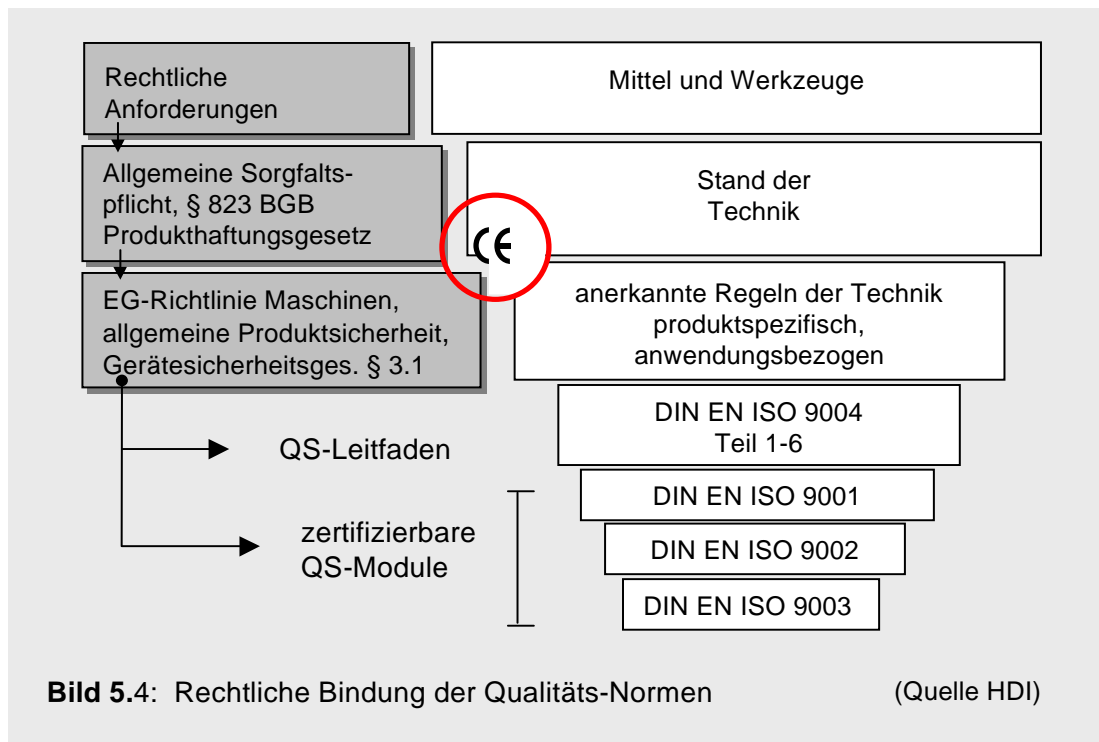


Bild 5.4: Rechtliche Bindung der Qualitäts-Normen

(Quelle HDI)

Eine rechtlich bindende Voraussetzung schafft ausschließlich die in der EG dafür vorgesehene Konformitätserklärung. Sie allein enthält die notwendige Differenziertheit, so gesehen im Bereich des elektrischen Parts der Elektroenergieabnehmer zum Elektroenergieversorgungsnetz. Als Kernelemente im EMVG bindet die Konformitätsvorgabe die Berücksichtigung öffentlich-rechtlicher Kriterien, entsprechend den Bedürfnissen von Lieferant und Kunde in die dazu notwendigen Normen und Richtlinien ein, und stellt den Stand der Technik repräsentativ sicher. Durch die Prüfung, vor allem aber die Differenzierung der im Bereich der physikalischen Umgebungs- und Betriebsbedingungen geforderte Elektroenergiequalität, kann der Nutzer einer Maschine, einer Maschinenanlage oder eines Gerätes unter Zuhilfenahme der DIN EN 45014 /14/ diese noch spezifizierter absichern.

5.2 Schnittstelle, Rechtsbereich im betrieblichen Konsens

5.2.1 Schutzzielbewertung unter DIN EN 45014

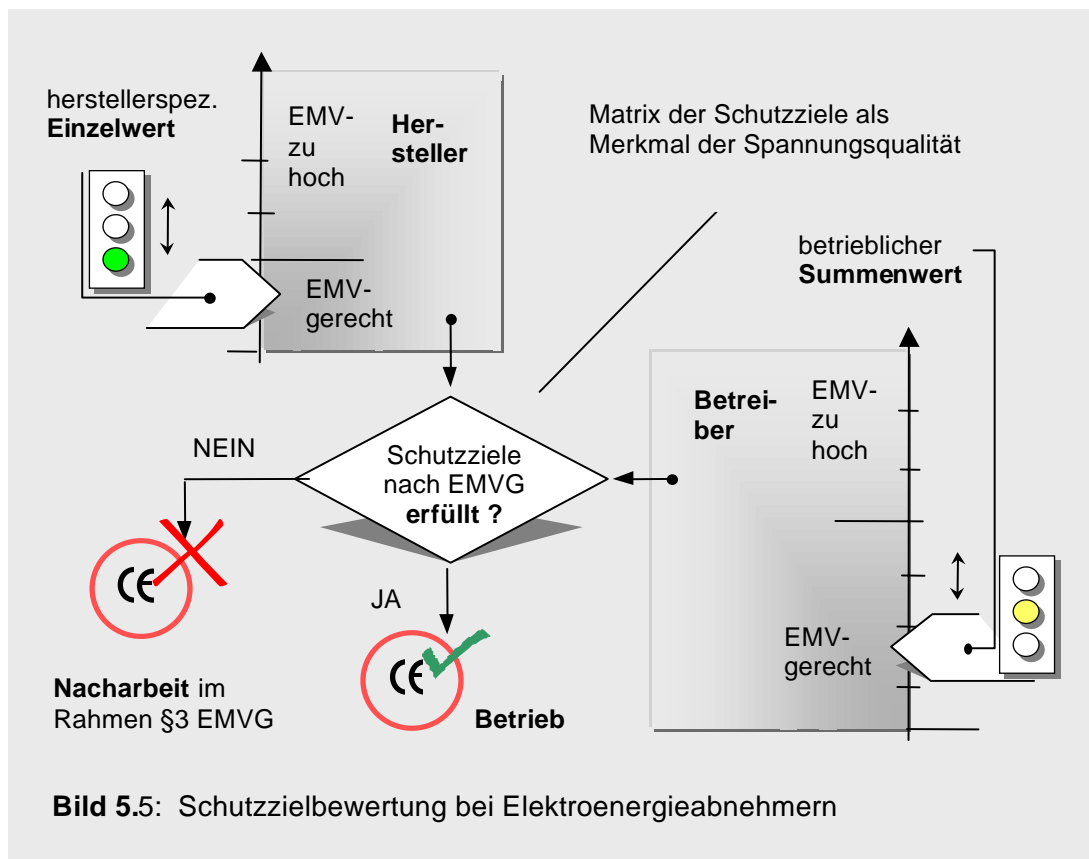
Ausgerichtet auf den Beschaffungsprozess des Nutzers (industrieller Kunde) gegenüber dem Lieferanten von Elektroenergieabnehmern und dem Bereitsteller von Elektroenergieversorgungsnetzen gibt die DIN EN 45014 /14/ einen entscheidenden Hinweis. Unter dem Aspekt der allgemeinen Sorgfallspflicht einer Produktumgebung, d.h. dem Peripherprozess zwischen Elektroenergiequalität und Produktqualität, ist das Ziel der DIN EN 45014 die Sicherstellung der allgemeinen Kriterien zur Handhabung der Schnittstelle im Sinne ihrer Nutzung eindeutiger darzulegen. Die im Bezug auf den Anbieter von Leistungen zu sehende Nutzung dieser Leistungen ist in Art und Weise der bilateralen Konformität nicht nur als Dokument zum Betriebsstart aufzuzeigen, sondern über die einzelnen Lebensphasen eines Elektroenergieabnehmers weiter zu konkretisieren, d.h. den Veränderungen zur physikalischen Umgebung anpassen. Die Konformitätsvereinbarung nach DIN EN 45014 kann hierbei Themen enthalten, wie:

- Lieferung und Montage von Maschinen, Geräte und Einrichtungen (Elektroenergieabnehmer) unter Aspekten der Vorbesetzung und/oder Veränderung physikalischen Umgebungs- und Betriebsbedingungen am Anschlussort;
- Durchführung von Dienstleistungen in Form einer differenzierten Tätigkeit, z.B. als Generalunternehmer (GU); allgemeinen Tätigkeit, z.B. als Anbieter von Instandhaltungs- und/oder Wartungsleistungen;

- Monitoring der Schutzzieleinhaltung (Thema: Konformität als Veränderungsprozess zu den vorgegebenen oder abgestimmten Rahmenvereinbarungen merkmalorientierter physikalischer Umgebungs- und Betriebsbedingungen).

Zu diesem Zweck ist nach der DIN EN 45014 das anzuwendende Verfahren gemeinschaftlich zwischen Anbieter und Nutzer abzustimmen, d.h. auf das EEQ-Maß im Einzelmerkmal der lokalen Schnittstelle (PCC, IPC) zu konkretisieren. In Form von Vereinbarungen und Abkommen ist festzulegen, wie der Anbieter eine Ware aber auch eine Dienstleistung erklärt, oder aufgefordert ist dieses zu erklären, so dass sein Produkt, sein Prozess oder seine Dienstleistung mit normativen Dokumenten, wie z.B. die der EG-EMV-Richtlinie nach Bild 5.5 übereinstimmt. Eine Art „Ja / Nein“-Funktion zur Absicherung der Übereinstimmung der Produktparameter (Q-Index „ β “, Produkt EE, Abschnitt 2.3.4.2) sichert das konforme Verhalten ab. Die durch den Anbieter ausgestellte bzw. auszustellende Konformitätserklärung könnte sich, Zitat aus DIN EN 45014:

...auch auf Ergebnisse von Begutachtungen durch eine oder mehrere dritte Stellen beziehen.



Die in der DIN EN-Norm als DRITTE Stelle dazu zitierte Unterstützung zur Gewährleistung der Konformität – speziell beim Betrieb, beim Betreiber – kann insbesondere zur Unterstützung des Nutzers (gewerblicher / industrieller Betreiber eines Prozesses) im Umfeld der Konformität seiner Anbieter (gewerblicher / industrieller Lieferanten dieses Prozesses) als Matrix der Schutzziele genutzt werden. Der Ausdruck „Matrix der Schutzziele“ bezieht sich auf die Zusammenführung in Bild 5.5 von herstellereinspezifischen Einzelwerten zu betrieblichen Summenwerten im Wertebild einer Merkmalkette von Störphänomenen der Elektroenergiequalität.

Eingesetzt am Beispiel neutraler Gutachter des Benutzers einer Infrastruktur sichert er den Nutzer dahingehend ab, dass die Verpflichtungen seitens des Gesetzgebers – Bild 5.5, Abfrage: Schutzziel nach EMVG erreicht? – im Bereich der elektromagnetischen Verträglichkeit von Maschinen und Geräten durch ein entsprechendes Monitoring dokumentiert eingehalten wird. Ausgerüstet mit diverser Bewertungs- und Begutachtungssensorik (Elektro-Energie-Qualitäts-Box) kann der Nutzer die nach DIN EN 45014 angesprochene DRITTE Stelle dazu beauftragen das betriebliche Produktionsumfeld in Sinne der Schutzanforderungen in permanenten, oder in sinnvollen Abständen zu begutachten.

5.2.2 Hilfsmittel innerhalb der Verfahren

Als Hilfsmittel im Verfahren zur Konformität nach EU-Recht schuf die DIN EN 45014 allgemeingültige Kriterien, die von Anbietern, wie auch von Nutzern für alle Bereiche der Konformitätsvereinbarung nutzbringende Eingriffe im innerbetrieblichen Prozessablauf ermöglichen. Jederzeit ergänzbar um Parts der nutzerbezogenen Anwendungsgebiete ist sie ein Normenwerk der Dokumentation von Rahmenbedingungen zwischen Anbietern (Hersteller, Lieferant von Produkten, z.B.: Maschinen, Geräte und EE) unterschiedlichster Parität und Priorität zum Prozess. Ein Anwendungsfall im Betrachtungshorizont der Dissertation um die Beschreibung der Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer ist dort die Hinterlegung abgestimmter Produktparameter EE im EES. Abgestimmt auf das physikalische Umgebungs- und Betriebsfeld der Betriebsmittel (Netzseitige Einrichtungen, produktionsseitige Einrichtungen) ist dieser Aspekt vor allem zu sehen als Profil des Netzanschlusspunktes, angelehnt an die Schutzanforderungen der jeweiligen Hersteller, bzw. Lieferanten an und um den Netzanschlusspunkt. Unter

Punkt 1 der DIN EN 45014 wird hierzu im Sinne „Stand der Technik“ nach Bild 5.4, Abschnitt 5.1.3.2 und Bild 5.5, Abschnitt 5.2.1 festgelegt, Zitat:

...die allgemeinen Kriterien von Konformitätserklärungen von Anbietern für den Fall fest schreibt, dass es wünschenswert und notwendig ist, die Konformität eines Produktes, eines Prozesses und oder einer Dienstleistung mit normativen Dokumenten darzulegen, unabhängig vom berührten Bereich. Der Anbieter oder Betreiber kann in solchen Fällen in einer eigenen Verantwortung die Konformität mit normativen Dokumenten erklären.

Verdeutlicht wird die Art der Aussage der DIN EN 45014 in Bild 5.6. Als Bewerter und Begutachter innerbetrieblicher Konformität verweist dort der Nutzer (gewerblicher, industrieller Unternehmer) – im juristischen Sinne rechtsverbindlicher Betreiber der/des Elektroenergieabnehmer(s) – die Begutachtung der Ergebnisse auf die DRITTE Stelle – dem so genannten **Bewerter der Konformität**. Momentan bei dem vom Autor betrachteten Industrieunternehmen im Rahmen eines Technologiewettbewerbs zum Power-Quality-Monitoring, d.h. dem technisch-technologischen Bewerten der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer ausgewählt, übernimmt er als haftende Prozessinstanz die normative Dokumentation der Konformität für den Nutzer.

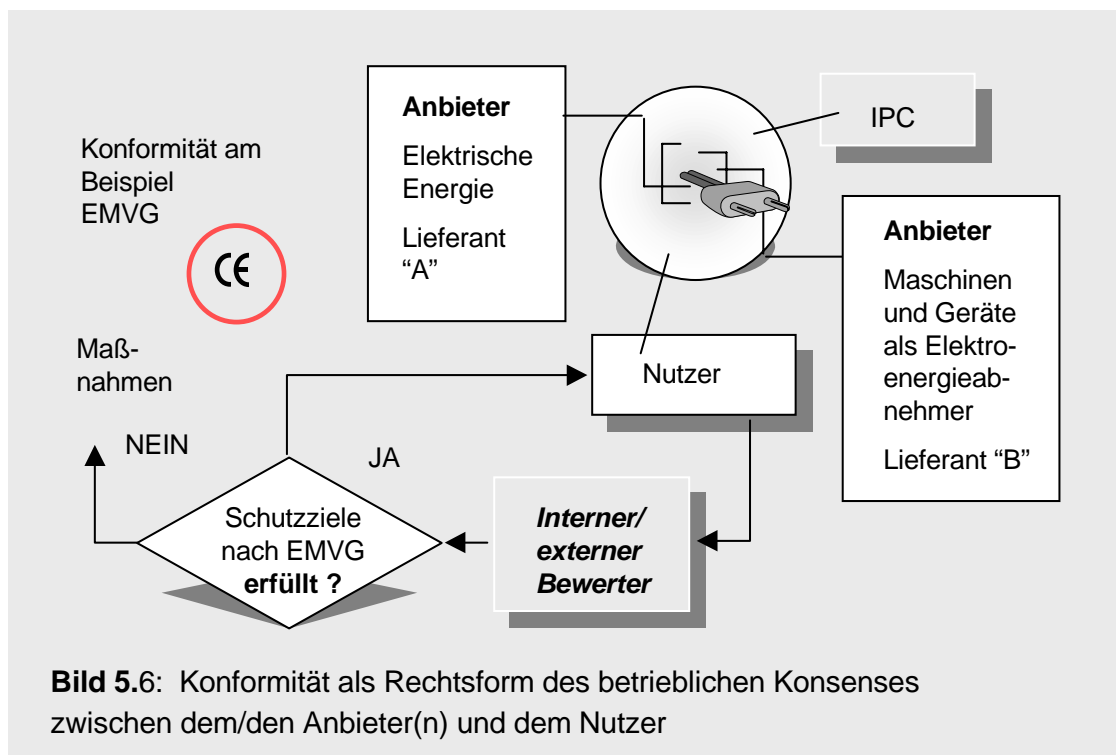


Bild 5.6: Konformität als Rechtsform des betrieblichen Konsenses zwischen dem/den Anbieter(n) und dem Nutzer

Unter dem Begriff der normativen Dokumente versteht man Regeln, Leitlinien und Merkmale für Tätigkeiten oder deren Ergebnisse, die im Rahmen der EG-Schutzanforderung vom Nutzer eines betrieblichen Prozesses zu erbringen sind (Beispiel Bild 5.6: Schutzziele nach EMVG). Normative Dokumente unabhängig vom Einsatzort bzw. der Einsatzart unterscheiden nicht nach Basisprozessen, wie denen des Bezugsprozesses am Produkt EE, dem Einkaufsprozess bei Maschinen und Geräten (Elektroenergieabnehmer), oder gar dem Dienstleistungsprozess im Wartungs- und Instandhaltungsbereich am Elektroenergieversorgungsnetz, so gesehen an der Schnittstelle des PCC oder IPC im EES.

5.2.3 Das Quality-Gate EE

Der Begriff „normatives Dokument“, Abschnitt 5.1.2, signalisiert Regeln, Leitlinien und Merkmale für Tätigkeiten oder deren Ergebnisse, die im Rahmen der EG-Schutzanforderung vom Nutzer als Betreiber eines betrieblichen Prozesses zu erbringen sind. Normative Dokumente sind wegen ihrer Unabhängigkeit vom Einsatzort und Einsatzart bestens geeignet den für den Schnittpunkt notwendigen Basisprozess so aufzunehmen, dass der in der Industrie dort handzuhabende Bezugsprozess am Produkt EE im Einkaufsprozess bei Maschinen und Geräten, im Dienstleistungsprozess im Wartungs- und Instandhaltungsbereich auch gelebt werden kann. Die Benennung, besser Bekennung zum „normativen Dokument“ ist ein zentraler Akt der Dokumente aus Normen, technischer Spezifikationen, Anleitungen für die Praxis und Vorschriften umfasst, eingebunden – Zitat aus DIN EN 45014, Punkt 2.1, Anmerkung 3:

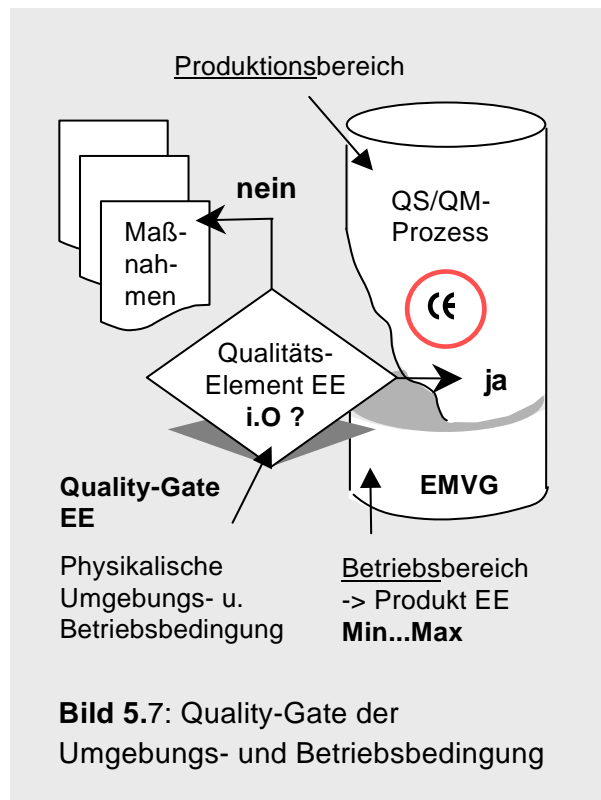
...als Dokument und sein Inhalt als Einheit.

Nutzt man das normative Dokument zur Quantifizierung von Maßnahmen an der Schnittstelle als energetische Größe, und implementiert dort das daraus resultierende Umfeld **gegenüber dem** Schnittpunkt (Betriebsprozess) **über den** Schnittpunkt hinweg (Produktionsprozess), so entsteht ein Tor der Qualität, wirkend vom Elektroenergieversorgungsnetz bis zum Produktionsprozess. Vom Autor bezeichnet als Quality-Gate der „elektrischen Energie“ (Quality-Gate EE), bildet das normative Dokument das Produkt EE an der technisch-technologischen Schnittstelle zwischen Betriebs- und Produktionsprozess als Dokument der EMV nach EMVG ab, und sein Inhalt als zu wahrende Qualitätseinheit (EEQ) gegenüber dem Prozess, bzw. dem Produkt.

Als Sicherheitselement zum Fertigungsprozess steht das „Quality-Gate EE“ als Instrumentarium zum Medium EE. In Form seines Qualitätsaspektes – Abfrage Bild 5.7: Qualitäts-Element EE in Ordnung? – steht es dem Produktionsbereich als Betriebs- und Fertigungsprozess voran. Endet die Kompatibilitätsabfrage zum Produkt EE mit einem „NEIN“, ist eine Kompensationsmaßnahme, beispielsweise nach Schema Tabelle 2-7, Abschnitt 2.3.4.1 notwendig. Erst mit der Erfüllung des qualitativ erfassbaren, und substantiell dokumentierbaren „Quality-Gate EE“ ist eine innerbetriebliche Funktionalität rechtskonform sichergestellt. Am internen und externen Verknüpfungspunkt im Elektroenergieversorgungsnetz gleichermaßen wirkend, stellt das „Quality-Gate EE“ ein wichtiges Qualitätssegment im QM-Prozess bereit. Der am Quality-Gate EE direkt ableitbare substantielle Inhalt ergänzt und unterstützt den produkt-, respektive produktionsorientierten QS-Prozess merklich. Eingesetzt als qualitätsabsicherndes Zusatzelement der strategischen Ausrichtung gegenüber dem Zertifizierungsprozess, z.B. nach DIN ISO 9001, 9002, ist das „Quality-Gate EE“ auch als Brücke zwischen Normen, Richtlinien und Gesetzen und dem zum zu erzielenden Ergebnis am Produkt anzusehen.

Eine, auf der Grundlage eines „normativen Dokuments“ entstehende Plattform mit Qualitätsinhalten, wie das „Quality-Gate EE“ durchaus in der Lage ist zu bilden, stellt für alle Marktteilnehmer die Grundlage für weitergehende ER-KLÄRUNGEN im Unternehmen bereit, die gegenüber dem Kunden Vertrauen zum Produkt schaffen soll. Ausgedrückt wird diese Vertrauensdarlegung durch die so genannte „Anbieter-Erklärung“, ausgestellt unter dem Gesichtspunkt der DIN EN 45014, Punkt 2.3, Zitat:

..dass ein Produkt, ein Prozess, eine Dienstleistung mit festgelegten Anforderungen konform ist.



Die Anbieter-Erklärung ist keine erweiterte innerbetriebliche Zertifizierung, ihr Inhalt geht weiter. Die Anbieter-Erklärung beinhaltet ein, in den Gesamtprozess integriertes, rechtsverbindliches Qualitätsbewusstsein. Ihr Zweck ist nach Punkt 3 der DIN EN 45014 nicht nur die Erklärung, sondern die **Bestätigung für den Kunden**, als Käufer einer Ware oder einer Dienstleistung, dass das betreffende Produkt, der Prozess oder die Dienstleistung nach geltendem Recht und unter Einbeziehung vom Stand der Technik, anerkannter Regeln der Technik in Übereinstimmung zum Fokus nach Bild 5.7 ist. Verbal heruntergebrochen bedeutet dieses, dass Steckdose und Stecker der Infrastruktur, so zu sehen als Anlage-Netz-Verbund zum Produkt EE konform, d.h. als in sich kompatibel anzusehen ist.

5.3 Verbindlichkeit und Abgrenzung

Technische Standards sind Mittel und Werkzeuge für rechtliche Anforderungen zur Sicherstellung physikalischer Umgebungs- und Betriebsbedingungen. Sie verpflichten ALLE Teilnehmer des Geschäfts mit dem Produkt EE zur Definition von Grenzen der Verträglichkeit. Eingebunden im nationalen (EN-Reihe 61000 / EMV / Elektromagnetische Verträglichkeit) und internationalen Rahmen (IEC-Reihe 1000 / EMC / electromagnetic compatibility) ist ihre Aussagekraft zum konformen Handeln unter Gesichtspunkten des „Quality-Gate EE“ aus Abschnitt 5.2.3 für alle Netzteilnehmer gleichermaßen bindend. Zur Festschreibung des dazu notwendigen normativen Dokuments, bevorzugt gesehen für den Übergabepunkt zwischen öffentlichem und nichtöffentlichem Elektroenergieversorgungsnetz (PCC), entstand bereits 1996 im betrachteten Industrieunternehmen ein erstes Schriftstück zum „Quality-Gate EE“, das abgestimmt mit dem Gewerbeaufsichtsamt /1/ den Schnittstellenbereich von und zur Maschine umschreibt. Inhalt des zwischen dem Industrieunternehmen und dem Gewerbeaufsichtsamt unterschriebenen Schnittpunktpapiers für das CE-konforme Betreiben von Elektroenergieabnehmern ist der technisch-physikalische Akt einer Vorgehensweise bei Bestellung, Inbetriebnahme, Umbau, Umstellung und Betrieb von Betriebsmitteln, Zitat:

Der Lieferant von Maschinen, Anlagen und Einrichtung ist berechtigt, in seiner Betriebsanleitung auf die ordnungsgemäße Gestaltung seiner Schnittstellen hinzuweisen, die seinen Verantwortungsbereich abgrenzen, und uns dadurch - Industrieunternehmen - in die Pflicht zu nehmen, den sicherheitstechnisch ordnungsgemäßen Zustand der Schnittstelle herzustellen und zu erhalten.

5.3.1 Rahmenbedingung

Die differenzielle Qualität am Produkt EE ist nach Abschnitt 3 (Elektroenergieversorgungsnetz) und Abschnitt 4 (Elektroenergieabnehmer) reguliert, d.h. gebunden an Kriterien des liberalen (freien) Handelns. Als Handlungsverpflichtungen nach Tabelle 5-1, Abschnitt 5.1.2, wirkt hier die Verbändevereinbarung Strom II plus (VV Strom II plus, Abschnitt 3.1) gegenüber dem Gesetz der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMVG, Abschnitt 4.2) als Nutzungsanforderung unter Aspekten eines „normativen Dokuments“, d.h. im Sinne des „Quality-Gate EE“, Abschnitt 5.2.3. Gerade jetzt, wo eine gewisse Art und Weise der Störfallhäufung auch zu vermehrtem Mobilitätsverlust führt, gilt es gegenüber Qualitätsansprüchen, wie die einer akzeptablen Spannungs- und Frequenzhaltung, eine gewisse Distanz zu Gunsten qualitativ bestimmter EE aufzubauen. Gespiegelt an den Ausfällen in USA (nördliche USA und Kanada: 14.08.03), Großbritannien (London: 28.08.03), Skandinavien (Dänemark und Südschweden: 23.09.03) und Italien (Nord- und Süditalien 28.09.2003) zeigt sich, dass das Medium EE in Qualität und Quantität nur endlich verfügbar ist. Das gilt bevorzugt dann, wenn individuelle Verträglichkeiten einer Schnittstelle an gewerbliche und/oder industrielle Anforderungen zum Umfeld gekoppelt sind. Auch die Verkettung zwischen Verfügbarkeit und Nutzbarkeit muss verstärkt unter Prämissen globalisierter Versorgung gesehen werden. Vor allem die Sorge der zukünftigen Entwicklung nationaler und internationaler Verbindlichkeiten im Zeichen ansteigender Vernetzung auf Hoch- und Höchstspannungsebene ist dem Aspekt „Quality-Gate EE“ zu sehen. Gerade hier lässt der momentane Grad der Ausdehnung der Elektroenergieversorgungsnetze eine gewisse Strategie der Stärke in der strukturellen Auslegung vermissen.

Als Endergebnis einer Summennutzung, bereits von Experten mehrerer unabhängiger Industrieunternehmen als kritisch eingestuft, unternahm bis dato ausschließlich der Verband der Industriellen Energie und Kraftwirtschaft e.V. (VIK) erste Aktivitäten. In einem offiziellen Schreiben des Verbandes an die Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik und Informationstechnik in DIN und VDE (DKE) vom September 2000 /2/ fordert dort der Verband zum Handeln auf. Im besagten Schreiben wird von der Industrie über den Verband bemängelt, dass mit der momentanen Qualitätsdefinition einer Spannung nach Produktmerkmalen der DIN EN 50160, Zitat:

.....ein ordnungsgemäßer Betrieb von Industrieanlagen nicht möglich ist.

Da die Deutung der Werte elektromagnetischer Verbindlichkeit bislang den Experten vorbehalten bleibt, die momentane Situation vom Elektroenergieversorger (EVU) dezent verharmlost wird, sorgt sich der Nutzer des Produkts EE nur bedingt, so dass die Situation gegenüber dem Zitat aus der Wirtschaft sich eher noch verschlechtert als verbessert. Trends dieser Entwicklung zeigten sich im Umfeld des Autors bereits mehr als deutlich. Sichtbar vor allem an konkreten Beispielen, wie sukzessive Erhöhung von Ausfallraten bei Produktionsanlagen und –einrichtungen, spontaner und sporadischer Verschlechterung so mancher Qualitätsparameter im direkten Produktionsablauf, das im ersten Moment nicht zwangsläufig auf ein qualitatives Defizit am Produkt EE im EES rückführbar ist. Dazu ein Beispiel aus dem direkten Umfeld des Autors.

/33/ Schweißmaschinen mit Mehrpunktschweißung:

Ein in der Beurteilung des Schweißergebnisses zu besetzender Qualitätsmaßstab ist die Schweißleistung. Unter Aspekten der zu erzielenden Schweißqualität gibt es hier dem elektrothermischen Anlagenprozess den benötigten Schweißstrom als kompatible Schweißleistung zuzuführen. Die Schweißspannung im vorliegenden Fallbeispiel bleibt unregelt. Sie wird ausschließlich von der momentanen Höhe der Netzspannung am Schweißtransformator bestimmt. Die am Schweißgut thermisch umgesetzte Schweißleistung bildet sich ab als Produkt aus Regelstrom (I) und Transformatorspannung ($U_{\text{Trafo}} \sim U_{\text{Netz}}$). Die Klemmenspannung des Schweißtransformators ist abhängig vom Spannungsfall des Laststromes bis zum Anschlusspunkt und dem Spannungsfall des vorgelagerten Netzes durch die Summe aller Lastströme im Netzweig. Da in der Regel der Lieferant einer Anlage den Spannungsabfall prozessbedingt begrenzt, wirkt hier die Abgrenzung nur bis zum Netzanschlusspunkt der Maschine. Spannungsabfälle im Rahmen der Netztopologie unterstehen der Eigenverantwortung des Nutzers.

Am Beispiel des Schnittstellenpapiers zwischen dem betrachteten Industrieunternehmen und dem Gewerbeaufsichtsamt, ist hier die Verpflichtung des Nutzers – im vorliegenden Fall die des Industrieunternehmens – die Absicherung der Spannung am Anschlusspunkt in Grenzen der Vorgabe des Herstellers konstant zu halten. Dieses gelingt dann, wenn es sich um leistungsstarke Netze handelt und die Netzzusatzbelastung als Ergebnis der Spannungsvarianz vorgelagerter Netzabschnitte nur im gewissen Bereich variiert. Hier greift das Dossier dahingehend in

den Prozess ein, dass der Zustand der Schnittstelle in den vom Lieferanten des Prozesses (Hersteller) geforderten Grenzen in seiner Qualitätsvorgabe (Beispiel Spannungsqualität als Indikator des Mediums EE) zu gestalten und zu erhalten ist.

Wird im Versorgungsnetz eine 2-te, 3-te bis n-te Schweißgruppe installiert, verändert sich das Umgebungsfeld zur 1-ten. Kumulativ stochastische Leistungseffekte der Einzelanlagen überlagern die Einzelnutzung. So entstehen Spannungsbilder, wie die in Bild 5.8. Varianzen im Einspeisebereich der Elektroenergieversorgung, beispielhaft nach IEC 38 (+/- 10 %) addieren sich zur Gesamthematik. Regelt wie im vorliegenden Fallbeispiel der Stromsteller nur bedingt, d.h. nur unzureichend, bekommt der Schweißprozess eine Eigendynamik der durch das Umfeld, sozusagen durch die physikalischen Umgebungs- und Betriebsbedingungen mit gesteuert wird. Zieht man Grenzen der Verfügbarkeit ein (Bild 5.8 Max- und Min-Grenze) stellt man fest, dass Prozessprobleme (Beispiel Bild 5.8 Montag 22:50 Uhr, Donnerstag 19:45 Uhr: Unterschreitung der Min-Grenze) verstärkt auf Probleme mangelnder Konstanz der Rahmenbedingungen rückführbar ist. Das Kleben der Schweißnaht (Unterschreitung der Min-Grenze), aber auch das Durchbrennen eines Schweißpunktes (Überschreitung der Max-Grenze) sind Effekte die es gilt zu vermeiden. Die elektrotechnischen Grenzgrößen in Form, Verlauf und Stabilität der Spannung ist zumindest am Beispiel der Schweißmaschine mit Mehrfachschwei-

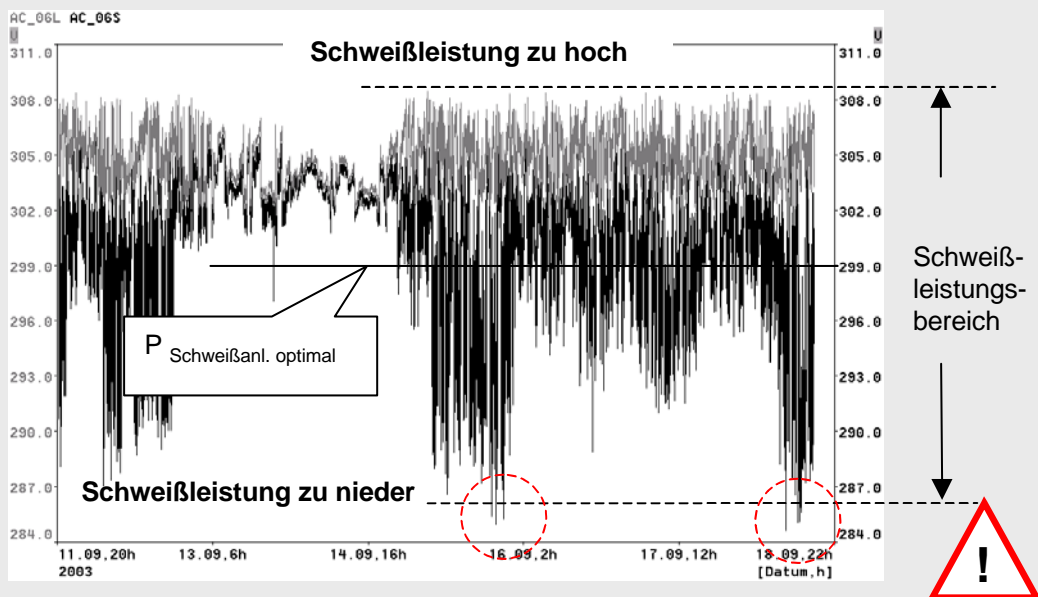


Bild 5.8: Schnittstelle, ein Bestimmungsfaktor zum Prozess

ßung mehr als nur ein Fakt in der Verbindlichkeit zur Sicherstellung funktionaler Sicherheit gegenüber Dritten. Er verbindet Sicherheit auch mit Funktionalität im Rahmen der Produktqualität von und zum Kunden mehr denn je.

Am Beispiel des Schweißprozesses wird deutlich, dass die Kennziffer der Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zwischen Maschine und Elektroenergieversorgungsnetz den Prozessfaktor gezielt mitbestimmt, in manchen Fällen sogar direkt steuert. Unter Einbezug innerbetrieblicher Zielstellungen, wie die des Null-Fehler-Ziels, ist gerade der Part der Prozessabsicherung unter Aspekten des „Quality-Gate EE“ (Abschnitt 5.2.3) als Sicherheitsbaustein vermehrt in der Prozessplanung mit einzubinden. Hier zählt an einer Schnittstelle nicht mehr nur der im Schnittstellenpapier des vom Autor betrachteten Industrieunternehmens mit dem Gewerbeaufsichtsamt der geforderte Abgleich als Erhalt eines Zustandes zur Sicherstellung der Sicherheit nach dem Gerätesicherheitsgesetz, sondern bedingt ein integrierendes Wirken als Kette der Verträglichkeit vom Netzeinspeiseknoten bis zum Produktionsprozess. Das Denken unter Kernstrukturen physikalischer Umgebungs- und Betriebsbedingung ist aus dieser Sichtweise heraus weit mehr als nur eine technische und technologische Abgrenzung zweier Partner an einem Netzinfrastrukturpunkt im Elektroenergieversorgungsnetz.

5.3.2 Input / Output-Betrachtung

Als historisches Element der Nutzung ist der Austausch am Produkt EE auch im Sinne des Austausches von Leistungsgrößen zu sehen. Bezogen auf den elektrischen Energieaustausch vom Elektroenergieversorgungsnetz (Lieferant, Durchleiter, Netzanschlusspartner) zum Elektroenergienutzer (privater, gewerblicher oder industrieller Kunden) steht hier die Sicherheit und Zuverlässigkeit (Versorgungszuverlässigkeit, Q-Index „ α “, Abschnitt 2.3.4.2) an oberster Stelle wirtschaftlichen Handelns. Die Differenz zwischen der idealen und realen Spannungsqualität, d.h. der am Anschlusspunkt abgreifbare Q-Index „ β “ bildet die Zumutbarkeit am Produkt EE gegenüber dem PCC oder IPC ab. Die im Einzelfall die Merkmaldefinition charakterisierende Differenzgröße ist im vorliegenden Konstrukt um die Verbindlichkeiten einer Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer dem Verursacher zuzuordnen.

Das aus Spannung und Strom sich bildende Leistungsprodukt nutzt den Leistungsaustausch im Netz zur Zuordnung der Qualitätsdefizite im Wirkleistungs- und Deformationsblindleistungsbereich. Als Input/Output-Betrachtung der Netznutzung, Bild 5.9, ordnet das sich einstellende Leistungsgebilde den Leistungspunkt (PCC, IPC) den Leistungsnutzern zu.

Definitionsumfang:

- | | | | |
|-------|----------------------------|---|---------------------------------|
| P : | Wirkleistung | } | D : Deformationsblindleistung |
| Q : | Verschiebungsblindleistung | | |
| V : | Verzerrungsblindleistung | | |
| M : | Modulationsblindleistung | | |
| U : | Unsymmetrieblindleistung | | |

$$S = \sqrt{(\sum_k P^2 + \sum_k Q^2 + \sum_{k,q} V^2 + \sum_{k,q} M^2 + \sum_k U^2)} \quad (5-1)$$

$$S = \sqrt{(\sum_{k,q} P^2 + \sum_{k,q} D^2)} \quad (5-2)$$

Eine Bilanz von Leistungsinhalten entsteht, die es dem Analysten ermöglicht den Bereich der Spannungsqualität im sub-, netz-, zwischen- und höherharmonischen Bereich ($k, q > 0$) als Teilkomponenten einer Belastung den einzelnen Elektroenergieverbrauchern konkret, d.h. als Teilleistungsbilanz zuzuordnen. Gekennzeichnet als

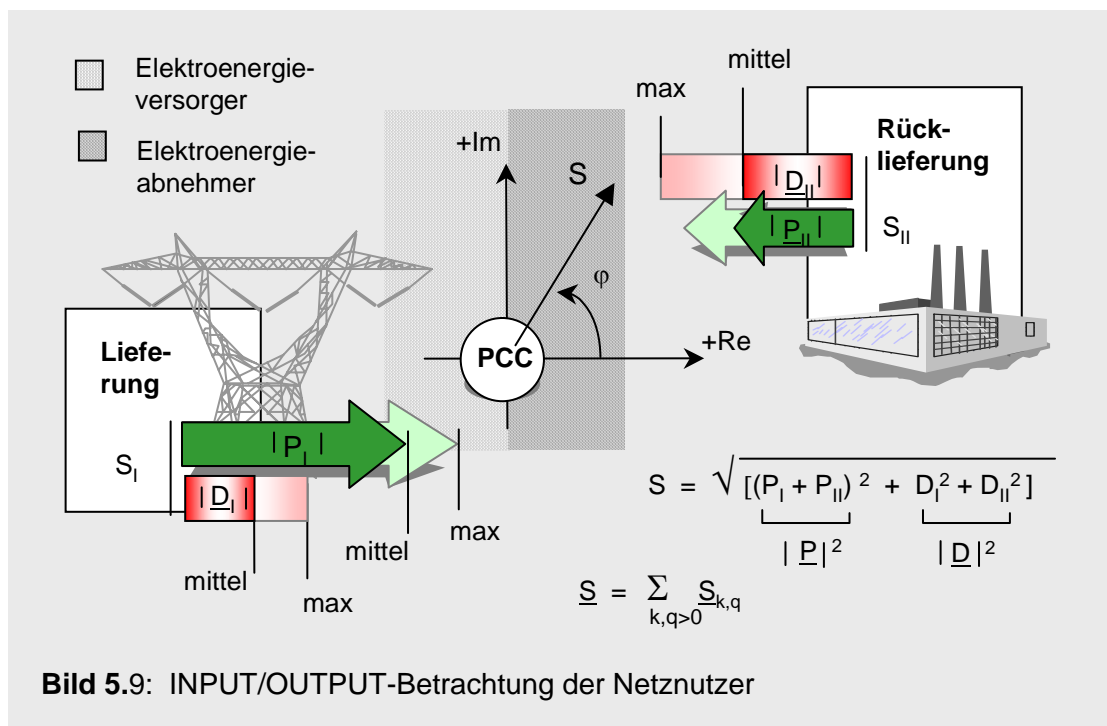


Bild 5.9: INPUT/OUTPUT-Betrachtung der Netznutzer

Lieferung und Rücklieferung von Teilprodukten EE am Netzknotenpunkt (PCC, IPC) bildet sich ein Standpunktbezogenes 4-Quadranten-Gebilde einer Summenleistung aus Wirk- und Deformationselementen aus. Ein Abgrenzungsschema nach Q-Index „ α “ (Versorgungszuverlässigkeit, Abschnitt 2.3.4.2) und Q-Index „ β “ (Spannungsqualität, Abschnitt 2.3.4.2) entsteht, der die Konformität, beispielsweise zum Q-Index „ β “ als Regulierungsgröße zwischen den/allen Partnern des Elektroenergiegeschäftes technisch und technologisch konfiguriert. Je nach dem Anforderungsprofil des Elektroenergieabnehmers gegenüber dem Elektroenergieversorgungsnetz nutzt man den Aktionsradius des Austauschs am Produkt EE an der Schnittstelle nach Bild 5.9 um ein Gleichgewicht zu schaffen zwischen

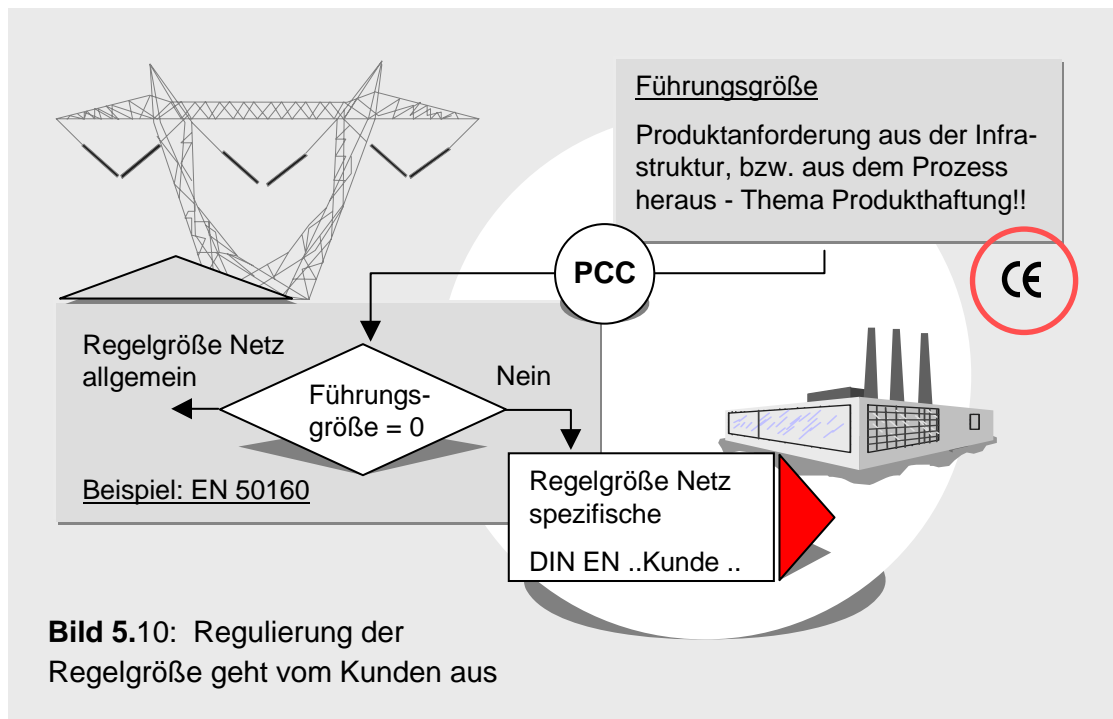
- der Gegebenheit des Elektroenergieversorgers, Bild 5.9, $|P_I|$ als $P_{I\text{ mittel}}, P_{I\text{ max}}$ (Wirkleistung), $|D_I|$ als $D_{I\text{ mittel}}, D_{I\text{ max}}$ (Deformationsblindleistung) und
- der Notwendigkeit des Elektroenergieabnehmers, Bild 5.9, $|P_{II}|$ als $P_{II\text{ mittel}}, P_{II\text{ max}}$ bzw. $|D_{II}|$ als $D_{II\text{ mittel}}, D_{II\text{ max}}$ auf der Nutzungsebene der einzelnen Netznutzer.

Ergänzung:

Quelle und Senke ist nur an der Wirkleistung feststellbar. Der in Bild 5.9 bezugspunktorientiert dargestellte Blindleistungsanteil (D_I, D_{II}), ist lediglich als Informationsinhalt der Ordnungszahl k, q – in Abschnitt 2.3.2.8 mit ν bezeichnet – zu sehen. Sein Ausgangspunkt kann auf der linken (D_I) als auch der rechten (D_{II}) Seite der Schnittstelle (PCC) liegen – dazu mehr ab Abschnitt 6.3.1.3.

5.3.3 Regelgröße der Regulierung

Abhängig von der Belastung qualitätsmindernder Bestandteile (Bild 5.9, Abschnitt 5.3.2, Fall 1: Belastung Kunde -> Netz, bezeichnet als Rücklieferung / Fall 2: Belastung Netz -> Kunde, bezeichnet als Lieferung EE) entsteht ein Nutzungsinhalt. In Bild 5.9, Abschnitt 5.3.2, als Zeigerdiagramm der Scheinleistung \underline{S} wiedergegeben, bildet das signifikante Glied der Deformation einer Spannung über den spezifischen Leistungsindex einer Wirk- ($\underline{P}_{\text{mittel}} / \underline{P}_{\text{max}}$) und Deformationsblindleistung ($\underline{D}_{\text{mittel}}, \underline{D}_{\text{max}}$) ab. Zur Beschreibung der Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer nutzt der Autor den Leistungsaustausch zur Produkterstellung, um die elektromagnetische Verträglichkeit zum Produktionsprozess als Faktor einer Bezugsgröße darzustellen. Ein sich durch den Leistungsaustausch einstellender Spannungswert bildet den qualitativen Regelkreis ab.



Die als Lastindikator zum Prozess zu sehende Schnittstelle am PCC, respektive IPC bildet die Führunggröße die es dem, besser allen Nutzern gestattet bei diversen Abweichungen zum Produkt EE einer Regelkreisanpassung nach Bild 5.10 vorzunehmen. Geführt vom Bedarf, d.h. von der Anforderung am Produkts EE zum Prozess hat der Elektroenergieabnehmer und nicht der Elektroenergieversorger an der Schnittstelle das diesbezüglich notwendige Anforderungsprofil abzugleichen. Als Produktanforderung der Infrastruktur enthält das Betrachtungsobjekt der Spannungsqualität (Q-Index „ β “) gegenüber dem Qualitätsmerkmal des Elektroenergieversorgers (Beispiel: Versorgungszuverlässigkeit als Q-Index „ α “) zwei, den jeweiligen Netzpartnern (Elektroenergieversorger, Elektroenergiekunde) zugeordnete Regelinhalte. Vom Autor als Regelgröße „A“, d.h. Regelgröße des Elektroenergieversorgers und Regelgröße „B“, als Regelgröße des Elektroenergieabnehmers bezeichnet, bildet die Differenz zwischen beiden Regelbereichen die Führunggröße nach Gl. 5-3 ab. Sie ist für jedes Merkmalkriterium einer Merkmalbeschreibung in der Spannung separat zu erstellen und als Merkmalmatrix der Spannungsqualität am Netzknoten (PCC, IPC) zu hinterlegen.

	<u>Regelgröße „A“</u>	<u>Regelgröße „B“</u>	
Führunggröße Netz	= Kunde mit Normalwünschen	- Kunde mit Sonderwünschen	(5-3)

Definition:

- Regelgröße: Operatives Element einer Schnittstelle, zu sehen als momentaner Betriebswert der Spannungsqualität in den Einzelmerkmalen nach Abschnitt 2.3.2.1 bis 2.3.2.8, als Erscheinungsbild der Schnittstelle, bzw. deren Sichtweise nach Tabelle 4-1, 4-2, Abschnitt 4.4.1.2 Qualitätsindex und Tabelle 3-1, Abschnitt 3.2.2, Elektroenergieliefervertrag.
- Regelgröße „A“: Qualitätsindex von Elektroenergieverbrauchern mit Normalwünschen. Normalwünsche sind Qualitätsmaßstäbe einer Spannungsqualität die nach dem momentanen Vertragskonstrukt am Netzanschlusspunkt abgehandelt werden. Gespiegelt am Beispiel der Versorgungsqualität des betrachteten Industrieunternehmens – Beispiel Vertragskonstrukt Netzanschlussvertrag, Abschnitt 3.2.1 – entspricht der dort vertraglich hinterlegte Qualitätsindex nach Abschnitt 2.4.4.2 dem der Versorgungszuverlässigkeit, d.h. Q-Index „ α “.
- Regelgröße „B“: Qualitätsindex von Elektroenergieverbrauchern mit Sondewünschen. Sonderwünsche sind Qualitätsmerkmale in der Spannung, die im Vergleich zur Regelgröße „A“ nach Tabelle 2-6, Abschnitt 2.3.4.1 detailliertere Wertinhalte besitzen.
- Führungsgröße: Strategisches Element einer Schnittstelle, gesehen als Planungswert der Spannungsqualität zur Reglementierung der Schnittstelle im Sinne der Konformität nach EMVG (Abschnitt 4: Elektroenergieabnehmer / Abschnitt 5: Schnittstelle).

Fallsituation:

- Fall 1: Der von der Infrastruktur des Elektroenergieabnehmers geforderte Qualitätswert im Merkmalkriterium einer Spannung liegt oberhalb der vom Elektroenergieversorger bereitgestellten Qualitätsmarge. Die entstehende Differenzgröße ist die Führungsgröße nach Bild 5.10 und ist **größer Null**. Der Elektroenergieversorger muss gegenüber der Produkthanforderung in der Spannung nachregeln. Die Kosten der Qualitätsanhebung an der betroffenen Schnittstelle (PCC) trägt der Elektroenergiekunde.
- Fall 2: Der von der Infrastruktur des Elektroenergieabnehmers geforderte Qualitätswert im Merkmalkriterium einer Spannung liegt unterhalb oder gleich der vom Elektroenergieversorger bereitgestellten Qualitätsmarge. Die Führungsgröße ist **gleich Null**, der Qualitätsindex des Elektroenergieversorgers ist konform zur Produkthanforderung des Elektroenergieabnehmers.

Das in Abschnitt 5.3.1 erwähnte Schreiben des Verbands der Industriellen Energie und Kraftwirtschaft e.V. (VIK) an die Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik und Informationstechnik in DIN und VDE als nationales Normierungsgremium (DKE) ist unter diesem Aspekt ein Fall für bilaterale Gespräche zwischen Versorgtem und Versorger. Es ist kein Fall für eine Abänderung europäischer Grenzwertvorgaben, sondern ein Fall für interdisziplinäre Abstimmungsgespräche zwischen Lieferant und Nutzer am Produkt EE.

Zu beachten ist: die bedingt notwendige Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer ist nicht die Bringpflicht des Versorgers, sondern die Holschuld des Versorgten. Als Nutzer des Produkts EE hat der Elektroenergieabnehmer die Zielvorgabe als Handhabungsverpflichtung im Netzanschlussvertrag gegenüber dem Netzanschlusspartner zu wahren und entsprechend den Anforderungen gegenüber dem eigenen Prozess strategisch auszurichten, d.h. in Balance zu halten. So sieht es momentan auch die DKE in dem der Autor zum Thema der Schnittstellen im industriellen Prozess TC 8 und K 261 entsprechend prägend tätig ist.

5.4 Fazit – Schnittstelle

Nutzt man zur Konformitätsabsicherung die Schnittstelle in Form des „Quality-Gate EE“ entsteht eine ausreichende Anzahl von Verfahren und Möglichkeiten um rechtswirksame Funktionalitäten am Arbeitsplatz des Nutzers zu gewährleisten. Wichtig ist in dieser Beziehung stets den abgeschlossenen Konsens zwischen Konformitätsvorgabe und Konformitätsumsetzung durch die entsprechende Definition des „Quality-Gate EE“ zu finden. Kontrolliertem Konsens nach intern wie extern ist eine eigenständige Kernkompetenz, deren Tiefe und Intensität von der Thematisierung zum Problem im Industrieunternehmen und nicht von der Technologie des Anbieters, Herstellers oder Lieferanten entschieden wird. Entsprechende QS-Umfänge des Anbieters, wie die des Nutzers vom Produkt EE stellen für die Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer stets different zu betrachtende Nutzungsinhalte dar. Ein QM-Zertifikat nach DIN ISO 9000, 9001 und folgend, kann nur dann eine rechtliche Relevanz ausstrahlen, wenn die Anforderung an der Schnittstelle definiert, d.h. vertraglich fixiert ist. Konformität gegenüber der Schnittstelle mindert das Risiko funktionaler Störungen im Besonderen durch die Einbeziehung

organisatorischer Parts im Unternehmen. Hierzu zählen die Planung und der Einkauf des Warenproduktes EE gleichermaßen, dass in Kombination mit der Beschaffung der Infrastruktur in Einklang zu stehen hat.

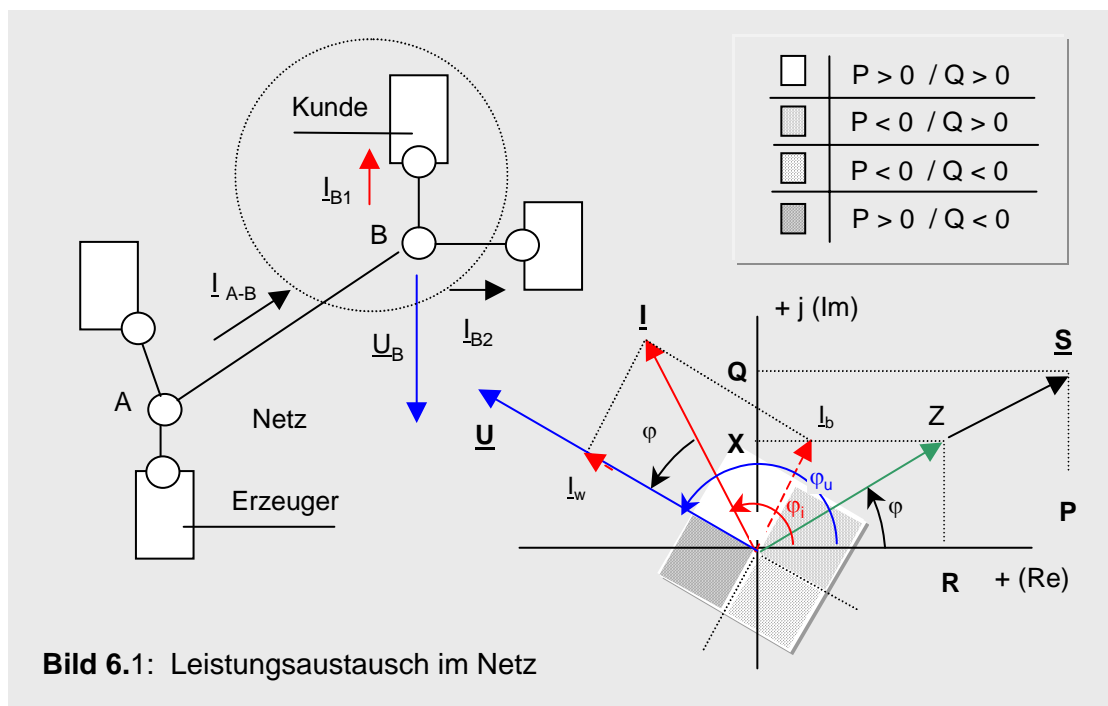
Wird die Konformität zur Elektroenergiequalität bei der Beschaffung, beim Betrieb von Elektroenergieabnehmern ohne diesbezügliche Abklärung angewendet – in der Regel in den Unternehmen so gängige Vorgehensweise – ist dieses Verfahren nach C.O. Bauer /3/ eine grobe fahrlässige Nichtachtung lange anerkannter allgemeiner Sorgfaltspflichten des Unternehmers und der darin für diese Bereiche Verantwortlichen. Diese primäre Bringschuld des Unternehmens wird ergänzt durch eine sekundäre Holschuld der Führungskräfte und Mitarbeiter nach P. Marburger /38/. Nach den Regeln der Technik im Recht hätten diese es wissen müssen, dass solche technischen Normen bestehen, aber im Unternehmen nicht vorliegen, bzw. angewandt werden. Des Weiteren hätten sie nach dem Gesetz entsprechende Nachforschungen anstellen sollen, ob und wie weit diese technischen Normen anwendbar, bzw. nutzbar sind. Des Weiteren müssten Führungskräfte und Mitarbeiter im Unternehmen persönlich aktiv werden, damit von ihnen erkannte Lücken möglichst bald beseitigt werden. Umfang und Inhalt dieser sekundären persönlichen Holschuld richtet sich nach der tatsächlichen persönlichen innerbetrieblichen Verantwortung der einzelnen Führungskraft, respektive des Mitarbeiters. Inhalt und Grenzen dieser sekundären Holschuld ist fließend zu betrachten und kann erst im Einzelfall nach den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten, vor allem der einzeln, möglichst dokumentierten Delegation von Verantwortung und deren praktische Ausführung überprüft und danach entschieden werden.

Einvernehmlichkeit heißt deshalb das Schlüsselwort. Einvernehmlichkeit schlussendlich als Verantwortlichkeit um das Warenprodukt EE bedeutet nicht nur gemeinsamer Erfolg, sondern auch gemeinsame Stabilität zur Konformität EE. Deshalb: Partnerschaft tut Not, denn Partnerschaft ist Transparenz und Transparenz ist Akzeptanz; eine Akzeptanz auch beim Kunden die seine diesbezüglichen Trennstellen als Schnittstellen zwischen Netzbetreiber(n) und Netzkunde(n) nicht zur Stressestelle, sondern zur Nahtstelle werden lässt. Partnerschaft eines Partner-Chips um das Produkt EE an der Schnittstelle im EES – eine Utopie?

6 Balance der Last

6.1 Leistungsaustausch im EES

In der Elektrotechnik hat der aus mindestens einer Quelle, einer Leitung und einem Verbraucher bestehende Stromkreis die Aufgabe dem Verbraucher die benötigte EE in ausreichender Qualität zuzuführen. Die dort sich abbildende Spannung kennzeichnet die Art und Weise des Leistungsaustauschs gegenüber der momentan wirkenden Netztopologie. Ist eine Topologie, d.h. die Anordnung eines geometrischen Gebildes im Raum real vorhanden, spricht man in der Elektrotechnik von einem Netzwerk. Elektrische Netzwerke, die sich aus Zweipolen zusammensetzen, werden meist zwei-dimensional betrachtet. Bild 6.1 zeigt so ein Netzwerk im Bereich der Elektroenergieversorgung zwischen Netzbetreiber (Netz A-B) und Netzkunde (Netzzweig B₁, B₂). Die Netzknoten A und B bilden hier getrennte Indikatoren der EEQ im EES ab. In der jeweiligen Merkmalsbewertung der Spannung \underline{U}_A und \underline{U}_B zeigt das jeweilige Spannungsabbild zur Quellenspannung – Nennversorgungsspannung im EES – den Differenzinhalt auf, der eingeteilt in Wertebereichen einer Merkmalbeschreibung die dort vorherrschende Spannungsqualität einer Qualitätsstufe A, B, C, analog Abschnitt 2.3.4.1, zuweist. Am Beispiel der Abweichung zwischen Netzknoten A zum Netzknoten B, hervorgerufen durch den Laststrom des Kunden B1 und B2, zeigt der objektbezogene Leistungsaustausch im Netz, die Qualitätsminderung als Ursache und Wir-



kung im EES auf. Das um den Impedanzzeiger \underline{Z} , den Leistungszeiger \underline{S} erweiterte Zeigerdiagramm von Strom und Spannung, Bild 6.1, nutzt den Verbraucher B_1 , um daran festgemacht die einzelnen Phasen der Leistungsübertragung am Schnittpunkt zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer im EES transparent darzustellen. Ergänzend zur Input/Output-Betrachtung nach Bild 5.9, Abschnitt 5.3.2, entsteht das, an der komplexen Leistungsebene im Verbrauchersählpfeilsystem nach Bild 6.2 (VZS) ausgerichtete Lastaustauschverhalten am Netzknoten. Je nach Leistungsrichtung im Wirkleistungssegment wird der Leistungsaustausch als aktiver (Wirkleistungsabgabe, Erzeuger, Quelle) oder passiver (Wirkleistungsaufnahme, Verbraucher, Senke) Ausgleichsprozess betrachtet. Gegenüber dem Blindleistungselement spricht man von Blindleistungsauf- oder -abgabe jeweils different gesehen gegenüber der induktiven oder kapazitiven Größe.

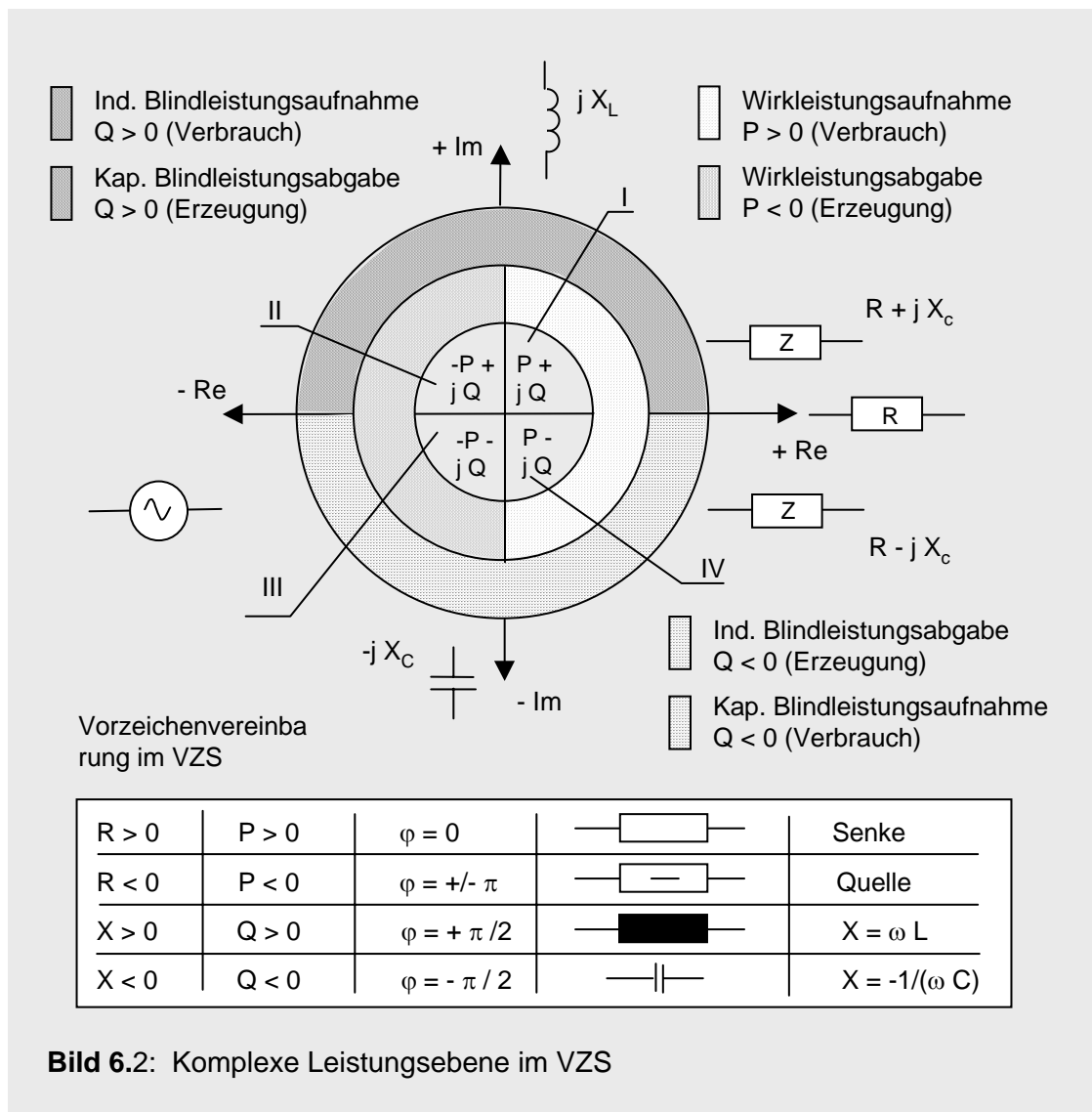


Bild 6.2: Komplexe Leistungsebene im VZS

6.2 Freiraum im EES

Unter der Sichtweise des operativen und strategischen Leistungsaustausch EE im EES, so zu sehen als Wirk- und Blindleistungsaufnahme und –abgabe, bedingt der dort technisch und technologisch zu hinterlegende Maßnahmenbereich so genannte Freiräume. Freiräume im EES gegenüber dem Produkt EE sind vor allem zu verstehen als eine zweckorientierte Darlegung von Planungs- und Betriebspegeln zur Schaffung einer langfristig abgesicherten Konformität im Bereich der Elektroenergiequalität. Gestaltet in der Art und Weise, dass gewisse Deformationsbestandteile der Gl. 5-1, Abschnitt 5.3.2, einer Spannung und eines Stromes zu richtungsorientierten Leistungen gebündelt werden, bringt allen Netznutzern mehr an Sicherheit. Vor allem der Part um Leistungen mit nicht wirkleistungsbezogener Austausch- oder Nutzleistung (Blindleistung), ist im Ablaufschema der Konformitätsbetrachtung zu allen Netznutzern zu strukturieren. Der Autor spricht in diesem Zusammenhang von Professionalisierung der EE am Netzknoten im EES.

Professionalisierung der EE heißt in gewissem Maße deren Konditionierung. Hier bedingt vor allem das partnerschaftliche Wirken um Deformationsblindleistungselemente, wie die der Verschiebung und Verzerrung ein globaleres Denken, denn auch eine Schnittstelle zwischen öffentlichem und nichtöffentlichem Elektroenergieversorgungsnetz ist keine Trennstelle für schichtweises Problemdenken externer und/oder interner Art, sondern eine Koppelstelle.

Unter Aspekten der Gestaltung der Schnittstelle am PCC oder IPC ist der Nutzungsbereich beispielsweise einer Durchleiter-Kunden-Beziehung am Nutzungspunkt nach Bild 6.3 (PCC: Erzeuger, Kunde 1 bis 3) auch im Leistungsspektrum einer kundenbezogenen, bzw. -gerechten Abgabe und Aufnahme EE zu sehen, und entsprechend zu strukturieren. Diese Art der qualitativen Konditionierung des Warenproduktes EE prägt stets auch die Win-Win-Strategie aller Netzpartner des Netzknotens mit. Der in Bild 6.3 unter dem Gesichtspunkt der Spannungsqualität gesehene Leistungsaustausch im VZS muss hier unter Kriterien der elektromagnetischen Verträglichkeit so wirken, dass der Ergebnispunkt der Leistungsbilanz im Wirk- und Blindleistungsbereich, so gesehen im Einzel-, wie im Summenbereich, dem Bedarf der dort eingesetzten Infrastrukturkomponenten (Versorger: Betriebsmittel, wie Transformator, Kondensator, Drossel, Leitung / Versorgte: Elektroenergieabnehmer, wie Maschine, Gerät) entspricht. Gegenüber dem Netzknoten, genutzt als Bilanzpunkt der Leistung im

Wirk- und Blindleistungsbereich, ist der durch den Einzelnutzer (Bild 6.3, Kunde 1 bis 3) sich nutzungsspezifisch einstellende Qualitätsverlust in der EEQ für alle Netzkunden des Netzknoten (eventuell auch vor und nachgelagerter Netzknotenpunkte) sichtbar. Der in Bild 6.3 eingetragene Betriebspegel setzt sich stets aus der Summe der kundenspezifischen Leistungskonstellation (Wirk- und Blindleistungsaufnahme / -abgabe) zusammen. Sie muss stets unterhalb der technisch gesetzten Immunitätsschwelle, respektive als Planungspegel der dort versorgten Elektroenergieabnehmer liegen. Die Differenz zwischen Planungs- und Betriebspegel nach Bild 6.3 ist die strategische Reserve des Elektroenergieversorgungsnetzes gegenüber den dort vereinbarten Grenzparameter, gemessen an Merkmalen einer Versorgungsspannung. Äquivalent gilt es gegenüber dem Kunden den verfügbaren Emissionspegel kontrolliert den dort wirkenden Elektroenergieabnehmern im Elektroenergieversorgungsnetz zuzuweisen.

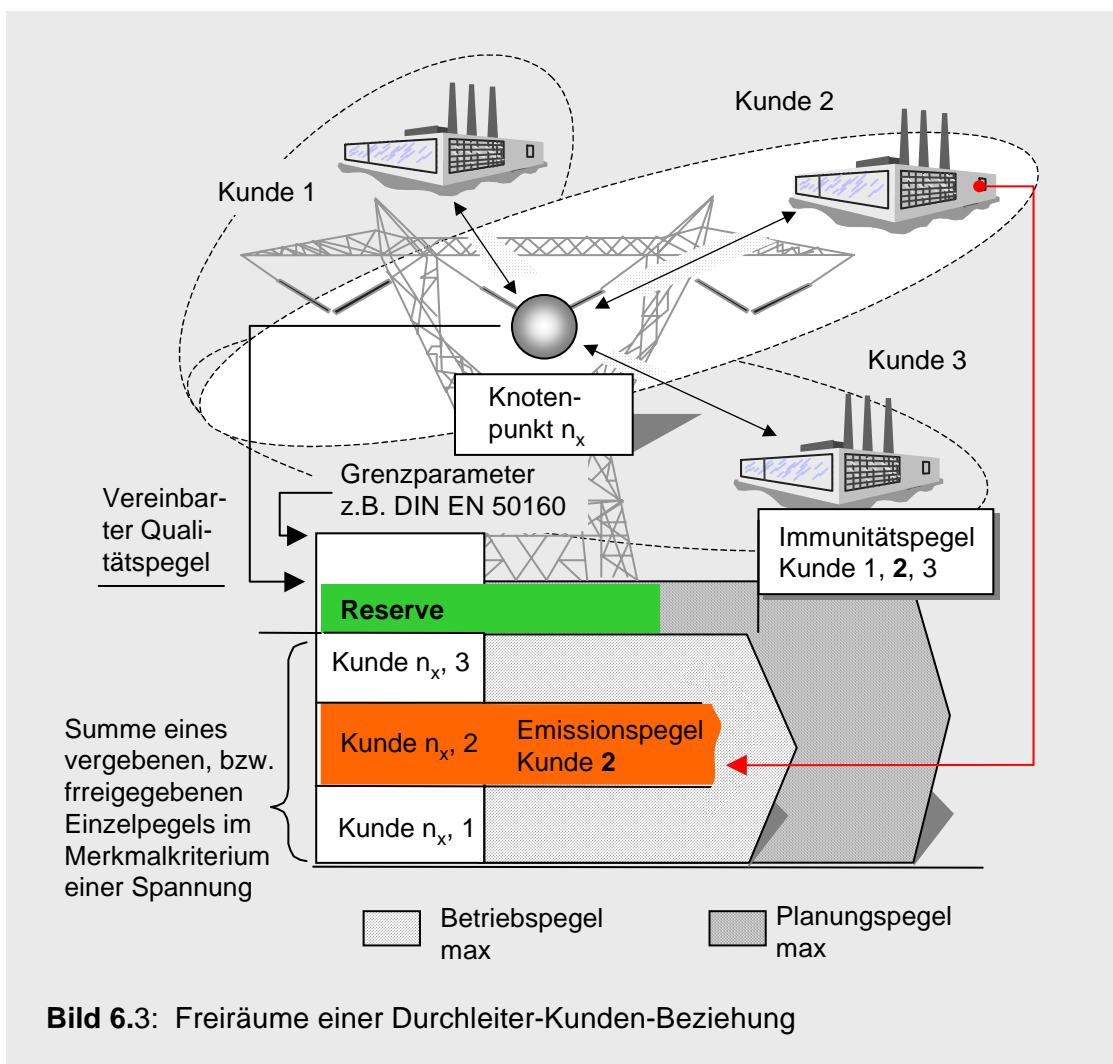


Bild 6.3: Freiräume einer Durchleiter-Kunden-Beziehung

Der am Netzanschlusspunkt (PCC, IPC) vereinbarte Qualitätspegel – nach Bild 6.3 der Planungspegel – muss nicht gleich dem Grenzparameter der Produktnorm DIN EN 50160 entsprechen, sondern kann, wie am Beispiel Bild 6.3 dargestellt, getrennt als Einzelmerkmal das dort hinterlegte Merkmalkriterium im Wert unter- oder überschreiten. Je nach Anwendungsfall ist auch eine Überschreitung des Richtwertes (z.B. DIN EN 50160) denkbar. Grundsätzlich ist die am Netzknotenpunkt zu wählende Pegelgröße die maximale Betriebsbelastung und steht als kleinster gemeinsamer Nenner einer Planung der Störfestigkeit beim Kunden (Beispiel Bild 6.3: Kunde 1 bis 3) zur Verfügung. Das als Summenabbild (Betriebspegel) in Bild 6.3 hervorgehobene Merkmalkriterium einer Spannung im Bereich der Emission entspricht dem Integral der Teilemissionswerte aller auf den Netzknotenpunkt wirkenden Netznutzer. Der zu beachtende Verträglichkeitspegel, Bild 6.3, Immunitätspegel Kunde 1 bis 3 als Planungspegel max, setzt sich aus dem zugelassene Emissionsverhalten der Einzelkunden plus einer Reserve gegenüber Qualitätsdefiziten aus der vor- und/oder nachgelagerten Netzebene zusammen. Für die Einteilung, bzw. Zuteilung der Einzelfreigabe greift bei den Elektroenergieversorgern das, aus der VDE-Empfehlung „Grundsätze für die Beurteilung von Netzurückwirkungen /44/ abgeleitete Prinzip:

- Prinzip der Verursachung: Nicht die Allgemeinheit trägt die Kosten für die Begrenzung der Störauswirkungen, sondern der jeweilige Verursacher von Netzstörungen, d.h. in diesem Fall derjenige Kunde der dementsprechend stört.
- Prinzip der Mengengerechtigkeit: Die Menge an störenden Lasten die ein Kunde anschließen darf, verteilt sich entsprechend der Anschlussleistung des jeweiligen Kunden im Verhältnis zur Anschlussleistung des gesamten Netzbereichs.

Diese ist erweiterbar um ein Drittes Prinzip, ein Prinzip des Autors selbst, das zur Qualitätsbelastung besagt: Der zu beschreibende Pegel der Qualitätsbelastung des Netzkunden durch den Netzbetreiber ist beschreibbar als ein Maß von Gegebenheiten und Notwendigkeiten im Zeichen der Infrastruktur beider. Sowohl Netzbetreiber als auch Netznutzer sind gefordert, ein geeignetes Maß für die Sicherstellung der EEQ zu finden.

Die Zuweisung von Freiräumen, so zu sehen als individueller innerbetrieblicher Spielraum des Elektroenergiekunden gegenüber dem Elektroenergieversorger nutzt den in Bild 6.3 schematisiert zugewiesenen Handlungsspielraum zur Festlegung von Konditionspaketen der Immunität und der Emission. Primär hinterlegt im Netzanschlussver-

trag der physikalischen Netzpartner am Anschlusspunkt zum Elektroenergiekunde (PCC) entsteht nach Bild 6.4 ein Handlungsfeld, das den bilateralen Freiraum auch als innerbetrieblichen Vorhalt – bezeichnet vom Autor als Spielraum am Produkt EE gegenüber der Elektroenergiequalität – des Versorgers, wie des Versorgten zu sehen hat. Die daraus sich bildende individuelle Vereinbarung ist im Grunde die Basisgröße der Beschreibung der Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer. Sie generiert automatisch die in Abschnitt 5.3.3 angesprochene Führungsgröße des Elektroenergiekunden als Regelgröße des Elektroenergieversorgers.

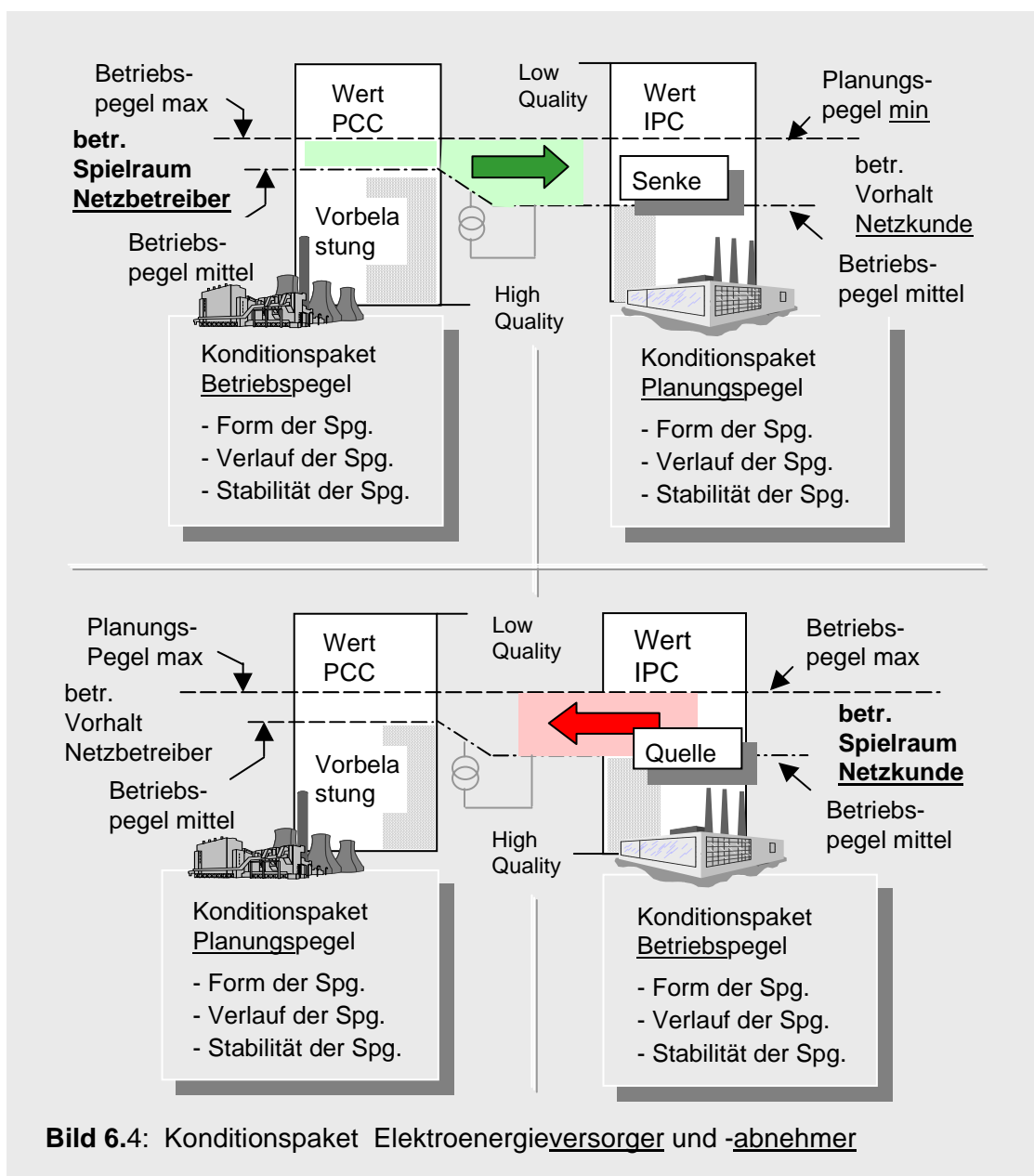


Bild 6.4: Konditionspaket Elektroenergieversorger und -abnehmer

6.3 Detailgröße der Last im EES

Die Abstimmung der Gegebenheit und die Findung der individuellen Notwendigkeit zur Darstellung der Gesamtlösung im Sinne der/aller Netzpartner eines Netzwerkes ist – so gesehen vom Autor – der einzig gangbare Weg zur Abbildung der Konformität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergiekunde. Die daraus erzielbare Konditionierung der Leistung im Rahmen der Konditionspakete, Bild 6.4, Abschnitt 6.2, kann äquivalent dem CO₂-Immissionshandel auch untereinander, d.h. zwischen den einzelnen Netzkunden gegenüber dem betrieblichen Vorhalt der, bzw. des Netzversorger(s) ausgeglichen werden. Die mit der Zeit sich einstellende Kenntnis, bzw. Erkenntnis über die ortsgebundene Gegebenheit am externen (PCC) oder internen (IPC) Netzknotenpunkt, bedingt einer gewissen Differenziertheit um eigene, gegenüber benachbarte Störphänomene zu konkretisieren. Detailinformationen zur Leistungsbetrachtung im Elektroenergiesystem mit nichtlinearen, unsymmetrischen und/oder zeitlich schwankenden Belastungen sind jetzt notwendig.

Hier ist das vom Autor propagierte Darlegungssegment von Planungs- und Betriebspegeln ein erstes Basissegment einer Merkmalkette die am Ende die gesuchte Kompatibilität zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer zu stellen vermag. Gestaltbar in der Art und Weise, dass gewisse negative wirkende Bestandteile einer Spannung und eines Stromes, z.B. bilanziert als Momentanwert der Leistung nach Gl. 6.1 als so genannter Deformationsbestandteile im Wirk- und Blindleistungsbereich technisch-wirtschaftlich ausweisbar sind. Hierzu zählt auch die entsprechende Bewertung des Störphänomens in Kosten pro Watt und var. Entsprechend verrechenbare Teilfaktoren einer Leistung S , wie „ E “ für den Gesamtfaktor der Wirkleistung und „ F “ für den Gesamtfaktor der Blindleistung, runden das Betrachtungsgebilde ab.

$$\begin{aligned}
 \mathbf{S} &= \sqrt{E^2 + F^2} \\
 E^2 &= (P_G + P_O + P_M)^2 \\
 F^2 &= [(Q_G + Q_O + Q_M)^2 + D_O^2 + D_M^2 + D_{MO}^2 + U^2] \quad (6-1)
 \end{aligned}$$

➤ Gesamtwirkleistung E [Watt]:

- | | | | | |
|-----------|-----------------------------|---------------|---|--------------------------|
| ▪ P_G : | Wirkanteil Grundschiwingung | $\nu=1$ | } | E : Gesamtwirkleistung |
| ▪ P_O : | Wirkanteil Verzerrung | $\nu > 1$ | | |
| ▪ P_M : | Wirkanteil Modulation | $0 < \nu < 1$ | | |

➤ Gesamtblindleistung F [var]:

- | | | | |
|---|---------------|---|---------------------------|
| ▪ Q_G : Verschiebungsblindleistung Grundschiwingung | $\nu = 1$ | } | } |
| ▪ Q_O : Verschiebungsblindleistung Verzerrung | $\nu > 1$ | | |
| ▪ Q_M : Verschiebungsblindleistung Modulation | $0 < \nu < 1$ | | |
| <hr/> | | | |
| ▪ D_O : Deformationsblindleistung Verschiebung | $\nu = 1$ | } | } |
| ▪ D_M : Deformationsblindleistung Modulation | $0 < \nu < 1$ | | |
| ▪ D_{MO} : Zusammenwirken von D_O u. D_M | $\nu > 0$ | | |
| <hr/> | | | |
| ▪ U : Unsymmetrieblindleistung | | | F : Gesamtblindleistung |

Beim Gro des Bestandteiles einer, vom Grundschiwingungsniveau abweichenden SchwiwingungsgröÙe elektrischer Austauschleistung, handelt es sich um Bestandteile im Blindleistungsbereich. Diese Aussage beruht auf der Tatsache, dass der Leistungsanteil einer nicht Grundschiwingungskomponente gröÙenmäÙig aus Bestandteilen einer nicht in thermische oder mechanische Nutzenergie umsetzbaren KenngröÙe, der so genannten BlindgröÙe als Blindleistung handelt. Diese Blindleistung wird vorzugsweise vom konkreten Wandlungsverhalten des Elektroenergieabnehmers geprägt. Der dazu in der Wirtschaft gehandhabte Verrechnungsstatus am Produkt EE im EES beschränkt sich ausschließlich auf den Part der Grundschiwingung, d.h. $\nu=1$ nach Gl. 6-2.

$$S_{\nu=1} = \sqrt{(P_{\nu=1}^2 + Q_{\nu=1}^2)} \quad (6-2)$$

6.3.1 Leistungen im Einphasensystem

6.3.1.1 Wirk- und Verschiebungsblindleistung

Die Wirk- und Verschiebungsblindleistung ist ein Summenprodukt aus Leiterspannung und Leiterstrom, kombiniert mit dem Cosinus oder Sinus der zwischen Leiterspannung und Leiterstrom auftretende Phasenwinkel φ , bzw. bezogen auf den Teilschiwingungsbereich nach Abschnitt 2.3 als φ_ν ($0 < \nu < \infty$).

$$\varphi_\nu = \varphi_{U\nu} = \varphi_{U\nu} - \varphi_{I\nu} \quad (6-3)$$

Mit Hilfe der Teilschiwingungen von Strom und Spannung ergibt sich mit $\nu = k, q$ unmittelbar für die Wirk- und Verschiebungsblindleistung:

➤ Wirkleistung

$$P = \sum_{k>0}^{\infty} U_k I_k \cos \varphi_k = \sum_{k>0}^n P_v$$

$(\varphi_{U_k} - \varphi_{I_k})$

Gesamtwirkleistung

- P_G $k=1$ → Ant. Grundschw.
- P_O $k>1$ → Ant. Verzerrung
- P_M $0 < k < 1$ → Ant. Modulation

$$P = P_G + P_O + P_M \tag{6-4}$$

Die Wirkleistung tritt im VZS als motorische ($P>0$) oder generatorische ($P<0$) Größe auf. Gesehen als Wirkleistungsabgabe und -aufnahme bildet sie den Austausch am Produkt EE in Form von Kraft, Wärme, Licht. Der Phasenwinkel zwischen Spannungs- und Stromzeiger ist 0 Grad, d.h. im VZS Wirkleistungsaufnahme, oder 180 Grad (Wirkleistungsabgabe). Die Drehfrequenz von Spannungs- und Stromzeiger ist gleichfrequent, unabhängig der betrachteten Schwingungsfrequenz k ($k > 0$).

➤ Verschiebungsblindleistung

$$Q = \sum_{k>0}^{\infty} U_k I_k \sin \varphi_k = \sum_{k>0}^n Q_k$$

- Q_G $k=1$ Anteil Grundschw.
- Q_O $k>1$ Anteil Verzerrung
- Q_M $0 < k < 1$ Anteil Modulation

$$Q = Q_G + Q_O + Q_M + Q_{MO} \tag{6-5}$$

Je nach Infrastruktur beim Elektroenergieversorger (Lieferant, Durchleiter) oder Elektroenergieabnehmer (Kunde) ist der sich einstellende Anteil an Verschiebungsblindleistung, Bild 6.1, Abschnitt 6.1, von kapazitiver oder induktiver Natur. Strom- und Spannungszeiger schwingen gleichphasig, entweder um + 90 Grad oder – 90 Grad zueinander gedreht. Thermisch wird keine Leistung umgesetzt. Bei einem Phasenwinkel zwischen Strom- und Spannungszeiger von + 90 Grad spricht man von induktiver Verschiebungsblindleistung, bei einem Phasenwinkel von – 90 Grad von kapazitiver Verschiebungsblindleistung, im allgemeinen Sprachgebrauch auch als induktive oder kapazitive Blindleistung bezeichnet.

Die algebraische Addition des Teilleistungsbereichs Grundschiwingung ($k=1$), Verzerrung ($k>1$) und Modulation ($0<k<1$) einer Wirk- und Verschiebungsblindleistung bildet die Gesamtwirkleistung ($k>0$) nach Gl. 6-4, und die Gesamtverschiebungsblindleistung ($k>0$) nach Gl. 6-5. Mit dem Index I bezeichnet der Autor in der weiteren Analyse den Versorger (Netzdurchleiter), Index II den Versorgten (Netzkunden). Stets gilt die Betrachtung unter der Ergänzung nach Abschnitt 5.3.2 als Sichtweise des Autors für die am Netzknotenpunkt resultierende Wirk – und Verschiebungsblindleistung

$$P = \sum_k P_I (E\text{-Versorger}) + \sum_k P_{II} (E\text{-Abnehmer}) \quad (6-6)$$

$$Q = \sum_k Q_I (E\text{-Versorger}) + \sum_k Q_{II} (E\text{-Abnehmer}) \quad (6-7)$$

6.3.1.2 Deformationsblindleistung

Der Produktbestandteil der Deformationsblindleistung ist nach der Fallunterscheidung aus Abschnitt 6.3 – Themenbereich Gesamtblindleistung – die der

- Leistungsgröße Verzerrung D_O ;
- Leistungsgröße Modulation D_M ;
- Leistungsgröße der Zusammenwirkung D_{MO} ;

Hervorgerufen durch nichtlineare Belastungskennlinien (Spannungs-Strom-Kennlinie) ergibt sich ein Leistungsgebilde das vorzugsweise der Kunden durch die Lastabnahme der Elektroenergieabnehmer selbst bestimmt. Der entsprechende Belastungsbestandteil nichtlinearer Verbrauchslasten ist, gesehen zu ihrem Bestandteil aus dem sub-, netz-, zwischen- und höherharmonischem Teilschwingungssegment bei Spannung und Strom mit zu berücksichtigen. Im Einphasensystem entspricht der Deformationsblindleistungsanteil die der Leistungskomponente nach Gl. 6-8. Deren Detailgrößen bilden die am Eingang erwähnte Kenngröße D_O , D_M , D_{MO} im Blindleistungsbe- reich nach Definition Gl. 6-9.

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \quad \left| \begin{array}{l} \text{Einphasensystem} \\ \text{-> Unsymmetrie} = 0 \end{array} \right. \quad (6-8)$$

$$D^2 = D_O^2 + D_M^2 + D_{MO}^2 \quad (6-9)$$

Zur Detaillierung der Deformationsblindleistung nutzt man den Part der Definition der Scheinleistung S in allgemeiner Darstellung nach Gl. 6-10. Gl. 6-11 ordnet den dort zusammenfassbaren Teilkomponenten die orthogonalen Komponente zu: S_O (Leis-

tungskomponente, die von der netz-, zwischen- und höherharmonischen Schwingung gebildet wird), S_M (Leistungskomponente, die subharmonischen Bereich darstellt) und D_{MO} (Restbereich mit $k \neq q$). Der Index k, q kennzeichnet analog der Betrachtung in Abschnitt 5.3.2 und 6.3.1.1 den Teilkomponentenbereich aus dem sub-, netz-, zwischen und höherharmonischen Bereich ohne Gleichanteile ($k, q > 0$), die der Grundschwingung $k, q = 1$.

$$S^2 = \underbrace{\sum_{k,q=1}^{\infty} U_{k,q}^2 \sum_{k,q=1}^{\infty} I_{k,q}^2}_{S_0^2} + \underbrace{\sum_{k,q>0}^{k<1} U_{k,q}^2 \sum_{k,q>0}^{k<1} I_{k,q}^2}_{S_M^2} + \underbrace{\sum_{k>0}^{k<1} U_k^2 \sum_{q=1}^{\infty} I_q^2 + \sum_{q=1}^{\infty} U_q^2 \sum_{k>0}^{k<1} I_k^2}_{D_{MO}^2} \quad (6-10)$$

$$S^2 = S_0^2 + S_M^2 + D_{MO}^2 \quad (6-11)$$

Analog der Leistungskomponente S besteht auch die Leistungskomponente S_0 und S_M aus orthogonalen Teilkomponenten. Die Zuordnung erfolgt durch die Verknüpfung der Summationskomponenten bei Spannung und Strom nach Schema Gl. 6-12 und Gl. 6-13 bzw. deren Zuweisung nach Gl. 6-14 und Gl. 6-15.

$$S_0^2 = P_1^2 + \underbrace{\sum_{k>1}^{\infty} P_{k>1}^2}_{P_G^2} + Q_1^2 + \underbrace{\sum_{k>1}^{\infty} Q_{k>1}^2}_{P_O^2} + \underbrace{\sum_{k,q=1/k=q}^{\infty} U_k^2 I_q^2 - \sum_{k,q=1/k=q}^{\infty} P_k^2 P_q^2 - \sum_{k,q=1/k=q}^{\infty} Q_k^2 Q_q^2}_{D_O^2} \quad (6-12)$$

$$S_0^2 = P_G^2 + P_O^2 + Q_G^2 + Q_O^2 + D_O^2 \quad (6-13)$$

$$S_M^2 = \sum_{k>0}^{k<1} P_k^2 + \sum_{k>0}^{k<1} Q_k^2 + \underbrace{\sum_{k,q>0/k \neq q}^{k<1} U_k^2 I_q^2 - \sum_{k,q>0/k \neq q}^{k<1} P_k^2 P_q^2 - \sum_{k,q>0/k \neq q}^{k<1} Q_k^2 Q_q^2}_{D_M^2} \quad (6-14)$$

$$S_M^2 = P_M^2 + Q_M^2 + D_M^2 \quad (6-15)$$

Eine Zusammenfassung der Teilbestandteile schafft mehr Transparenz. Gegliedert in die Grundbestandteile der Wirkleistung und der Blindleistung entsteht der, im weiteren Verlauf der Dissertation genutzter Leistungsinhalt der Gesamtwirkleistung E und der Gesamtblindleistung F nach Definition Abschnitt 6.3.

$$P_G^2 = P_1^2 = U_1^2 I_1^2 \cos^2 \varphi_1 \quad (6-16)$$

$$P_O^2 = \sum_{k>1} P_k^2 = \sum_{k>1} U_k^2 I_k^2 \cos^2 \varphi_k \quad (6-17)$$

$$P_M^2 = \sum_{0<k<1} P_k^2 = \sum_{k>1} U_k^2 I_k^2 \cos^2 \varphi_k \quad (6-18)$$

$$E = \sqrt{P_G^2 + P_O^2 + P_M^2}$$

$$Q_G^2 = Q_1^2 = U_1^2 I_1^2 \sin^2 \varphi_1 \quad (6-19)$$

$$Q_O^2 = \sum_{k>1} Q_k^2 = \sum_{k>1} U_k^2 I_k^2 \sin^2 \varphi_k \quad (6-20)$$

$$Q_M^2 = \sum_{0<k<1} Q_k^2 = \sum_{0<k<1} U_k^2 I_k^2 \sin^2 \varphi_k \quad (6-21)$$

$$Q^2 = Q_G^2 + Q_O^2 + Q_M^2 \quad (6-22)$$

$$D_O^2 = \sum_{k,q=1/k \neq q}^{\infty} U_k^2 I_q^2 - \sum_{k,q=1/k \neq q}^{\infty} P_k^2 P_q^2 - \sum_{k,q=1/k \neq q}^{\infty} Q_k^2 Q_q^2 \quad (6-23)$$

$$D_M^2 = \sum_{k,q>0/k \neq q}^{k<1} U_k^2 I_q^2 - \sum_{k,q>0/k \neq q}^{k<1} P_k^2 P_q^2 - \sum_{k,q>0/k \neq q}^{k<1} Q_k^2 Q_q^2 \quad (6-24)$$

$$D_{MO}^2 = \sum_{k=1}^{\infty} U_k^2 \sum_{q>0}^{k<1} I_q^2 + \sum_{q=1}^{k<1} U_q^2 \sum_{k>0}^{\infty} I_k^2 \quad (6-25)$$

$$F = \sqrt{Q^2 + D_O^2 + D_M^2 + D_{OM}^2}$$

6.3.1.3 Zusammenführung zur Scheinleistung

Die Risikoabschätzung einer Leistung, besser eines Leistungsaustauschs an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer nutzt am Beispiel die Input / Output-Betrachtung von Kenngrößen am Produkt EE, Bild 5.9, Abschnitt 5.3.2, als Zuordnung von Austauschgrößen der Elektroenergieversorgung im Bereich Wirkung und Rückwirkung zum EES. Nach Bild 5.9, Abschnitt 5.3.2, gilt für den weiteren Verlauf der Dissertation der dort hinterlegte Definitionsinhalt mit dem Versorgungsindex I (P_I als E_I , bzw. Q_I , D_I als F_I) als Seite des Versorgers, Versorgungsindex II (P_{II} als E_{II} , bzw. Q_{II} , D_{II} als F_{II}) als Seite des Versorgten.

$k > 0 \quad P = \sum U_k I_k \cos \varphi_k$				
Wirkanteil	Versorgungsindex I		Versorgungsindex II	
$k = 1$, Grundschw., Gl. 6-16	$P_G > 0$	$P_G = P_{I,G}$	$P_G < 0$	$P_G = P_{II,G}$
$k > 1$, Verzerrung, Gl. 6-17	$P_O > 0$	$P_O = P_{I,o}$	$P_G < 0$	$P_O = P_{II,o}$
$0 < k < 1$, Modulation, Gl. 6-18	$P_M > 0$	$P_M = P_{I,m}$	$P_G < 0$	$P_M = P_{II,m}$
Gesamtwirkleistung $E_W = \sum E_{W I, II}$	$E_{W I} = \sum \dots\dots$		$E_{W II} = \sum \dots\dots\dots$	

Tabelle 6-1: Gesamtwirkanteil Wechselstrom (Index W) E_W

Unproblematisch ist im VZS die Zuweisung des Versorgungsindex bei der Wirkleistung P . Im Einphasen-Wechselstrom-System, bezeichnet vom Autor mit dem Index „W“, ordnet Tabelle 6-1 dem Wirkleistungswert P_G , P_O und P_M , Gl. 6-16 bis 6-18, Abschnitt 6.3.1.2, je nach gemessener und/oder berechneter Leistungsgröße P_G , P_O oder P_M bei $P_{G,O,M} > 0$ den Versorgungsindex I zu, bei $P_{G,O,M} < 0$ den Versorgungsindex II. Die Zusammenführung zur Gesamtwirkleistung E_W erfolgt durch Summation der Spalte Versorgungsindex I zu E_{WI} , bzw. Versorgungsindex II zu E_{WII} . E_{WI} stellt im Input / Output-Modell nach Bild 5.9, Abschnitt 5.3.2, den dort hinterlegten Wirkleistungszeiger von P_I , E_{WII} den von P_{II} dar.

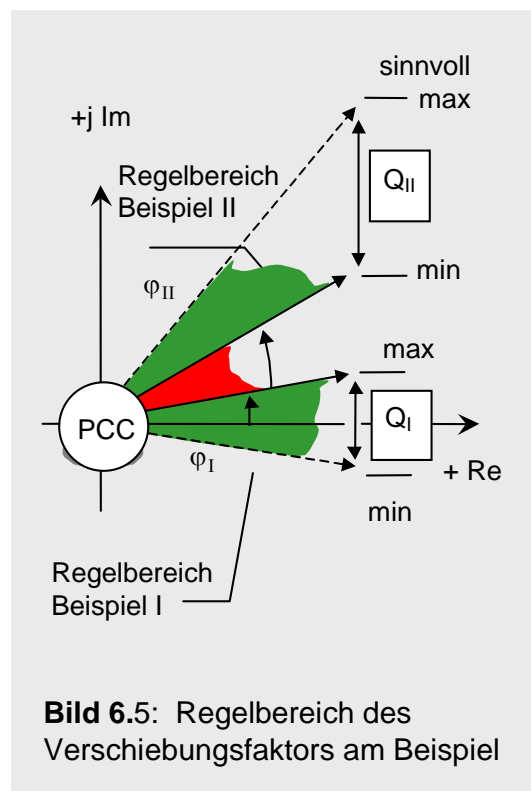
Die Indexzuweisung gegenüber dem Blindleistungsanteil ist problematischer. Seine Kennzeichnung gegenüber der Quelle ist indirekt, d.h. an Indikatoren gekoppelt. Bei betrachteten Industrieunternehmen nutzt der Autor beispielsweise den Wirkanteil des Leistungsindikators – Beispiel: Bild 6.1, Abschnitt 6.1, Wirkanteil P , Leistungszeiger \underline{S}_{B1} , Verbraucher B1, Netzknoten B – um die Quellenrichtung des Blindleistungsanteiles zu lokalisieren. Außer der Fallsituation des reinen Wirk- oder Blindleistungsaustausches steht in der Zeigerdarstellung der komplexen Zahlenebene stets ein, über den $\cos \varphi$ zwischen Strom- und Spannungszeiger gekoppelter Wirkanteil P zur Deklaration von Versorgungsindex I oder II, nach Schema Tabelle 6-1, zur Verfügung. Heruntergebrochen auf Harmonische aus dem sub-, netz-, zwischen- und höherharmonischen Bereich ist für jede harmonische Teilschwingung im Verzerrungs- und Modulationsblindleistungsbereich eine Richtungsaussage aus dem entsprechenden Wirkleistungsanteil nach Gl. 6-17 und 6-18, Abschnitt 6.3.2.1, ableitbar. Für die Leistungsgröße der Zusammenführung von Verzerrungs- und Modulationsblindleistung betrachtet der Autor die Leistungskomponente der harmonischen Teilschwingung mit $\nu = k, q$ im Detail. Diejenige Teilkomponente, deren Wirkleistung dort dominiert (P_k , oder P_q), wird als Führungskomponente für die Richtungsangabe der Austauschrichtung nach Versorgungsindex I oder II herangezogen.

Komplexer wird der Sachverhalt bei der Verschiebungsblindleistung. Da kein Realanteil in der Leistungsbildung nutzbar ist, benutzt der Autor als Indikator den \cos des Winkels zwischen Versorgungsstrom und –spannung als Korrelation zu Netzanschlussbedingungen im Netzanschlussvertrag (Abschnitt 3.2.1) beim Kunden. Der als Netz-cos-phi bezeichnete Phasenwinkel einer Netzbelastung spiegelt dort Rahmenbedingungen eines Elektroenergieversorgers gegenüber seinem Elektroenergiekun-

den wieder, der beispielsweise im vom Autor betrachteten Unternehmen als Bandbreite einer zugelassenen Grenzbelastung vereinbart ist. Der Eckwert zwischen zugelassenem und gesperrtem Bandbereich der Grenzbelastung an der Schnittstelle –am Beispiel PCC – trennt Versorgungsindex I (zugelassener Bereich) zu II (gesperrter / zu vermeidender Bereich). Unabhängig der zulässigen Bezugsblindleistung als induktive oder kapazitive Größe zählt die Grenzwertverletzung durch den Kunden im Resultat am Schnittpunkt zum Grenzgrößenbereich im Netzanschlussvertrag als Kenngröße einer Entscheidung nach Versorgungsindex I oder II. Am Beispiel zweier Fallsituationen aus dem Umfeld des Autors sei dieses Vorgehen verdeutlicht. Sein Ergebnis ist in Tabelle 6-2 (Blindleistungsgröße der Verschiebung) hinterlegt.

Beispiel I: Elektroenergieversorgungsnetze **induktiv:**

Im betrachteten Unternehmen, Werk A, wird vom physikalischen Netzanschlusspartner EnBW über ausgeprägte Freileitungsnetze mit dem Produkt EE versorgt. Der dort vorhandene induktive Überschuss an Verschiebungsblindleistung wird durch die zusätzliche Blindleistungseinleitung seitens des betrachteten industriellen Elektrizitätskunden verstärkt. Die aus den beiden phasengleichen Blindleistungskomponenten sich bildende resultierende Blindleistung ($Q_{res.} = + Q_{Netz} + Q_{Kunde}$) belastet das Versorgungsnetz des Flächenversorgers mit. Konsequenz beim physikalischen Netzanschlusspartner ist die Begrenzung der Blindleistungseinbringung durch den Kunden, im vorliegenden Fall auf einen Verschiebungsfaktor von $\varphi \geq 0,9$ induktiv. Der kapazitive Bereich wird nicht reglementiert. Er stellt jedoch keine wirtschaftlich relevante Betriebsweise dar. In der Regel wird vom Netzkunden versucht, den Kompensationsregelaufwand dahingehend zu optimieren, das je



nach Abnahmeleistung durch die Be- und Entlastungsvorgänge beim Kunden, ein Pendeln des Netz-cos-phi um 0,96 zustande kommt. Ein Regelbereich um die reelle Achse nach Bild 6.5 entsteht.

$k > 0 \quad Q = \sum U_k I_k \sin \varphi_k$				
Fallbeispiel I: E-Netz induktiv	Versorgungsindex I		Versorgungsindex II	
$k = 1$, Grundschw., Gl. 6-19	$\varphi_k \geq 0,9$	$Q_G = Q_{I, G}$	$\varphi_k < 0,9$	$Q_G = Q_{II, G}$
$k > 1$, Verzerrung, Gl. 6-20	$\varphi_k \geq 0,9$	$Q_O = Q_{I, o}$	$\varphi_k < 0,9$	$Q_O = Q_{II, o}$
$0 < k < 1$, Modulation, Gl. 6-21	$\varphi_k \geq 0,9$	$Q_M = Q_{I, M}$	$\varphi_k < 0,9$	$Q_M = Q_{II, M}$
Versch.bl.leist. $Q_W = \sum Q_{W I, II}$	$Q_{W I} = \sum \dots\dots$		$Q_{W II} = \sum \dots\dots$	

$k > 0 \quad Q = \sum U_k I_k \sin \varphi_k$				
Fallbeispiel II: E-Netz kapaz.	Versorgungsindex I		Versorgungsindex II	
$k = 1$, Grundschw., Gl. 6-19	$\varphi_k \leq 0,75$	$Q_G = Q_{I, G}$	$\varphi_k > 0,75$	$Q_G = Q_{II, G}$
$k > 1$, Verzerrung, Gl. 6-20	$\varphi_k \leq 0,75$	$Q_O = Q_{I, o}$	$\varphi_k > 0,75$	$Q_O = Q_{II, o}$
$0 < k < 1$, Modulation, Gl. 6-21	$\varphi_k \leq 0,75$	$Q_M = Q_{I, M}$	$\varphi_k > 0,75$	$Q_M = Q_{II, M}$
Versch.bl.leist. $Q_W = \sum Q_{W I, II}$	$Q_{W I} = \sum \dots\dots$		$Q_{W II} = \sum \dots\dots$	

Tabelle 6-2: Blindleistungsgröße der Verschiebung

Beispiel II: Elektroenergieversorgungsnetz **kapazitiv**

Das betrachtete Unternehmen, Werk B, ist in der Versorgungsstruktur der NWS eingebunden. Ein weitläufig erdverlegtes Versorgungsnetz prägt dort das Geschehen am Netzanschlusspunkt zum Kunden. Durch den kapazitiven Überhang im Versorgungsgebilde der Neckarwerke ist die Vertragsgestaltung auf eine induktive Bezugsblindleistungseinbringung hin ausgerichtet. Hier gilt die Vorgabe des Versorgers gegenüber dem Kunden möglichst keine Eigenkompensation vorzunehmen. Die im vorliegenden Fall genutzte Entlastung kapazitiver Blindleistung durch den induktiven Blindleistungsanteil des Netzkunden ($Q_{res.} = -Q_{Netz} + Q_{Kunde}$) stellt im Vertragskontext eine Begrenzung des Verschiebungsfaktors auf $\leq 0,75$ induktiv dar. Auch hier wird durch geeignete Wahl der Kompensationseinrichtung versucht den Regelbereich im Mittel auf 0,7 nach unten zu begrenzen (Bild 6.5, Regelbereich II). Ein Verzicht auf jegliche Kompensation ist für den Netzkunden nicht wirtschaftlich, da durch den erhöhten Blindleistungsbedarf (cos phi 0,5 bis 0,6) die verfügbare Übertragungsleistung S innerhalb der eigenen Infrastruktur unnötig stark eingeschränkt wird.

Beispielsbetrachtungen aus dem Blindleistungsbereich der Verzerrung dokumentiert der Autor in Tabelle 6-3, die der Modulation in Tabelle 6-4, gefolgt von der Zusammenführung von Verzerrung und Modulation in Tabelle 6-5.

$k, q > 1, k \neq q$ $D_O = \sum U_k I_q - \sum P_k P_q - \sum Q_k Q_q$ (Gl 6-23)					
k, q : Beispiel →	k=3/q=5	K=3/q=7	k=3/q=9	K=3/q=1	Verarb.
Vergleich P_k zu P_q	$P_k > P_q$	$P_k > P_q$	$P_k < P_q$	$P_k < P_q$	Stufe 1
Richtungsvorgabe	P_k	P_k	P_q	P_q	Stufe 2
Wertvorgabe im VZS	$P_k > 0$	$P_k < 0$	$P_q > 0$	$P_q < 0$	Stufe 3
Wertzuw. Einzel- u. Summenwert inklusive Richtungsindex I / II	$D_{O, k,q} \rightarrow I$	---	$D_{O, k,q} \rightarrow I$	---	$D_{O I} = \sum D_{O, k,q}$
	---	$D_{O, k,q} \rightarrow II$	---	$D_{O, k,q} \rightarrow II$	$D_{O II} = \sum D_{O, k,q}$

Tabelle 6-3: Blindleistungsgröße Verzerrung

$0 < k, q > 1, k \neq q$ $D_M = \sum U_k I_q - \sum P_k P_q - \sum Q_k Q_q$ (Gl 6-24)					
k, q : Beispiel →	k=.9/q=.7	K=.9/q=.5	k=.5/q=.3	K=3/q=.1	Verarb.
Vergleich P_k zu P_q	$P_k > P_q$	$P_k > P_q$	$P_k < P_q$	$P_k < P_q$	Stufe 1
Richtungsvorgabe ↓	P_k	P_k	P_q	P_q	Stufe 2
Wertvorgabe im VZS	$P_k > 0$	$P_k < 0$	$P_q > 0$	$P_q < 0$	Stufe 3
Wertzuw. Einzel- u. Summenwert inklus. Richtungsindex I / II	$D_{M, k,q} \rightarrow I$	---	$D_{M, k,q} \rightarrow I$	---	$D_{M I} = \sum D_{M, k,q}$
	---	$D_{M, k,q} \rightarrow II$	---	$D_{M, k,q} \rightarrow II$	$D_{M II} = \sum D_{M, k,q}$

Tabelle 6-4: Blindleistungsgröße Modulation

$0 < k < 1, q = 1$ $D_{MO} = \sum U_k^2 \sum I_q^2 + \sum U_q^2 \sum I_k^2$ (Gl. 6-25)					
k, q : Beispiel →	k=3/q=5	k=3/q=7	k=3/q=9	k=3/q=1	Betracht.
Vergleich P_k zu P_q	$P_k > P_q$	$P_k > P_q$	$P_k < P_q$	$P_k < P_q$	Stufe 1
Richtungsvorgabe	P_k	P_k	P_q	P_q	Stufe 2
Wertvorgabe im VZS	$P_k > 0$	$P_k < 0$	$P_q > 0$	$P_q < 0$	Stufe 3
Wertzuw. Einzel- u. Summenwert inklusive Richtungsindex I / II	$D_{MO, k,q} I$	---	$D_{MO, k,q} I$	---	$D_{MO I} = \sum D_{MO, k,q}$
	---	$D_{MO, k,q} II$	---	$D_{MO, k,q} II$	$D_{MO II} = \sum D_{MO, k,q}$

Tabelle 6-5: Blindleistungsgröße der Zusammenwirkung von Verz. und Modulation

k,q > 0		$F = \sqrt{(Q^2 + D_O^2 + D_M^2 + D_{OM}^2)}$			
Blindanteil	Versorgungsindex I		Versorgungsindex II		
Verschiebung k = 1	$Q_{G I} > 0$	-> $Q_{G I}$	$Q_{G II} > 0$	-> $Q_{G II}$	
Verschiebung k > 1	$Q_{O I} > 0$	-> $Q_{O I}$	$Q_{O II} > 0$	-> $Q_{O II}$	
Verschiebung 0 < k < 1	$Q_{M I} > 0$	-> $Q_{M I}$	$Q_{M II} > 0$	-> $Q_{M II}$	
Gesamtverschiebung		-> Q^2_I		-> Q_{II}	
Verzerrung k,q > 1 k ≠ q	$D_{O I} > 0$	-> $D_{O^2 I}$	$D_{O II} > 0$	-> $D_{O II}$	
Modulation 0 < k,q < 1 k ≠ q	$D_{M I} > 0$	-> $D_{M^2 I}$	$D_{M II} > 0$	-> $D_{M II}$	
Verzerrung + Modulation	$D_{MO I} > 0$	-> $D_{MO^2 I}$	$D_{MO II} > 0$	-> $D_{MO II}$	
Gesamtblindl. $F_W = \Sigma F_{W I, II}$	$F_{W I} = \sqrt{\Sigma \dots I}$		$F_{W II} = \sqrt{\Sigma \dots II}$		

Tabelle 6-6: Gesamtblindanteil Wechselstrom (Index W) F_W

Tabelle 6-6 bildet die Zusammenfassung zur Gesamtblindleistung F_W – für Wechselstrom (Einphasensystem) – getrennt nach Zuordnung im Versorgungsindex I (Austausch EE im EES vom Elektroenergieversorgungsnetz zum Elektroenergieabnehmer) und Versorgungsindex II (Austausch EE im EES vom Elektroenergieabnehmer zum Elektroenergieversorgungsnetz). Darauf aufbauend erfolgt aus Tabelle 6-1 und Tabelle 6-6 die bilaterale Austauschleistung S_I, S_{II} einer Summenleistung S gegenüber dem Schnittpunkt zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer im Interpretationsschema des Autors zu:

$$S_{WI} = \sqrt{E_{WI}^2 + F_{WI}^2} \quad \text{Elektroenergieversorgungsnetz} \quad (6-26)$$

$$S_{WII} = \sqrt{E_{WII}^2 + F_{WII}^2} \quad \text{Elektroenergieabnehmer} \quad (6-27)$$

$$S_W = \sqrt{S_{WI}^2 + S_{WII}^2} \quad \text{Schnittstelle PCC, IPC} \quad (6-28)$$

Die Selektion der messtechnisch erfassbaren resultierenden Austauschleistung (Gl. 6-28) an der Schnittstelle zwischen Bereitstellung und Nutzung am Produkt EE (PCC, IPC: Bereitstellung Gl. 6-26, Nutzung Gl. 6-27) gestattet es dem Autor ursachenbezogene Transparenz auch im Sinne der Verrechnung von Deformationsleistungen zu schaffen. In der weiteren Vorgehensweise der Dissertation wird dieser Akt der Zerlegung ein technologischer Begleiter im Frequenzbereich zwischen $0 < k, q \geq 180$ darstellen, das entspricht einem Frequenzbereich nach DIN EN 61000-2-4 bis 9 kHz.

6.3.2 Leistungen im Mehrphasensystem

6.3.2.1 Symmetrisches Mehrphasensystem

Da in Elektroenergieversorgungssystemen (Drehstromnetzen) mehr als ein Leiter im Leistungseinsatz zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Kundennetz aktiv ist, setzt sich die im Mehrleitersystem umgesetzte Gesamtwirkleistung E_{ges} ($E_{ges I}$, $E_{ges II}$) und Gesamtblindleistung F_{ges} ($F_{ges I}$, $F_{ges II}$) aus der Summe der sich bildenden Leistungsanteile der einzelnen aktiven Leiter mit der Phasenzahl m zusammen. Die Summe der letztendlich umgesetzten Leistung, so zu sehen als Gesamtscheinleistung beispielsweise bei $m = 3$ Phasenleitern eines Drehstromsystems (3-, 4- oder 5-Leiter-Netzgebilde) entspricht im symmetrischen Belastungsfall der algebraischen Summenbilanz nach Tabelle 6-7. Bezeichnet vom Autor mit dem Index „Ds“ differenziert Tabelle 6-7 das Ergebnis zum unsymmetrischen Mehrphasensystem, gekennzeichnet in Abschnitt 6.3.2.2 im Index „D“.

m = 3 Versorgungsindex	Gesamtwirkleistung		Gesamtblindleistung	
	Index I	Index II	Index I	Index II
Phasenleiter L1	$E_{W I,1}$	$E_{W II,1}$		
Phasenleiter L2	$E_{W I,1}$	$E_{W II,2}$		
Phasenleiter L3	$E_{W I,1}$	$E_{W II,3}$		
Σ -Wert $E_{Ds I,II}$	$E_{Ds I} = E_{W I,1} + E_{W I,2} + E_{W I,3}$		$E_{Ds II} = E_{W II,1} + E_{W II,2} + E_{W II,3}$	
Phasenleiter L1			$F_{W I,1}$	$F_{W II,1}$
Phasenleiter L2			$F_{W I,1}$	$F_{W II,2}$
Phasenleiter L3			$F_{W I,1}$	$F_{W II,3}$
Σ -Wert $E_{Ds I,II}$	$F_{Ds I} = \sqrt{F_{W I,1}^2 + F_{W I,2}^2 + F_{W I,3}^2}$		$F_{Ds II} = \sqrt{F_{W II,1}^2 + F_{W II,2}^2 + F_{W II,3}^2}$	
Scheinleistung	$S_{Ds alg. I} = \sqrt{E_{Ds I}^2 + F_{Ds I}^2}$		$S_{Ds alg. II} = \sqrt{E_{Ds II}^2 + F_{Ds II}^2}$	
Σ -Scheinleistung	$S_{Ds alg.} = \sqrt{S_{Ds alg. I}^2 + S_{Ds alg. II}^2}$			

Tabelle 6-7: Summenbilanz symmetrischer Mehrphasensysteme (Index Ds)

6.3.2.2 Unsymmetrisches Mehrphasensystem

Für Mehrphasensysteme mit unsymmetrischer Phasenbelastung nutzt man den kollektiven Effektivwert beim Spannungs- und Stromsegment nach Gl. 6-29 zur Bildung der Rechteistung S_R , hinterlegt mit Index „D“ für ein Drehstromsystem zu S_{RD} . Das auf den geometrischen Mittelwert von Leiterspannung und Leiterstrom ausgerichtete Leistungsgebilde wird gelegentlich auch als totale Scheinleistung $S_{total D}$ bezeichnet. Bezogen auf das Drehstromsystem mit $m=3$ Phasenleitern bildet die Rechteistung die unsymmetrische Netzwerkbelastung gegenüber dem der symmetrischen Belastung ab. Die aus der sinusförmigen Teilstromgröße im Neutralleiter sich bildende Neutralleiterkomponente, Gl. 6-29, $\sum I_{k,N}$ (5-Leiter-Netzgebilde), wird im System ohne Neutralleiter (3- und 4-Leiter-Netzgebilde) zu Null gesetzt. Der Gleichanteil $v=k=0$ wird weiterhin zu Null gesetzt.

$$S_{RD} = \sqrt{\left(\sum_{k>0}^{\infty} U_{k,L1}^2 + \sum_{k>0}^{\infty} U_{k,L2}^2 + \sum_{k>0}^{\infty} U_{k,L3}^2\right) \left(\sum_{k>0}^{\infty} I_{k,L1}^2 + \sum_{k>0}^{\infty} I_{k,L2}^2 + \sum_{k>0}^{\infty} I_{k,L3}^2 + \sum_{k>0}^{\infty} I_{k,N}^2\right)} \quad (6-29)$$

Die Differenz als Subtraktion zwischen dem Ergebnis der algebraischen Summenbilanz $S_{Ds alg.}$, Tabelle 6-8, und der nach Gleichung 6-29 gebildeten Rechteistung, bildet die Unsymmetrieblindleistung des Drehstromsystems D_U (Gl. 6-33) ab als:

- D_{UA} : Unterschiede in der Amplitude (Leiterspannung, Leiterstrom), Gl. 6-30;
- D_{UV} : Unbalance gegenüber dem Neutralleiter, Gl. 6-31;
- D_{UW} : Winkelunsymmetrie, Gl. 6-32.

$$S_R^2 = \left. \sum U_{k,L1}^2 \sum I_{k,L1}^2 + \sum U_{k,L2}^2 \sum I_{k,L2}^2 + \sum U_{k,L3}^2 \sum I_{k,L3}^2 + \right\} S_{alg.}^2$$

$$D_{UA}^2 \left\{ \begin{array}{l} \sum U_{k,L1}^2 \sum I_{k,L2}^2 + \sum U_{k,L1}^2 \sum I_{k,L3}^2 + \sum U_{k,L2}^2 \sum I_{k,L1}^2 + \\ \sum U_{k,L2}^2 \sum I_{k,L3}^2 + \sum U_{k,L3}^2 \sum I_{k,L1}^2 + \sum U_{k,L3}^2 \sum I_{k,L2}^2 + \end{array} \right.$$

$$D_{UV}^2 \left\{ \begin{array}{l} \sum U_{k,L1}^2 \sum I_{k,N}^2 + \sum U_{k,L2}^2 \sum I_{k,N}^2 + \sum U_{k,L3}^2 \sum I_{k,N}^2 \end{array} \right. \quad (6-30)$$

$$S_{alg.}^2 = (S_{L1} + S_{L2} + S_{L3})^2$$

$$S_{alg.}^2 = (S_{L1}^2 + S_{L2}^2 + S_{L3}^2) + 2(S_{L1}S_{L2} + S_{L2}S_{L3} + S_{L3}S_{L1})$$

$$S_{alg.}^2 = E_D^2 + F_D^2 + D_{UW}^2 \quad (6-31)$$

$$D_U = \sqrt{D_{UA}^2 + D_{UV}^2 + D_{UW}^2} \quad (6-32)$$

Die als Differenzleistung zwischen dem unsymmetrischen und dem symmetrischen Versorgungsnetz anzusehende Unsymmetriekomponente D_U wird durch die unsymmetrische Last, d.h. die unsymmetrische Spannungs- und/oder Stromkomponente am Netzzweig des Elektroenergieversorgungsnetzes gebildet. Tritt gegenüber dem zu betrachtenden Schnittpunkt (PCC, IPC) eine Unsymmetriblindleistung auf, so ist die Ursache der Unsymmetriebildung dem Verursacher über den unsymmetrischen Laststrom dann zuordenbar, wenn keine Vorbelastung in der Spannung (Spannungssymmetrie) das Resultat am Laststrom verfälscht.

Am Beispiel Versorgungskontext des vom Autor betrachteten Industrieunternehmens wird der Deformationsinhalt der Unsymmetrie nach Gl. 6-32 am Schnittpunkt zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer wie folgt zugewiesen:

- Lokal: $\frac{I_{U \text{ Verbr. in \%}}}{U_{U \text{ Netzp. in \%}}} \gg 1$
 - Ja : $D_{U \text{ II}}$ Vers.-Index II
 - Nein : $D_{U \text{ I}}$ Vers.-Index I
- Global:
 - $D_{U \text{ Netzp.}} < D_U$ vorgelagerter Netzpunkt : $D_{U \text{ I}}$ Vers.-Index I
 - $D_{U \text{ Netzp.}} < D_U$ nachgelagerter Netzpunkt : $D_{U \text{ I}}$ Vers.-Index I
 - $D_{U \text{ Netzp.}} > D_U$ vorgel., nachgel. Netzpunkt : $D_{U \text{ II}}$ Vers.-Index II

Die strukturelle Einbindung als Summenbilanz unsymmetrischer Mehrphasensysteme zeigt Tabelle 6-8 als Umsetzung der lokalen und globalen Matrix mit der Kennung: global vor lokal.

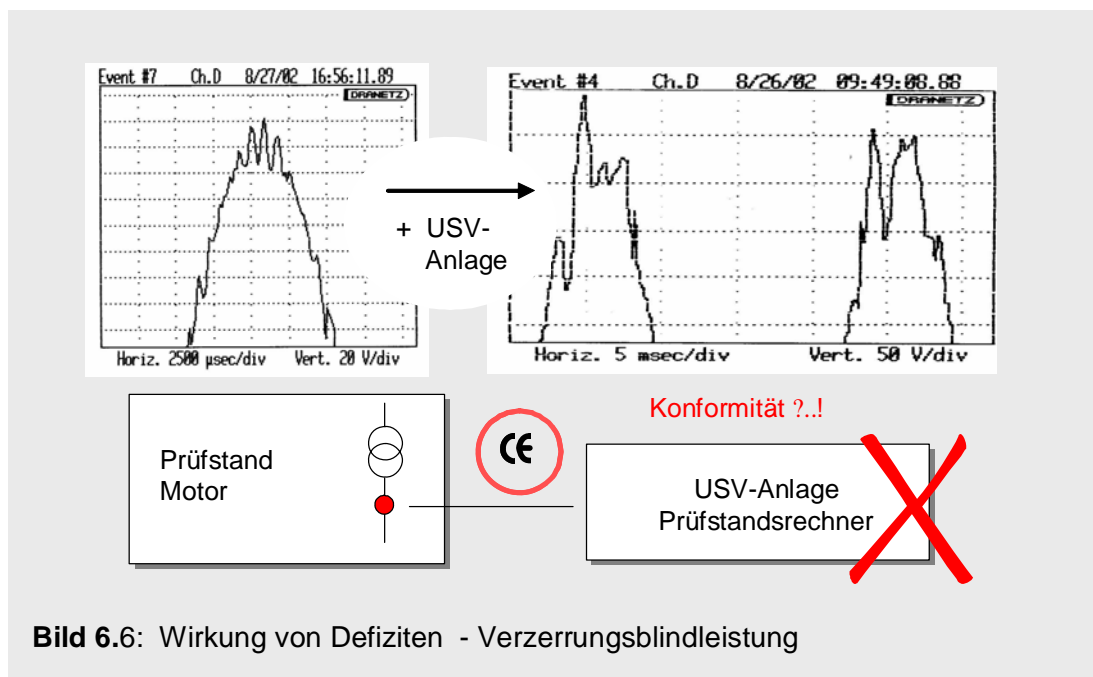
$m = 3$ $D_U = \sqrt{D_{UA}^2 + D_{UV}^2 + D_{UW}^2}$	Gesamtwirkleistung Tabelle 6-7, $E_{Ds \text{ I, II}}$	Gesamtblindleistung	
		Tabelle 6-7, $F_{Ds \text{ I, II}}$	Unsymmetriblindleistung D_U
		V-Index I	V-Index II
Zuordnung global vor lokal	Tabelle 6-7, Abschnitt 6.3.2.1	Zuordnung gemäß Matrix	
		$D_{U \text{ I}}$ oder $D_{U \text{ II}}$	
Scheinleistung am PCC, IPC	$S_{Ds \text{ alg.}}$	$D_U = \sqrt{S_{RD}^2 - S_{Ds \text{ alg.}}^2}$	
	S_{RD} Gl. 6-29		

Tabelle 6-8: Summenbilanz unsymmetrischer Mehrphasensysteme (Index D)

6.4 Wirkung von Defiziten am Beispiel

6.4.1 Verzerrungsleistung S_o (P_o , Q_o , D_o)

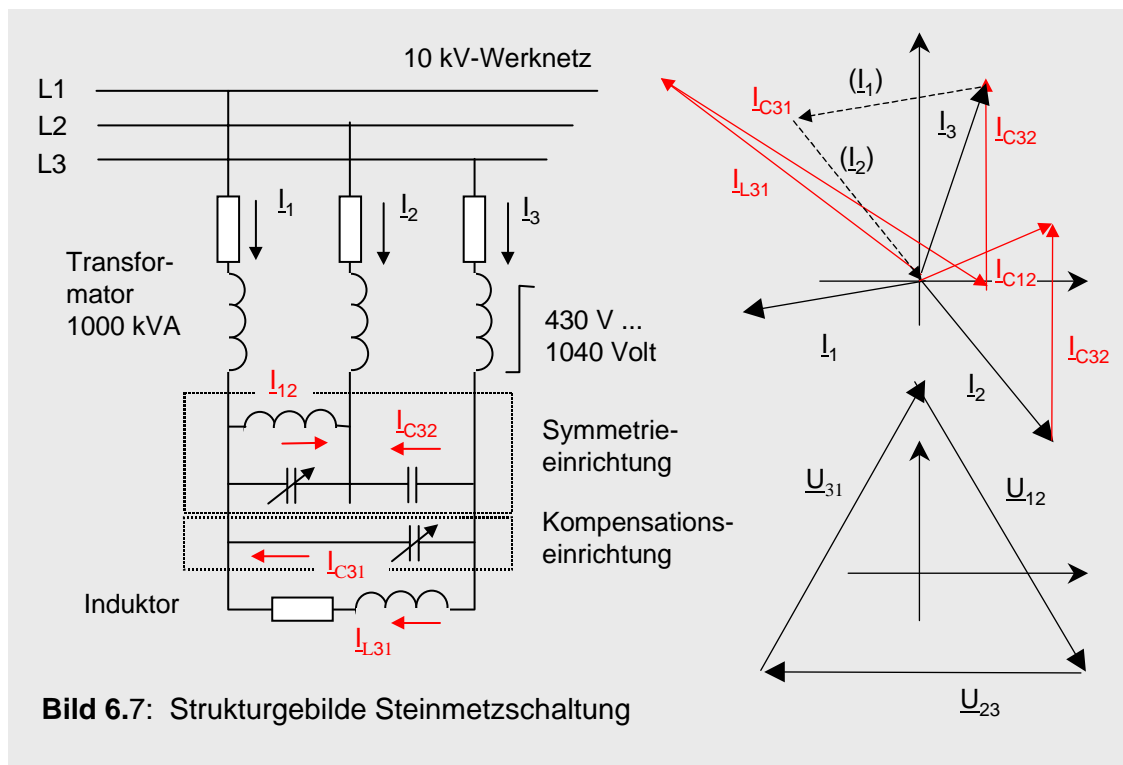
/31/ Eine Prüfstandsanlage zum Testen der Kenndaten von Verbrennungsmotoren (Leistungsbereich: 700 kVA) ist motorisch über einen Frequenzumrichter angetrieben. Der 4-Quadranten Regelbereich produziert durch sein nichtlineares Verhalten zwischen Versorgungsspannung und Laststrom ein netzharmonisches Leistungsgebilde. Diese Netzharmonischen sind im Scheitelpunkt ihres Spannungsabbildes (Bild 6.6, Diagramm linke Seite) im Bereich der 23. Netzharmonischen gut sichtbar. Zur Absicherung des Prüfstandsbetriebs wurde eine USV-Anlage eingepplant. Ihr netzseitiges Leistungsteil bestand aus einem gesteuerten Stromrichter mit einer Nennleistung von 1,8 kVA. Die Aufsaltung erfolgte auf den gleichen Netzknoten, wie die des Frequenzumrichters. Nach Aufsaltung des Stromrichters auf die Niederspannungsschiene des Frequenzumrichters verändert sich das Spannungsbild am Anschlusspunkt. Bild 6.6, Diagramm rechts, beschreibt das Resultat einer Inkompatibilität auf Basis der Verzerrungsblindleistung des Frequenzumformers gegenüber der Steuerelektronik des Stromrichters. Hier bewirkte der netzharmonische Leistungsanteil D_o des Frequenzumformers eine Funktionsbeeinträchtigung im Ansteuerkreis des Leistungsteils der USV-Anlage (netzgeführter Stromrichter) mit zuerst globaler Netzstörung, Bild 6.6, Diagramm rechts oben, und anschließender Zerstörung des Stromrichters selbst.



6.4.2 Verzerrungs- und Unsymmetrieblindleistung S_o, D_u

/32/ Schmelztiegelöfen: Im Umfeld des Autors werden zum Anschluss von Schmelztiegelöfen zur Aluminiumeinschmelzung im MW-Bereich die als Einphasenlasten anzusehenden Induktionsspulen der Schmelztiegel über Kompensations- und Symmetriekomponenten an das Dreiphasensystem des Elektroenergieversorgungsnetzes angeschlossen. Zur Aufrechterhaltung der Balance der Last zum vorgelagerten Mittelspannungsnetz nutzt man die als Steinmetzschaltung bekannte Beschaltungsstruktur einphasiger Lasten nach Bild 6.7. Entsprechend dem Strukturgebilde Bild 6.7 benutzt die Steinmetzschaltung in Stufen zu- und abschaltbare Kondensatoren auf der Symmetrier- und Kompensationsseite zur Leistungsanpassung der Einphasenlast (Induktionsspule Schmelztiegel) an das Netz.

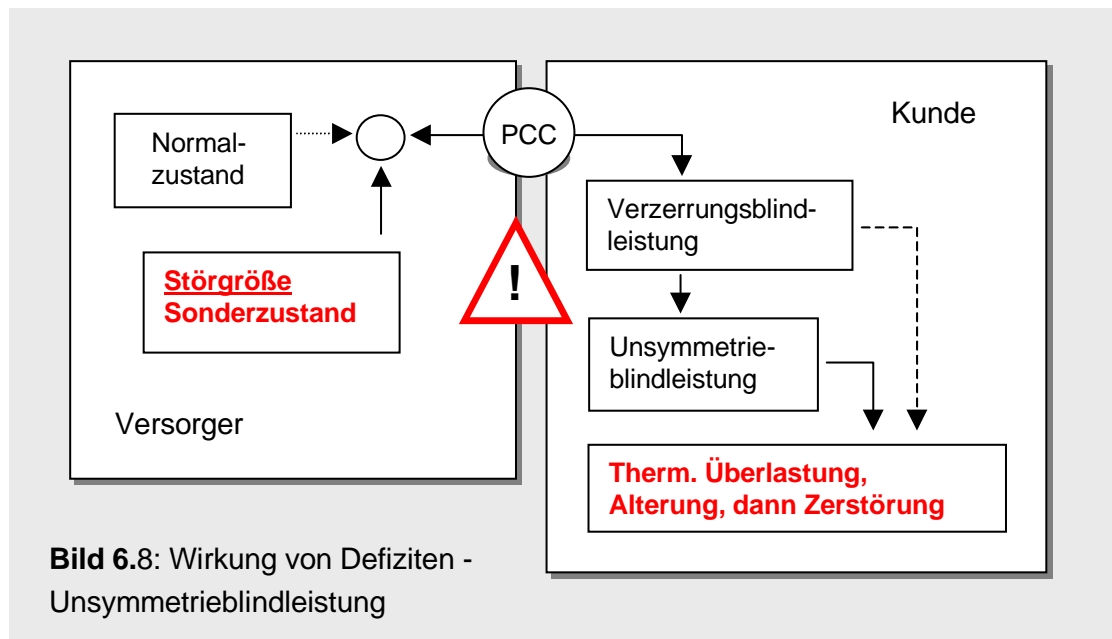
Geregelt wird der Leistungsbedarf der Induktionsschmelzanlage (Schmelzen, Warmhalten) in Stufen über einen Spannungsregler am Netzanpasstransformator (Wicklungsanzapfungen am 1000 kVA Geafol-Transformator, Regelbereich 430 Volt bis 1040 Volt). Insgesamt wirken 7 Ofenanlagen am gleichen Netzpunkt. Das kritische Anlagenelement ist hier der Regeltransformator. Binnen eines Jahres (Febr. bis Okt. 2000) zeigten 4 der 7 Geafol-Transformatoren einen Wicklungskurzschluss auf der NS-Wicklung mit nachfolgendem Schwelbrand am Transformator-



mator. Das Schadensbild am NS-Wickel zeigte eine ungewöhnlich hohe Versprödung an der Vergussmasse, die auf eine hohe thermische Vorbelastung schließen ließ. Ein diesbezügliches Indiz bildete der im Anschluss an den NS-Kurzschluss entstandene Schmelbrand am Trockentransformator, der erst durch massiven Löschwassereinsatz (Abkühlung des Trafokerns) gelöscht werden konnte.

Betrachtet man das Zeigerdiagramm, Bild 6.7, so zeigt es gegenüber den Netzströmen I_1 , I_2 , I_3 im Moment der Darstellung symmetrische Eigenschaften (Symmetrie). Wird das Netzgebilde jedoch durch Netzharmonische belastet, entsteht Unsymmetrie im Leiterstrom. Am Fall der Induktionsöfen ausgelöst durch eine Instandsetzungsmaßnahme im vorgelagerten Elektroenergieversorgungsnetz, entstand gegenüber dem Netzknotenpunkt zum Werknetz (PCC) eine Verschiebung der Resonanzkurve in Richtung der 5. Netzharmonischen. Eine Reihenresonanz zwischen dem 110 kV-Versorgungsnetz des örtlichen Netzanschlusspartners gegenüber den Kondensatorbänken der Symmetrie- und Kompensiereinrichtung der Steinmetzschaltung war die Folge. Hohe Resonanzströme im Bereich der 5-ten Netzharmonischen I_k ($k=5$) belasteten den Eisenkern des Anpasstransformators und verstimmten zusätzlich den Regelkreis der Steinmetzschaltung. Verzerrungsblindleistung D_O belastete den Kern, Unsymmetrieblindleistung D_U den des NS-Wickels. Eine Nachregelung durch den Regelmechanismus des Induktionsofens fand nicht statt. Der Regler der Kompensations- und Symmetrieeinrichtung erkannte die 250 Hz-Regelabweichung nicht.

Bild 6.8 zeigt den kumulativen Effekt am Transformator und macht den Wirkungsrahmen der Defizite deutlich. Die aus der Verzerrungs- und Unsymmetrieblindleistung entstandenen erhöhten thermischen Verluste führten den NS-Wickel – Wickel L3 – in den technisch-physikalischen Grenzbereich. Im Oberflächenbereich der NS-Trafowicklung entstanden Wärmenester die durch den 3-Schicht-Betrieb der Ofenanlage eine verfrühte Versprödung an der Vergussmasse hervorrief. Die elektromagnetische Feldbildung der MS-Wicklung an der NS-Wicklungsfläche bildete Kriechstrecken im NS-Wicklungsmaterial aus und führte zur Versprödung des Vergussmaterials. Der Wicklungsschluss war vorprogrammiert. Die Kettenreaktion im Zeitbereich Febr.- Okt. 2000 logische Konsequenz. Abhilfe in Stufen fand statt (Tausch Messaufnehmer, Anpassung Regelalgorithmus, zyklischer Tausch der Phasenbeschaltung der Induktionsöfen 1 bis 7).



6.5 Fazit – Balance der Last

Effekte kommen und gehen, sind an interne und externe Rahmenbedingungen gekoppelt, verlagern, aber auch überlagern sich. Bei der Beschreibung der Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer gilt es deshalb nicht nur die Einzelverhältnisse im Netz oder an der Anlage abzustimmen, bzw. gegenüber differenten Deformationsenergien abzugleichen, sondern das Risiko zum Gesamtprozess abzugleichen, gegebenenfalls eine Risikoanalyse durchzuführen. Im weiteren Verlauf der Arbeit nutzt der Autor die Kennzeichnung der Leistungsströme der EE getrennt nach dem Versorgungsindex I (Quelle Elektroenergieversorgungsnetz) und Versorgungsindex II (Quelle Elektroenergieabnehmer) um die Effekte zwischen Wirkung und Rückwirkung am Netzknoten dem Verursacher zuzuordnen. Für die Detaillierung der Deformationsbestandteile im Wirk- und Blindleistungsbereich wendet der Autor ausschließlich die in Abschnitt 6 definierten Deformationsinhalte, wie folgt an:

- Gesamtwirkleistung „E“: – P_G Wirkanteil der Grundschiwingung – P_O Wirkanteil der Oberschwingungen – P_M Wirkanteil der Modulation;
- Gesamtblindleistung „F“: – Q_G : Verschiebungsblindleistung der Grundschiwingung – Q_O : Verschiebungsblindleistung der Oberschwingungen – D_O : Verzerrungsblindleistung – D_M : Modulationsblindleistung – D_{MO} : Modulationsblindleistung der Oberschwiwingung – D_U : Unsymmetrieblindleistung.

7 Lastmodell Elektroenergieversorgungsnetz

7.1 Verfahren symmetrischer Komponenten

Mathematische Verfahren in der Elektrotechnik gestatten es unsymmetrische Effekte in Strom und Spannung aus der Lieferanten-Kunden-Beziehung leitungsbezogener Art in ein Gebilde mit symmetrischem Charakter überzuführen. Dieses hat dann zu wirken, wenn:

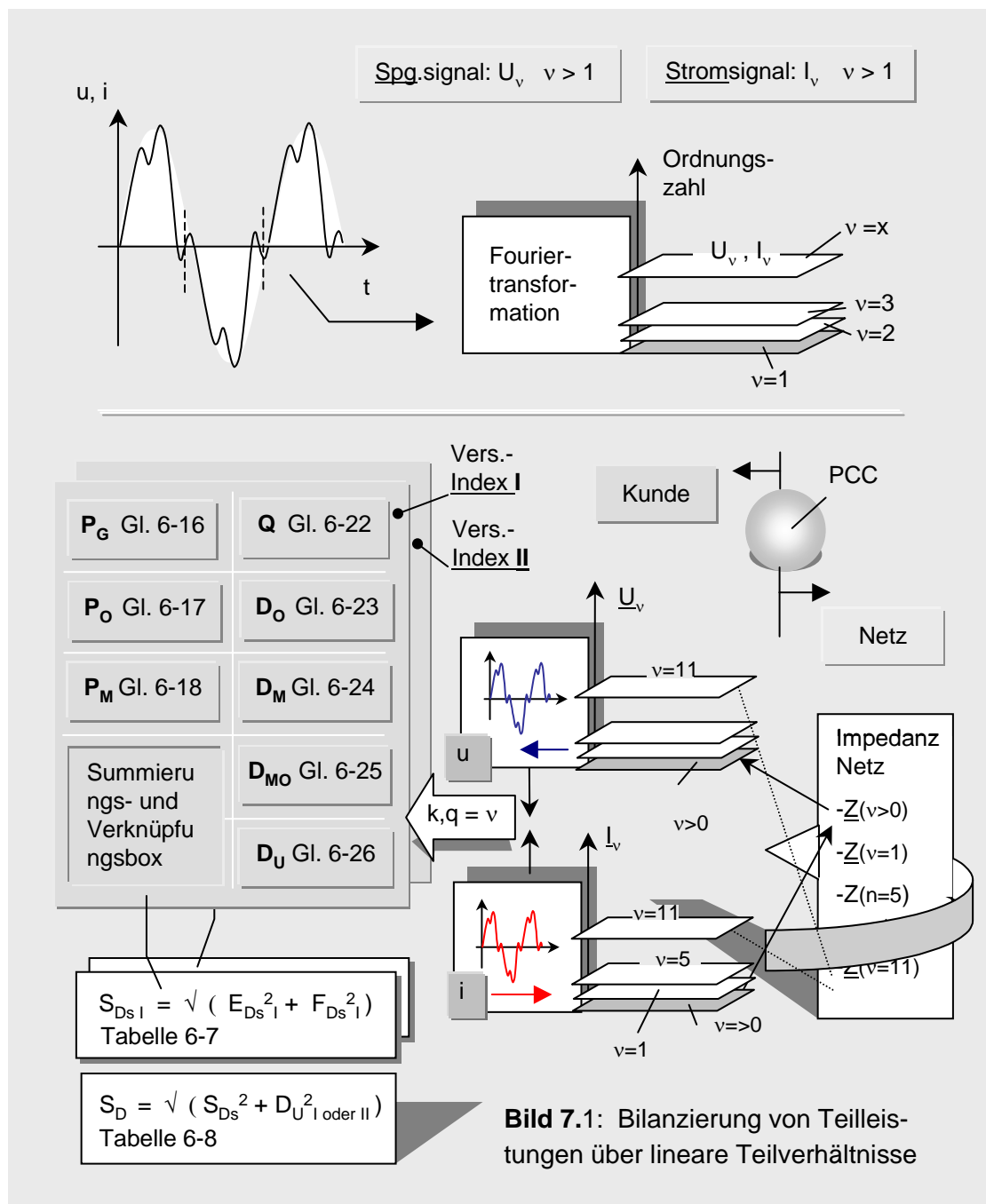
- wie am Beispiel des Induktionstiegelofens als Elektroenergieabnehmer das dort gewählte Ankoppelfahren zum Elektroenergieversorgungsnetz – Steinmetzschaltung, Abschnitt 6.3.3.2 – gegenüber den Phasenleitern des Mehrphasensystems einen unsymmetrischen Komponentenaufbau besitzt;
- oder Einphasenlasten des Netzkunden (Beispiel: Allgemeine Gebäudetechnik) die Netze des Versorgers unsymmetrisch belasten.

Hier gestattet das Verfahren symmetrischer Komponenten ein unsymmetrisches Mehrphasensystem mit der Phasenzahl, z.B. $m=3$ als ein Dreiphasen- oder Drehstromsystem in 3-, 4- oder 5-Leiter-Technik, in eine fixe Anzahl n in sich abgeschlossener symmetrischer Grundsysteme ($n= 3$, bezeichnet Gegen-, Mit- und Nullsystem) zu zerlegen.

Vorgabe I: Eine entsprechende Zerlegung unsymmetrischer Mehrphasennetze in symmetrische Teilnetze ist nur dann zulässig, wenn zwischen den einzelnen Größen des Elektroenergieversorgungsnetzes, d.h. zwischen Spannung und Strom ein linearer Zusammenhang besteht.

Umsetzung: Ein Linearer Zusammenhang ist dann existent, wenn statt dem allgemein periodischen oder quasiperiodischen Signal von Spannung und Strom im EES, Bild 2,2, Diagramm d) und e), Abschnitt 2.2, ein Sinussignal in Spannung und Strom, analog Bild 2.2, Diagramm b) vorliegt.

Ein parasitärer Lösungsansatz zur Zielerreichung ist die Zerlegung des Nutzsigs in Spannung und Strom als allgemein periodische oder quasiperiodische Signalgröße nach Fourier. Die entstehenden periodischen Teilschwingungen im sub-, netz-, zwischen- oder höherharmonischen Bereich bilden den symmetrischen Zusammenhang nach Bild 7.1 ab.



Vorgabe II: Neben der Linearisierung ist bei der Bilanzierung mit symmetrischen Komponenten die Gewährleistung rückwirkungsfreier Quellen eine Grundvoraussetzung. Rückwirkungsfreiheit beschreibt hier die Quellgrößenausbreitung als Wirkung und Rückwirkung. Die Rückwirkung tritt dann auf, wenn die Quellgröße einer Ersatzstromquelle \underline{I}_v im Netz (Bild 7.1: Kunde), d.h. gegenüber dem Netzknoten PCC auf der Kunden- und/oder Netzseite keine weiteren Ersatzstromquellen reproduziert, oder Teilfrequenzen im Quellenbild selbst existent sind.

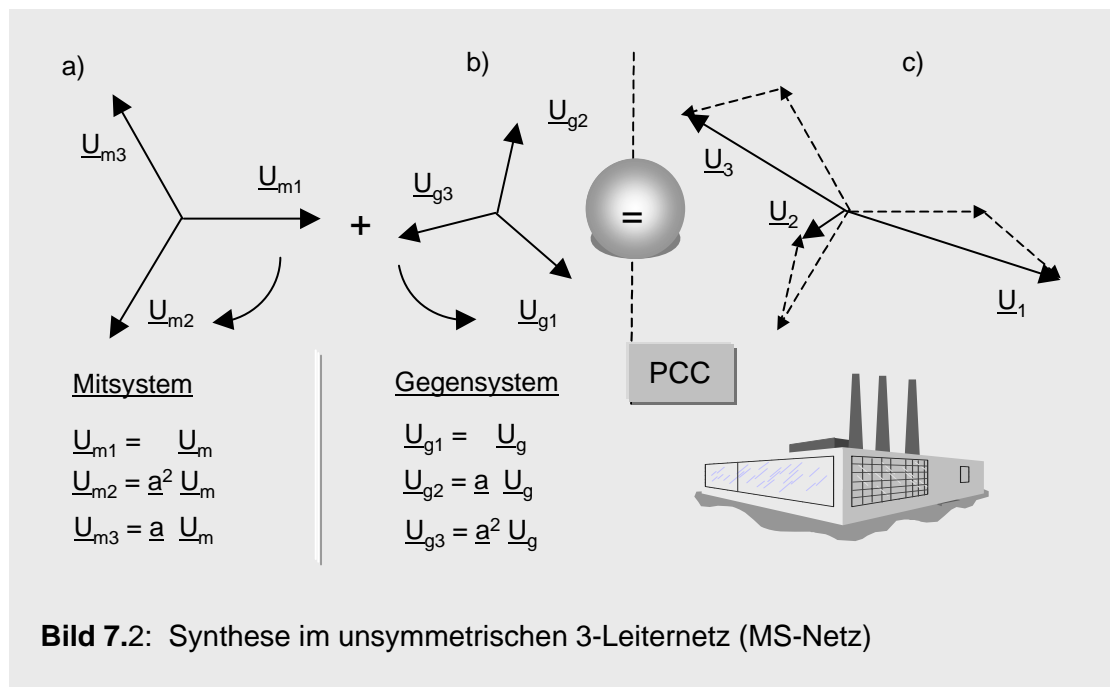
Umsetzung:

- I. Bildung eines Einquellenmodells entsprechend Bild 7.1 (Beispiel Ersatzstromquelle Kunde). Sind mehrere Quellen aktiv, d.h. Quelle Kunde, Quelle Netz, gilt für die Zuordnung der Leistungsflüsse im Deformationsbereich am Netzknoten die Nullsetzung der Zweit- oder Drittquelle. Die Einbeziehung in den Gesamtkontext erfolgt durch Überlagerung der Einzelquellen.
- II. Zerlegung der Ersatzquelle (Strom- oder Spannungssignal) in Teilquellen. Jede Teilquelle bildet ein, in sich getrennt abgeschlossenes Netzsystem, das in der Summierungs- und Verknüpfungsbox, Bild 7.1, entsprechend den Vorgaben aus Abschnitt 6.3, verknüpft wird. Die Trennung nach Versorgungsindex I und II erfolgt nach Schema Tabelle 6-1 bis Tabelle 6-6, Abschnitt 6.3.1.
- III. Subsummierung der Teilquellen zur Rekonstruktion der technisch-physikalischen Zusammenhänge des Gesamtsystems. Dieses erfolgt getrennt unter Zusammenführung der Teilergebnisse im Wirk- und Blindleistungsbereich nach Schema Tabelle 6-7 und 6-8, Abschnitt 6.3.2.

7.1.1 Vorgehensweise im 3-Leiter-Netz

Das Mehrphasensystem als 3-Leiter-Netzmodell wird vorzugsweise in Hoch- und Mittelspannungsnetzen eingesetzt. Die im Netz wirkenden Quellen und Senken sind über die Einzelleiter gesehen nicht zwangsläufig symmetrisch. Trotz allem bildet das 3-Leiter-Netzwerk über die drei Phasen hinweg ein in sich geschlossenes Zeigersystem. Das als Dreieck sichtbare Spannungsabbild der Ordnungszahl v trifft auch für die Ströme zu. Ihr teils unsymmetrisches Lastprofil spiegelt sich durch den Spannungsfall an den Impedanzen der Netzbetriebsmittel (Transformator, Kabel) im Spannungsprofil wieder. Man spricht von Unsymmetrie in der Spannung dann, wenn die Spannungsfälle an der Phasenleitung L1, L2 und L3 in ihrem, sich am Netzknotenpunkt abzeichnenden Spannungszeiger, nicht mehr gleich groß, und nicht mehr um 120 Grad (Phasendreher a) gegeneinander phasenverschoben sind.

Eine Zerlegung der Unsymmetrie in symmetrische Bestandteile hat in Teilschritten zu erfolgen. Schritt 1, Diagramm a, Bild 7.2, zeigt das Zeigerdiagramm eines symmetrischen Dreiphasen-Spannungssystems, dessen Phasen L1, L2, L3 im Uhrzeigersystem aufeinander dem Drehsinn des Grundsystems folgen. Bezeichnet als Mitsystem wird es mit dem Index „ m “ gekennzeichnet. Ein gegenüber dem Mitsystem linksdre-



hendes Dreiphasen-Spannungssystem (Diagramm b, Bild 7.2) wird demzufolge Gegensystem genannt. Gekennzeichnet mit dem Index „g“ besitzt es zwar dieselbe symmetrisch wirkende Eigenschaft wie das Mitsystem, jedoch sind Amplitude und Lage in der Ebene zueinander (Mit- und Gegensystem) verschieden. Bildet man aus beiden Systemen eine geometrische Addition, entsteht ein unsymmetrisches Gesamtsystem nach Diagramm c, Bild 7.2.

Die Wahl von Amplitude und Phasenlage bei Mit- (Diagramm a) und Gegensystem (Diagramm b) hat so zu erfolgen, dass dessen Ergebnisvektor (Diagramm c) das gesuchte unsymmetrische 3-Leiter-Drehstromsystem wiederzugeben vermag. Eine Abgleichung auf jedes x-beliebige Spannungsbild eines externen oder internen Netzanschlusspunktes ist dadurch allzeit möglich. Für die entsprechende Zerlegung, bzw. Zuteilung am realen Objekt (Spannungspunkt des Nutzers als Anschlusspunkt von Maschinen und Geräten) gelten folgende Gleichungssysteme:

$$\underline{U}_1 + \underline{U}_2 + \underline{U}_3 = \underline{0} \quad (7-1)$$

$$\begin{aligned} \underline{U}_1 &= \underline{U}_{m1} + \underline{U}_{g1} = \underline{U}_m + \underline{U}_g \\ \underline{U}_2 &= \underline{U}_{m2} + \underline{U}_{g2} = \underline{a}^2 \underline{U}_m + \underline{a} \underline{U}_g \\ \underline{U}_3 &= \underline{U}_{m3} + \underline{U}_{g3} = \underline{a} \underline{U}_m + \underline{a}^2 \underline{U}_g \end{aligned} \quad (7-2)$$

$$\underline{a}^2 + \underline{a} + 1 = 0, \quad \underline{a} = 120^\circ (-1 + j \sqrt{3}) / 2, \quad \underline{a}^2 = 240^\circ (-1 - j \sqrt{3}) / 2 \quad (7-3)$$

7.1.2 Vorgehensweise im 4- oder 5-Leiter-Netz

Das Vier- oder Fünfleiter-Netz, vorzugsweise eingesetzt im Niederspannungsversorgungsbereich, besitzt gegenüber dem 3-Leiter-Netz einen als Mittelpunktsteiter (M_P) ausgelegten stromdurchflossenen Rückleiter. Im industriellen Umfeld als Nullleiter (N) bezeichnet, bildet der Stromfluss an der Nullleiterimpedanz (4-Leiter-Netz: PEN, 5-Leiter-Netz: N) einen Spannungsfall, der als Neutral- oder Nullleiterspannung U_M eine zusätzliche Spannung gegen den symmetrischen Sternpunkt annimmt. Für Spannung und Strom hat dort zu gelten:

$$\begin{aligned} \underline{U}_1 + \underline{U}_2 + \underline{U}_3 + \underline{U}_M &= 0 \\ \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 + \underline{I}_M &= 0 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \underline{U}_1 + \underline{U}_2 + \underline{U}_3 + \underline{U}_M &= 0 \\ \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 + \underline{I}_M &= 0 \end{aligned}} \right\} (7-4)$$

Da die drei Phasenspannungen und -ströme (L1, L2, L3) des 4- oder 5-Leiter-Netzes entgegen dem 3-Leiter-Netz sich geometrisch nicht zu Null addieren (Gl. 7-4), ist die Einführung einer Nullkomponente mit dem Index „0“ erforderlich. Gekennzeichnet wird das Nullsystem durch drei unter sich gleichphasige und gleich große Komponenten. Im Spannungszeigerbild nach Bild 7.2 als \underline{U}_0 dargestellt, stellt das allgemein unsymmetrische Spannungssystem (Bild 7.2, Diagramm d) die Überlagerung der Nullkomponente (Bild 7.2, Diagramm a), Mitskomponente (Bild 7.2, Diagramm b), und Gegenkomponente (Bild 7.2, Diagramm c) dar. Für das Gleichungssystem gilt äquivalent der Grundstruktur zum 3-Leiter-Netz:

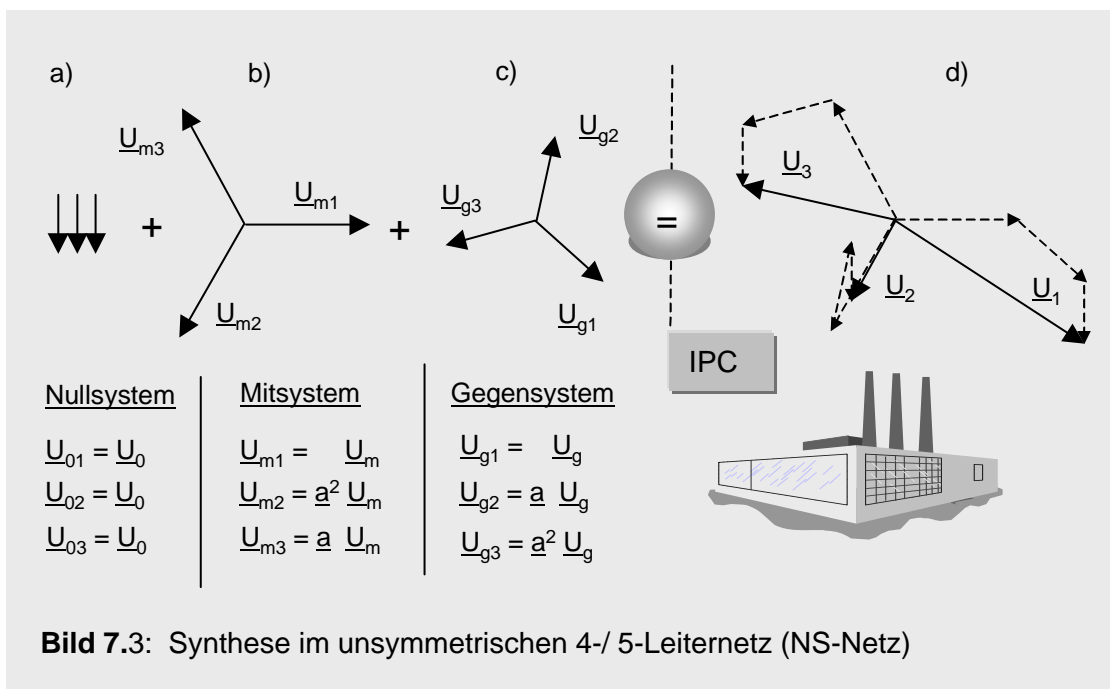
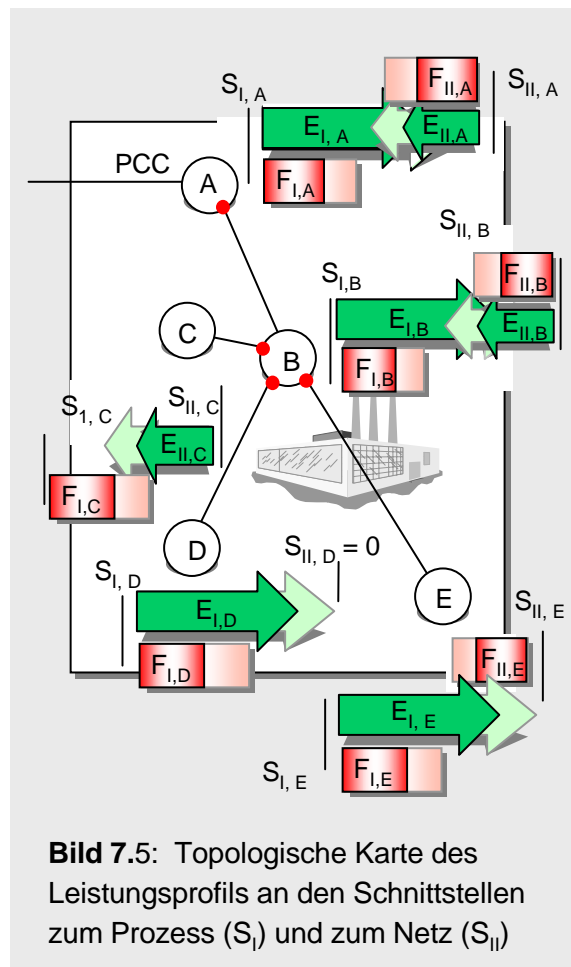


Bild 7.3: Synthese im unsymmetrischen 4-/ 5-Leiternetz (NS-Netz)

Lokalisiert man den Informationsinhalt einer Leistung an mehr als einer Stelle und führt ihn über eine entsprechende Bilddarstellung – Monitoring genannt – zusammen, entsteht analog Bild 7.5 eine topologische Karte im EES mit Lastprofilen im Wirk- und Blindleistungsbereich. Das Topologiegebilde enthält in seiner strukturierten Darstellung des Gesamtgefüges weitergehende Informationsinhalte. Diese Informationsinhalte bilden in rechnergestützten Simulationsmodellen die elektrotechnischen Wirkungszusammenhänge vom Versorgungsnetz zum Kundennetz und vom Kundennetz zur Maschine, bzw. zum Prozess als ganzheitliches Reaktionsgebilde ab.



Anwendbar am Beispiel der Schweißmaschine mit Mehrpunktschweißung (Abschnitt 5.3.1), Prüfstandsanlage zur Prüfung von Verbrennungsmotoren (Abschnitt 6.4.1), Schmelztiegelofen (Abschnitt 6.4.2), zeigt das Informationsgebilde nach Bild 7.5 den Wirkungszusammenhang am IPC zum werksinternen Elektroenergieversorgungsnetz. Sichtbar als Netzwerk zum Prozess begrenzt das globalisierte Netzwerkgeflecht als Fremd- oder Eigennetz (Knoten A bis E) den lokal betrachteten Netzknoten (Beispiel Knoten C) unter dem Aspekt des dort notwendigen, respektive benötigten Spielraums. Die vernetzte Betrachtung ermöglicht des Weiteren das Grundrauschen an Störphänomenen durch DRITTE als verbesserter Schutz des eigenen Vorhalts (Freiraum im EES) gegenüber Grenzwertsituationen einzelner Merkmale einer Merkmalkette in der Spannung abzuchecken. Hier bietet beispielsweise die Verwendung dezentraler oder zentraler Betrachtungen des Netzwerkverbundes unter Aspekten der Spannungsqualität die topologische Karte als informeller Ansatzpunkt der Ausbreitung der Elektroenergiequalität im Elektroenergieversorgungsnetz.

Gerade ein Netzwerk der Verbindlichkeit bedingt diese Transparenz zur Generierung des operativen Handlungsumfangs mehr denn je. Genutzt als Ist-Zustand des Handlungsbedarfs nach Bild 2.21, Abschnitt 2.3.4.2, bedingt die dort hinterlegte Qualitätsperformance am Produkt EE die ingenieurmäßige Anpassung des energetischen Leistungsaustauschs am Qualitätsmaßstab des „Quality-Gate EE“, Abschnitt 5.2.3. Das als momentaner Modellgedanke einer kundengerechten Versorgung am Produkt EE im EES weiterentwickelte Leistungsmodell ist als strategisches Modellimplantat der/einer zukünftigen Durchleiter-Kunden-Beziehung zu Grunde zu legen. Als Regulator des Qualitätsstromes am Produkt EE im EES ist sein Regelalgorithmus vor allem zu sehen, als:

- Forderung des Produktes EE gegenüber der Maschine, dem Gerät am netzseitigen Schnittpunkt (PCC, IPC);
- Forderung des Elektroenergieabnehmers gegenüber dem innerbetrieblichen Umfeld am IPC und/oder PCC;
- Forderung der physikalischen Umgebungs- und Betriebsbedingungen des Elektroenergiekunden gegenüber dem Elektroenergieversorger.

In Ergänzung zu Abschnitt 2.3.4.2, Bild 2.20 und Bild 2.21, steht Bild 7.5 als topologische Karte des Leistungsprofils an der Schnittstelle zum Prozess für die Regulierungskette der Ist-Soll-Zuweisung. Je ein kritisches Glied bildet dort die interne Einzelschnittstelle E bis A, zu der an A vorherrschenden lokalen, teils regionalen, unter Umständen auch nationaler Vernetzung zum öffentlichen Versorger. Sie ist wie eine Kaskade der Forderungen als Anforderung zu vor- oder nachgelagerten Kaskaden der Qualität der EE im EES zu sehen. Stets ist dabei das Netz als Ganzes gefragt. Nur so ermöglicht man allen Netzteilnehmern eine Optimierung als Teil eines energetischen Modells unter Aspekten, die bereits unter Abschnitt 6.2, Bild 6.2 und 6.3 den Freiraum der Konditionierung von Merkmalen, z.B. die einer Spannung, bildeten. Gerade hier zeigt das Wechselspiel der Verpflichtung die Verbindlichkeit einer geräte-technischen Schnittstelle, die in Einklang mit den Bereitstellungskapazitäten aller Versorgungsteilnehmer am Versorgungsnetzwerk zu generieren ist. Die Verantwortung als Konsequenz aus Verpflichtung, Fürsorge und Zwangsnotwendigkeit zwingt dabei jeden Netzpartner als Netznutzer (Lieferant, Durchleiter, Netzanschlusspartner, Netzkunde) im jeweiligen Erscheinungsbild der EEQ am EES dieses als eine abgestimmte Vorgehensweise zu vereinheitlichen, d.h. zu standardisieren.

7.2.1 Versorgungsmodell im Raum

Eine Standardisierte Vorgehensweise nutzt die physikalische Zuteilung ortsgebundenen Grenzbetrachtungen unter dem Gesichtspunkt zuteilbarer Freiräume (Abschnitt 6.2, Bild 6.3). Zu diesem Zweck bildet die aus dem bilateralen Positionsgebilde zwischen Netz und Kunde, respektive Kunde und Netz stammende Konditionierung, Abschnitts 6.2, Bild 6.4, das Anforderungsprofil im Raum. Diese Anforderung verpflichtet den lokalen Nutzer auch zur Sperrung qualitativer Nutzungsinhalte am Netzanschlusspunkt zur Schaffung eines Vorhalts für die Zusatzbelastung durch vor- und nachgelagerte Netzknotten. Die darauf aufzubauende Vereinbarung einer Wertgestaltung der Emission und Immunität zwischen „high- und low-quality“ der EEQ in Topologiegebilde nach Schema Bild 7.6 bindet jeden der Partner in gleichem Maße. Gültig über alle Netzwerkebenen hinweg, hat der schwächste Partner stets die Führungsfunktion einzunehmen.

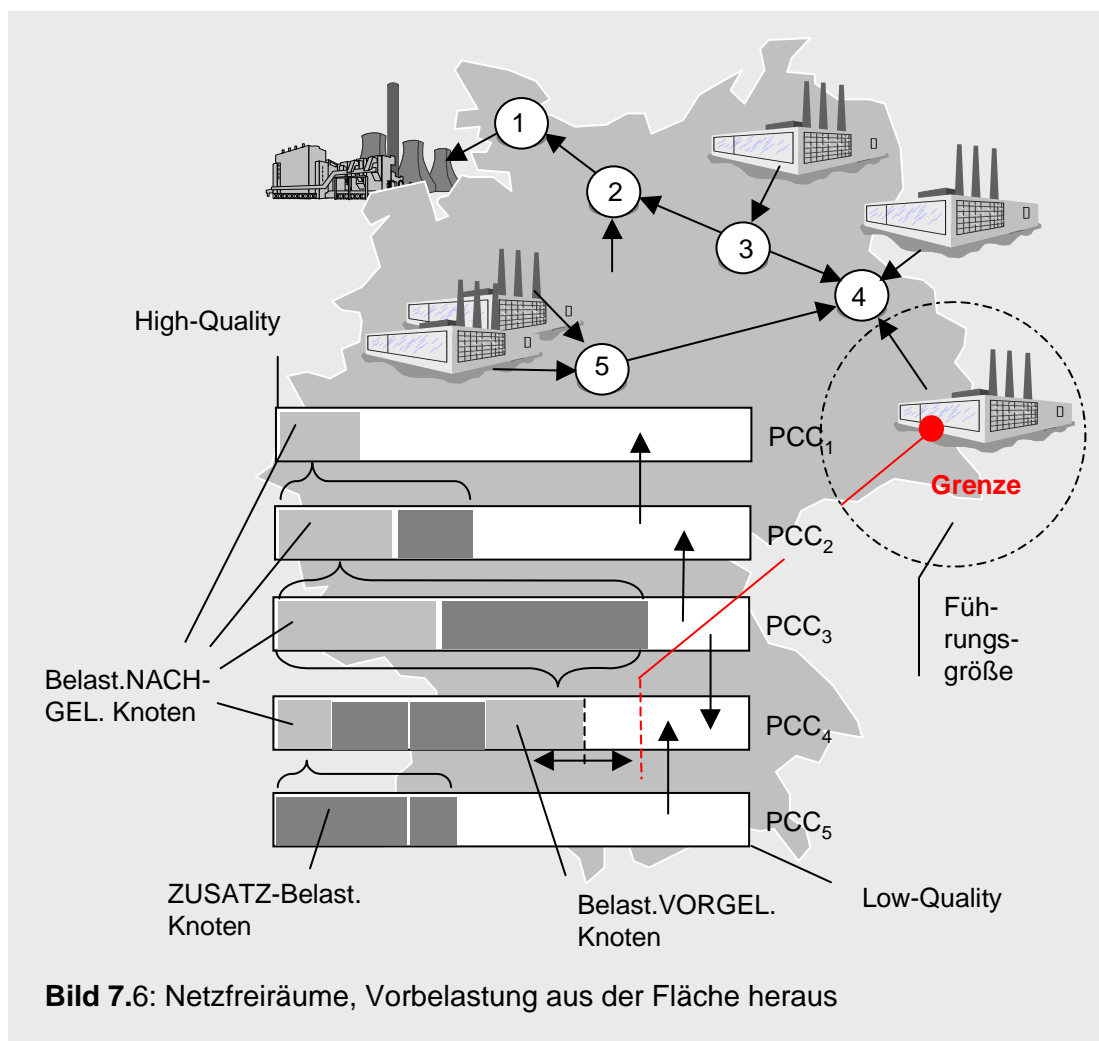


Bild 7.6: Netzfreiräume, Vorbelastung aus der Fläche heraus

Der Verdacht liegt nahe, dass solch globale Aktivitäten auf lokaler Ebene eher den Freiraum im weitläufigen Sinne einschränken, als ihn zu stärken. Der Netzfreiraum am PCC (Bild 7.6, PCC₄), zu sehen als Durchleiter-Kunden-Kontingent der Netznutzung, ist aus diesem Blickwinkel heraus betrachtet auch ein Übereinkommen der Vorbelastung aus der Fläche heraus (Bild 7.6: Emissionseinleitung Punkt PCC₃ gegenüber PCC₄). Hier sind die Randwerte der dort wirkenden DRITTEN im Netzkonzept des Netzbetreibers ins lokale Netzkonzept des Netzkunden mit einzubinden.

Beispiel:

Das Werknetz des vom Autor betrachteten Industrieunternehmens, Werk B, wird über eine 110 kV-Einspeisung vom Städtetz der NWS versorgt. Dem gegenüber steht das Versorgungsgebilde des Werknetzes Werk A. Ebenfalls über eine 110 kV-Versorgung mit dem Produkt EE versorgt, ist der dort von der EnBW gewählte Anknüpfungspunkt die 380kV-Ebene der Nord-Südtangente der BRD. Betrachtet man das am Netzanschlusspunkt der beiden Werke vorherrschende Störpotential, z.B. im Bereich der Verzerrung der 5. Netzharmonischen, so ist der Freiraum gegenüber einer Grenze im werkeigenen Mittelspannungsversorgungsnetz bereits mehr oder weniger hoch vorbesetzt. Der Effekt der quantitativen Vorbesetzung qualitativer Merkmale der Spannung an der Schnittstelle zwischen öffentlichem und nicht-öffentlichem Elektroenergieversorgungsnetz (PCC) führt am Werk A zu keiner relevanten Zusatzbelastung in der werksinternen Elektroenergieverteilung. Dagegen bildete ein, nach DIN EN 50160 bereits am oberen Grenzbereich des Verträglichkeitswertes befindender Oberschwingungspegel aus dem Städtetz am PCC zum Werknetz, Werk B, den am Beispiel des Schmelztiegelofens, Abschnitt 6.4.2, beschriebenen Effekt ab. Eine Eingrenzung interner Freiräume zu externen Störpegeln ist hier notwendig.

Gerade die Vorbelastung innerbetrieblicher Spielräume, so zu sehen als Freiräume externer Anbieter zwingt mancherorts zu erweiterten Investitionsentscheidungen, die das unter Abschnitt 3.2.2 angezogene Entscheidungsraaster um den Energiepreis, Tabelle 3-1, um ein weiteres Instrumentarium erweitert. Bedenkt man, dass der Mittelbedarf zum einen für die Beschaffung an Maschinen und Anlagen unter Immunitäts- und Emissionsvorgaben aus dem Netzwerkverbund mit hervorgeht, zum anderen bei Nichtwahrung dieser Umgebungsbedingungen für den Funktionserhalt (Beispiel: Induktionstiegelofen, Abschnitt 6.4.2), oder gar der Prozesssicherheit (Beispiel:

Schweißmaschine mit Mehrpunktschweißung, Abschnitt 5.3.1), als ein nicht unerheblicher Anteil die Fertigungskosten mit bestimmt wird, wirkt ein hohes Störpotential am Einspeisepunkt, d.h. eine geminderte Elektroenergiequalität am Netzanschlusspunkt, wie ein erweiterter Elektroenergiepreis. Zwangsgelder für angehobene Festigkeits- und geminderte Emissionswerte gegenüber Auslegungen an Standorten, wie beispielsweise am Standort des betrachteten Werknetzes, Werk B, gegenüber dem Standort des Werknetzes, Werk A, sind als EEQ-bedingte Zusatzkosten zu buchen. Das Denken und Handeln um Spielräume innerhalb von Merkmalen einer Merkmal-kette nach DIN EN 50160 als Spannung in Form, Verlauf und Stabilität, zu sehen als Teilelement der Elektroenergiequalität, ist im Bezug auf das Versorgungsmodell im Raum die operative Ausgangsbasis für das Versorgungsmodell der Ebene, und verstärkt den strategischen Handlungsbedarf gegenüber Investitionen in der Zukunft.

7.2.2 Versorgungsmodell der Ebene

Das Versorgungsmodell der Ebene nutzt die Preis-Leistungs-Findung als Reaktionsfaktor zunächst unter rein physikalisch-technischen Aspekten. Hier gilt vor allem der Satz: der Preis macht noch keine Qualität. Qualität ist vor allem ein Element, das erst als Summe aller Kosten den wahren Indikator für Wirtschaftlichkeit frei gibt. Darauf aufbauend entsteht durch das Wirken des Autors im Werknetz des betrachteten Industrieunternehmens ein Verfahren zur Handhabung von Störphänomenen nach dem Verfahrensabbild von Bild 7.7, das in Form eines Flussdiagramms den Ablaufprozess zur Sicherstellung der Konformität unter betriebswirtschaftlichen Aspekten reguliert. Die daraus abgeleiteten Maßnahmen, so zu sehen als Konsequenz zur Abbildung der Konformität, bilden über die operative Strecke der betriebsseitig vorliegenden Vorbelastung den strategischen Planwert als Optimum einer ganzheitlich wirkenden Kosten-Nutzen-Bewertung ab. Diese Kosten-Nutzen-Bewertung ist zu Splitten nach:

- **Versorgungszuverlässigkeit** am Produkt EE;
- **Spannungsqualität** am Produkt EE als,
 - notwendige Maßnahme im **Netz** (Elektroenergieversorgungsnetz);
 - notwendige Maßnahme an der **Maschine** (Elektroenergieabnehmer);

Vom Autor als strategisches Gebilde einer Schnittstelle gesehen, deckt das Flussdiagramm, Bild 7.7, den Kerngedanken innerbetrieblicher Verbindlichkeit als eine neue Sprachregelung bilateraler Partnern eines Netzanschlusspunktes zur Festschreibung des Optimums der Elektroenergiequalität auf lokaler und globaler Ebene ab.

Wirkend von der Planung einer Maßnahme, über deren Einkauf, hin zu einem konformen, d.h. risikoarmen Betrieb innerbetrieblicher Infrastruktur, steht für das betrachtete Industrieunternehmen der Erhalt der Sicherheit und Funktionalität der Anlage und Einrichtung zum zu produzierenden Produkt an oberster Stelle. Als Spiegel zum Prozess, respektive Produkt steht die Qualität der EE in ihrer Absicherung zum Erfolg der Marke am Markt als Instrumentarium mit fest.

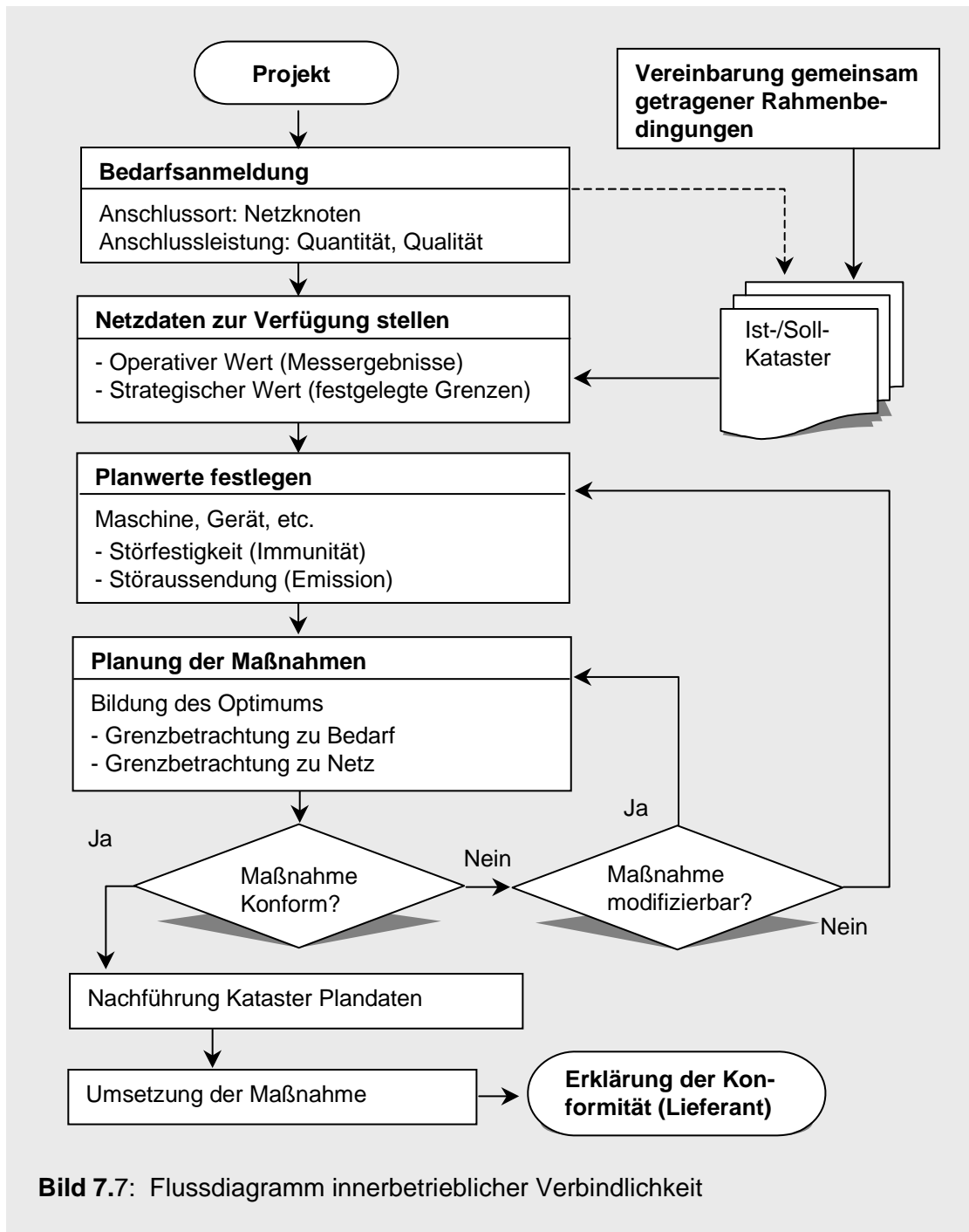


Bild 7.7: Flussdiagramm innerbetrieblicher Verbindlichkeit

Den Betreiber des internen und/oder externen Elektroenergieversorgungsnetzes verpflichtet ein derartiges Abbild vor allem zu mehr Offenheit gegenüber dem Elektroenergiekunden. Hier ist der Status Quo gefragt, der unter dem Gesichtspunkt der Öffentlichkeitsarbeit den Part der Elektrodienstleistung auf der Netzbetreiberseite betrifft und den Netzkunden zu den einzusetzenden Elektroenergieabnehmern entsprechend berät. Vor allem die Prozessbestandteile vor- und nachgelagerter Netzkonstellationen sind in Relation zum Kundennetz mit dem Kunden gezielt abzustimmen. Nonkonforme Betriebszustände durch Schaltzustände im Versorgungsnetz, analog dem Negativbeispiel Schmelztiegelofen, Abschnitt 6.4.2, sind aus gegenseitigem Interesse heraus zu vermeiden. Die Notwendigkeit zur bidirektionalen Verbindlichkeit einer beidseitigen Strategie zeigt auch ein aktuelles Beispiel aus dem vom Autor betrachteten Industrieunternehmen, Werk C.

/34/ Steuerwellenfertigung

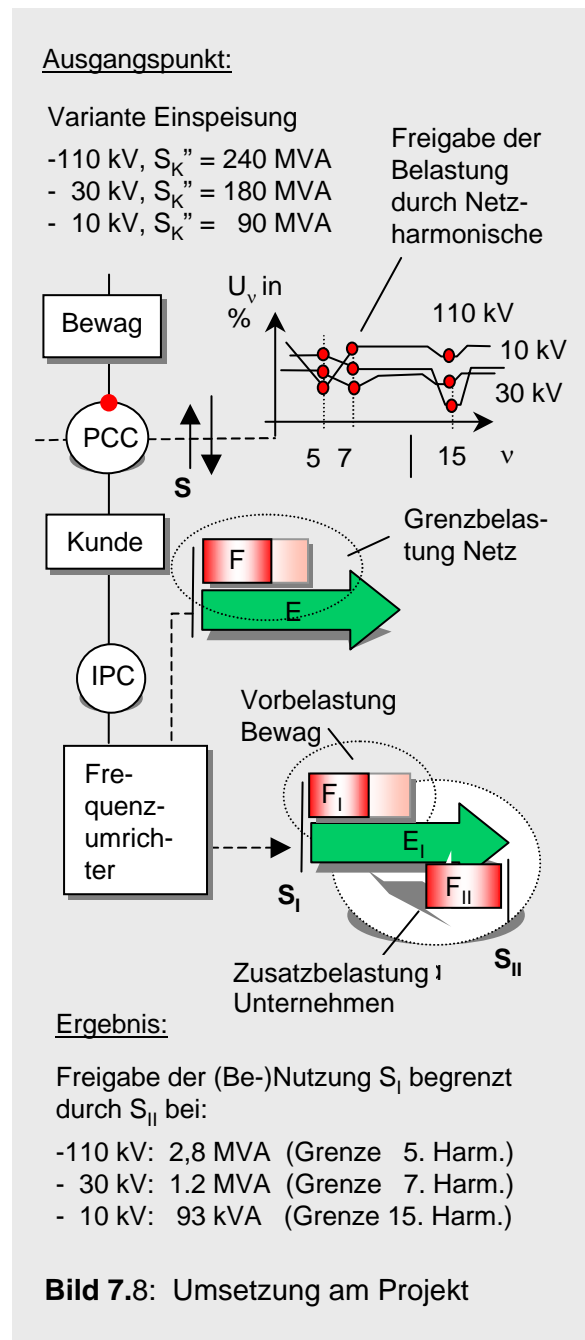
Im konkreten Bedarfsfall galt es für den Autor abzuklären welche Varianten der Einspeisung seitens des Energieversorgers „Bewag“ für die Rückbelastung produktionsbedingter Verzerrungsblindleistung beim Produktionsumfeld einer Steuerwellenfertigung am besten geeignet ist. Weiter galt es festzulegen, ab welcher Rückspeisungsleistung an Verzerrungsblindleistung durch den Kunden (betrachtetes Industrieunternehmen, Werk C) entsprechende Gegenmaßnahmen zu ergreifen sind, und in welcher Form diese auf der Kundenseite zu greifen haben (Gegenstromanlagen, Sperrfilter, etc.). Der Übergabepunkt als Schnittstelle zwischen Elektroenergieabnehmer und Elektroenergieversorgungsnetz stand in der Pflicht nicht nur Funktionalität zum Prozess, d.h. zu Grenzgrößen der Verträglichkeit des Lieferanten der dort einzubringenden Prozessmaschinen (Härtemaschinen) zu gewährleisten, sondern auch gegenüber den Notwendigkeiten und Gegebenheiten des lokalen Elektroenergieversorgers (Netzanschlusspartner: Bewag). Eingestuft als klassisches Beispiel der Bestimmung von Rahmenbedingungen zweier Partner eines Elektroenergieversorgungsnetzes nutzt hier der Autor bei der Profilsuche der Durchleiter-Kunden-Beziehung zu aller erst Vorgaben aus dem direkten physikalischen Umgebungs- und Betriebsfeld der Elektroenergieabnehmer und des Elektroenergieversorgungsnetzes heraus.

Schritt 1 der Analyse benutzt bereits die Anfrage gegenüber der Bewag zur Selektion eines Belastungskorridors im Sinne der Fixierung eines Konditionspaketes

zwischen Netzbetreiber und Netzkunde, analog der Betrachtung aus Abschnitt 6.2, Bild 6.3 und 6.4. Zu sehen als verfügbarer betrieblicher Spielraum beim Netzbetreiber (Bewag) zeigt er dem Netzkunden je nach Netzvariante (110 kV-Einspeisung, 30 kV-Einspeisung oder 10 kV-Einspeisung) einen entsprechend anzupassenden Wertebereich, hier beispielsweise im Bereich der vorhandenen Emission des Elektroenergieversorgers und der noch zulässigen Emission des Elektroenergieabnehmers.

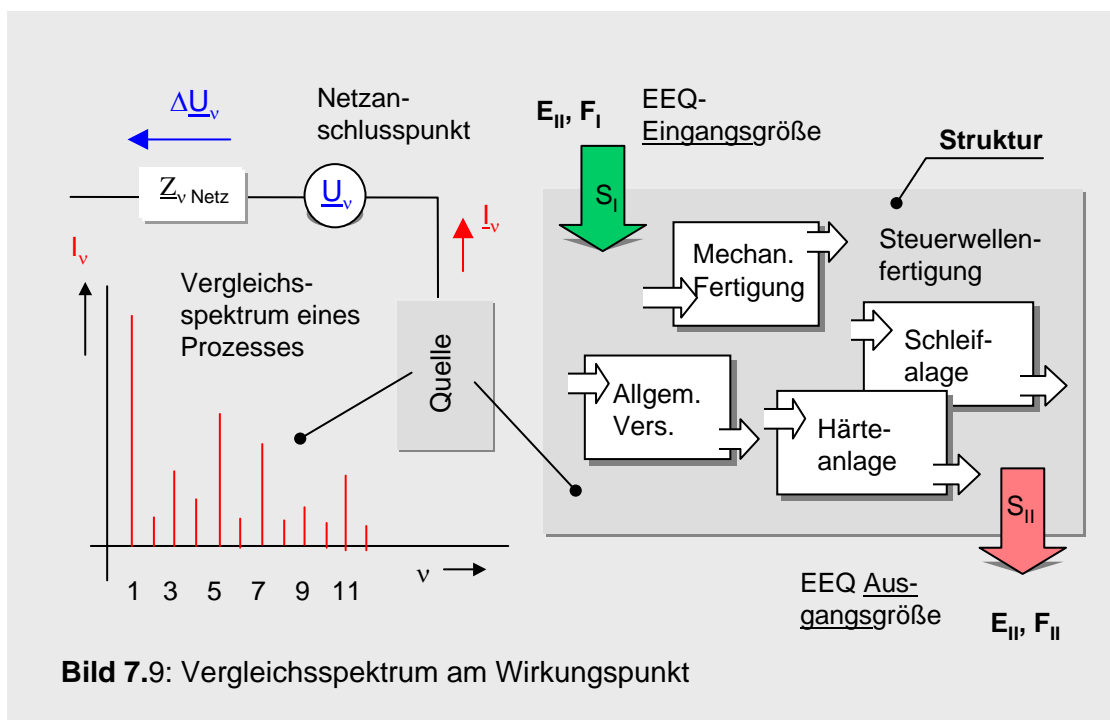
Anzusehen ist dieser Wertebereich als Differenzgröße zwischen dem operativen Betriebs- und dem strategischen Planungswert des Flächenversorgers Bewag, beispielsweise markiert auf das Eckelement der dort von der Bewag betriebenen Rundsteuertechnologie im 10 kV-Netz. Der dort gegenüber der

Belastungsvariante einer 30 kV oder gar 110 kV-Netzversorgung eingestellte Eckwert einer Grenzbelastung bei 750 Hz (750 Hz = 15. Netzharmonischen), Bild 7.8, bindet hier den Netzkunden in seiner Netzkonzeption weit aus stärker. Weiterer Eckpunkt in der Umsetzung am Objekt war im 110 kV-Netz die Vorbelastung der 5. Netzharmonischen aus dem Städtnetz und im 30 kV-Netz die 7. Netzharmonische durch Industrieunternehmen an vor- und/oder nachgelagerten Netzknoten des Elektroenergieversorgungsnetzes der Bewag.



Getrennt nach der jeweils zugebilligten, bzw. im vorliegenden Fall der vom Netzbetreiber dem Netzkunden angebotenen Elektroenergieversorgungsvarianten einer Versorgung aus dem öffentlichen Elektroenergieversorgungsnetz, zeigt das Diagramm Bild 7.8 die dem Netzbenutzer bei der Netznutzung zur Auflage gemachten Rahmenbedingungen im Zeichen der Elektroenergiequalität. Wirkend wie eine vorbelastete Spannungsquelle aus dem EES heraus, mindert sie die vom Kunden verfügbare Zusatzbelastung durch die innerbetrieblichen Emissionsquellen (Stromquellen) der zu installierenden Elektroenergieabnehmer. Die sich am Netzknoten am Ende einstellende Ersatzspannungsquelle \underline{U}_v ist das Resultat der Ersatzstromquelle der Nutzung \underline{I}_v , so zu sehen als Lastmoment einer nichtlinearen Strom-Spannungs-Kennlinie gegenüber der Impedanz des Netzanschlusspunktes und der Vorbelastung dieses Schnittpunktes.

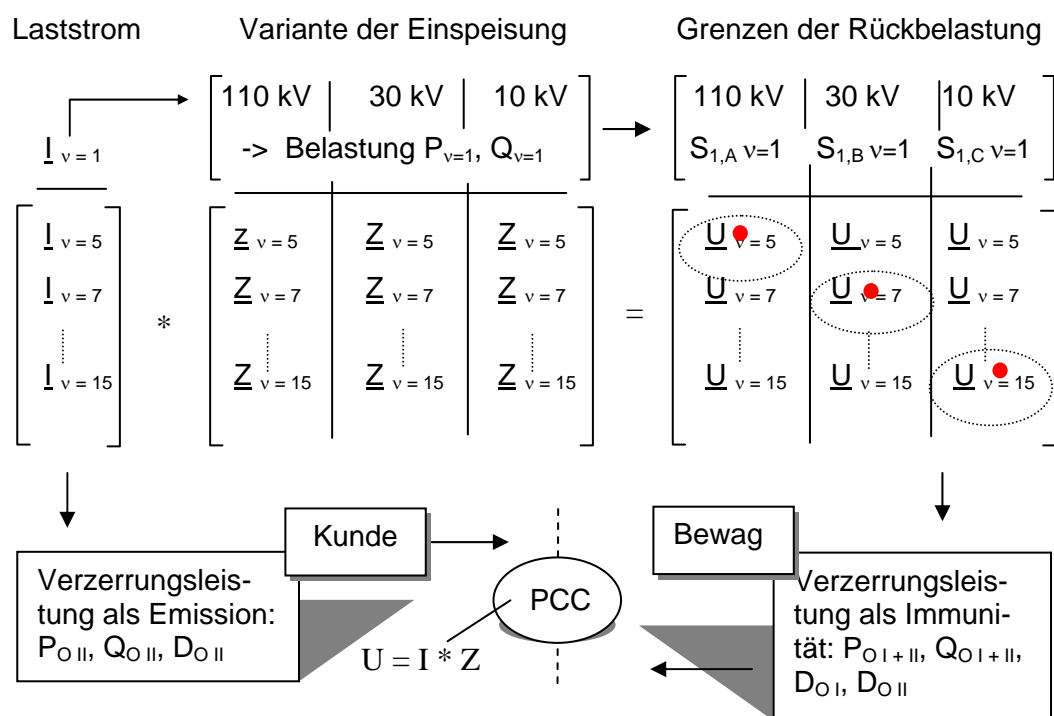
Im Schritt 2 galt es den in Planung befindlichen Elektroenergieabnehmer – Steuerwellenfertigungsanlage mit induktivem Härteprozess in Mittelfrequenztechnik – zu strukturieren. Gegenüber dem Lastgang eines Prozessschrittes galt es hierbei eine Typisierung vorzunehmen. Der einfachste Weg war dort die Nutzung des Vergleichswertprinzips äquivalenter Anlagen an vergleichbaren Standorten innerhalb des Industrieunternehmens. Hier nutzt der Autor eine, am Hauptstandort des Unternehmens im Aufbau befindliche Datenbank mit technisch-technologischen



Prozessmodulen, die es dem Anwender gestattet, Prozessstrukturen, wie die der Steuerwellenfertigung durch so genannte Teilmodule nach Bild 7.9 zu bilden. Diese Prozessmodule sind unterteilt in Fertigungskategorien, die Fertigungsstrategien enthalten, wie leichte oder schwere Fertigung, aber auch prozessspezifische Elemente, wie Pressen, Schweißen und Härten. Das dort als Vergleichsspektrum einer Netzbelastung mathematisch abgebildete Emissionsverhalten dient als Basisgröße der Wirkungsbetrachtung am Netzanschlusspunkt.

Liegt beispielsweise kein repräsentatives Emissionsvorkommen äquivalenter Fertigungsprozesse vor, ist das Emissionsverhalten anhand der Datenblätter des Herstellers zu konfigurieren. In der Regel bezieht sich ein derartiges Datenmaterial auf die Nennleistung und ist an die Nutzungsumgebung als real genutzte Betriebsbelastung anzupassen. Sein Vergleichsspektrum am Wirkungspunkt als Ersatzstromquelle ($\underline{I}_v = g [S_{Anlage}]$), gesehen in Kombination mit der in der jeweiligen Variante der Einspeisung (110 kV-, 30 kV- oder 10 kV) vorherrschenden Impedanzverhältnisse des Netzes ($\underline{Z}_{v, Netz}$), bildet durch Vektormultiplikation $\underline{I}_v \times \underline{Z}_v$ die gesuchte Spannungsverzerrung \underline{U}_v als Grenzbetrachtung gegenüber dem Freibereich in der Spannung ab.

Dazu die Matrize der Grenzgrößenbetrachtung



Die Grenzgröße der Rückbelastung ist im vorliegenden Fallbeispiel die Führungsgröße des Netzkunden. Der Ergebnisvektor der Matrize nutzt hier das entstehende Verzerrungsabbild zur Schematisierung der Wirkung vom Kunde ins Netz (Emission: Zusatzbelastung des Kunden) und seiner Spiegelung als Rückwirkung vom Netz zum Kunde im entstehenden Gesamtumfang (Immunität: Vorbelastung Netz + Zusatzbelastung Kunde). Sein jeweiliger Wertinhalt ist auf das im gewählten Laststrom der Anlage vorherrschendes Stromspektrum der Leistung $S = S_{Anlage}$ bezogen. Eine Spiegelung seiner Größenanteile auf die im Betriebsablauf real genutzte Prozessleistung $S = n S_{Anlage} = S_{max}$ (Summenwert über die Anzahl der zeitgleich genutzten Einzelanlagen) ergibt die zum Netzbetreiber am Netzknotenpunkt bei Produktion wirkende Grenzgrößenleistung der Spannungsverzerrung, so zu sehen als Diagrammparameter U_ν in % über die Ordnungszahl ν . Dieses ist nur dann zulässig, wenn wie im vorliegenden Fall es sich um n-Anlagen des gleichen Typs handelt und davon auszugehen ist, dass das spektrale Abbild (Störquellenabbild) über den Frequenzbereich hinweg sich gegenüber der Leistungssteigerung linear verhält. Die Realität zeigt, dass durch Auslöseeffekte sich selbststeuernder Stromrichter im Ordnungsbereich ab der 7. Harmonischen der Betriebswert am Netzknoten deutlich unterhalb des Planwerts liegt. Im Fall der Steuerwellenfertigung im Werknetz des Industrieunternehmens nutzte der Autor den Differenzbereich als Sicherheitsstrecke gegenüber Bandbreitenschwankungen im Störpotential des Versorgers und als strategische Reserve nach Sicht Abschnitt 6.2 als Freiraum im EES.

Schritt 3 bildet jetzt die Grenz Betrachtung zur maximal zugelassenen Betriebsbelastung am Standort Werk C gegenüber den Einzelvarianten der Einspeisung ab. Zu sehen ist dieses vor allem unter dem Aspekt der Freigabe der Benutzung der Netzzusatzbelastung seitens des Netzbetreibers gegenüber dem Netzkunden. Zur Umsetzung am Objekt wird dort der am Eingang der Analyse gewählte Laststrom als Führungsgröße der Netzbelastung nach oben oder unten so lange verändert, bis die zugelassene Regelgröße nach Schema Bild 5.10, Abschnitt 5.3.3, den Übergang zwischen Konformität und Nonkonformität gegenüber dem lokalen Netzbetreiber signalisiert. Das bedeutet, dass das im Leistungsspektrum eingebundene Einzelspektrum im Laststrom I_ν an der dafür maßgebenden Impedanz des Netzes Z_ν den vom Netzbetreiber vorgegebenen Pegelwert im Quellenanteil einer Spannung U_ν derart abbildet, dass die Grenzkennlinie im zugebilligten Frei-

raum gerade nach oben durchwandert wird. Alle anderen Pegelwerte der Teillastspektren befinden sich weiterhin unterhalb der Markierungslinie. Der rot markierte Punkt im Spaltenvektor der Matrize kennzeichnet seine kritische Größe als Dokument der Analyse:

- in der Versorgungsvariante 110 kV-Netze ab der Belastungsleistung $S_{v=1}$ bei 2, 8 MVA durch die 5. Netzharmonische;
- bei der 30 kV-Variante ab einer Maschinenlast $S_{v=1}$ von 1,2 MVA durch die 7. Netzharmonische;
- bei der 10 kV-Netzvariante bereits ab einer Anlagenleistung von $S_{v=1}$ gleich 98 kVA über die 15. Netzharmonische.

Schritt 4 vergleicht die Grenzleistung mit der geforderten betrieblichen Leistung. Genügt die Grenzleistung nicht den geforderten Ansprüchen der Nutzung im Prozess, ist am Grenzfall der 5. und 7. Netzharmonischen der gezielte Einsatz aktiver Filter (Gegenstromanlagen) die Pflicht von Betreiber und Nutzer als Grundvoraussetzung für die Freigabe zum konformen Betrieb. Beim Grenzfall der Rundsteuerfrequenz (Grenzgröße 15. Netzharmonische) sind geeignete Sperrfilter zum Netz des Versorgers vom Betreiber der Anlagen zu installieren. Je nach Wahl des Einspeiseniveaus (110 kV, 30 kV, 10 kV) sind die zum Netz notwendigen Gegenmaßnahmen der Differenz im jeweiligen Investvolumen (110 kV-Netz, 30 kV- oder 10 kV-Netz) Gegenzurechnen.

Durch das Paradebeispiel einer objektorientierten Bilanzierung von Merkmalen einer Merkmalkette am Beispiel der Verzerrungsblindleistung kann die Aussagekraft gegenüber qualitativen Grenzgrößen auch auf Teilgrößen am Netzknotenpunkt differenziert werden. Je nach vorhandener energetischer Umgebungs- und Betriebsbedingung beim Versorger, wie auch beim Kunden, ist am Einzelfall zu entscheiden, was in der Betrachtung um qualitative Bestandteile einzubinden ist, und was vernachlässigt werden kann (Beispiel Steuerwellenfertigung: Verzerrungsblindleistung Ordnungszahl $v = 5, 7, 15$ / Beispiel Schweißmaschine mit Mehrpunktschweißung, Abschnitt 5.3.1: schnelle Spannungsänderungen als Flicker durch punktuelle Grundswingungsbelastung in Wirkleistung und Verschiebungsblindleistung). Andere Beispiele bedingen andere oder ergänzende Ansatzpunkte (Beispiel Schmelztiegelofen, Abschnitt 6.4.2: Verzerrungs- und Unsymmetriblindleistung).

7.2.2.1 Symmetrisches Netz

Unter dem Aspekt des Austauschs einer qualitativ zuweisbaren Produktgröße EE benutzt das Beispiel der Steuerwellenfertigung im Versorgungsnetz der Bewag vor allem die Wertebestimmung aus dem Systemansatz der symmetrischen Komponente heraus. Hier kann ein eindimensionales Objektabbild (Einphasensystem) ein Mehrphasensystem in seiner Wirkung am PCC, IPC so wiedergeben, dass der Modellcharakter die Inhalte in ihren Wirkungsebenen widerspiegelt. Der Autor umschreibt die einzelne Wirkungsebene mit folgendem Wirkungsschema:

- Wirkungsebene 1: Wirkung vom Netz zum Prozess;
- Wirkungsebene 2: Wirkung vom Prozess zum Netz;
- Wirkungsebene 3: Wirkung als Ausbreitung im Netz.

Die Vernetzung der Wirkungsebene zueinander – Beispiel Steuerwellenfertigung – ist prägnant. Je nach Sicht der Wirkungsebene prägt hier das Geschehen am und um den Netzanschlusspunkt die zu beachtenden Inhalte der einzelnen Werteparameter einer zugelassenen oder vorhandenen Elektroenergiequalität in sehr differenzierter Art und Weise. Hier gilt es durch geeignete Wahl von Standardbausteinen in der Selektierung die Wirkung und Rückwirkung unter Ekelementen einer Netz- und/oder Betriebsvorgabe zunächst als symmetrische Komponente im EES zu sehen. Es gilt vor allem die gemeinsame Vorgehensweise nach Bild 7.7, Abschnitt 7.2.2, als Sprachregelung der Spannungsqualität, d.h. um die zu beachtenden und/oder betrachtenden Störphänomene nach Abschnitt 2.3 so zu wählen, dass Konformität beim Austausch des Produkts EE bei allen davon betroffenen Netzpartnern entsteht. Im Grunde geschieht dieses durch die:

- Schaffung optimierter betrieblicher Spielräume;
- Optimierung der vorhanden Netze in Aufbau, Element und Vernetzung;
- Optimierung betrieblicher Elemente im Bereich der Immunität und Emission;
- Trennung des Störers (Quelle) vom gestörten (Senke);
- Vermeidung verstärkter Wechselwirkung zwischen Lieferant, Durchleiter, Kunde;
- Bildung von Kennziffern auch gegenüber Parametern aus dem QM- und QS-Prozess nach Abschnitt 5.1.3, so zu sehen als „Quality-Gate EE“ zum Prozess und/oder Produkt nach Abschnitt 5.2.3, wirkend beim Lieferant und Durchleiter als Elektroenergieversorger, wie auch beim Kunden (Elektroenergieabnehmer).

Mit den Belastungsparametern P , Q , V , M und $U = 0$ da symmetrisch, entsteht die Zuordnung zum Prozess der Maschine, umgesetzt als ein Unterfangen aus Kenntnissen der eingangs erwähnten Wirkungsebenen. Bei der sich abzeichnenden Vorgehensweise nutzt der Autor die Standardprozedur nach Bild 7.10 um in der dort dargestellten Splittung des Leistungsspiegels eine bewusst differenzierte Datenbereitstellung auch als eine Chance zu nutzen, die am Beispiel der Steuerwellenfertigung praktizierten Einschränkungen als Schwerpunktmerkmale der Wirkung und Rückwirkung zu selektieren. Hier gilt es nicht starre Schemen der Selektion zu betrachtender Spektren eines Störphänomens abzuarbeiten, sondern mit prägnanten Punkten – Beispiel Werk C, Versorgungsnetz Bewag: $\nu = 5, 7, 15$ – das Problem zu lösen.

Wichtig: Zur Problemlösung ist keine starre Schematisierung der Analyse notwendig, sondern man kann über örtliche Extremas, als physikalisch-technisch prägende Umgebungs- und Betriebsbedingungen, den Takt der Strategie vorgeben. Neu ist vor allem der Gesichtspunkt der Verantwortung zur Selbstverpflichtung unter Aspekten der Pegelbetrachtung zwischen „high-quality und low-quality“ eines, an Verträglichkeitsthemen festgemachten und nicht an starren Grenzen gespiegelten Rasters von Qualitätskennwerten eines Netzanschlusspunktes. Nicht die technische Grenzwertvorgabe einer Merkmalbeschreibung nach DIN EN 50160 oder DIN EN 61000-2-4 stellt den zu charakterisierenden Verträglichkeitspegel im Immunitäts- und Emissionsbereich dar, sondern die individuelle Grenzkenngröße in Immunitäts- und Emissionsbereich gegenüber Störphänomenen aus beiden Richtungen, d.h. Versorgungsindex I (Elektroenergieversorgungsnetz) und II (Elektroenergieabnehmer), respektive der Konformität zur Elektroenergiequalität als Grenzbilanz der Verfügbarkeit am Objekt.

Treten Subharmonische auf, d.h. $0 < \nu < 1$, gilt es, unabhängig ob es sich um ein Wechsel- oder Drehstromsystem handelt, die Ausrichtung der Drehfeldvorgabe der Grundschiwingung zum Untersten zu analysierendem Extrema hin auszurichten. Liegt wie am Beispiel Bild 7.10 das nach unten begrenzende Extrema der Analyse bei 5 Hz, d.h. $\nu = 0,1$, bildet die Eckfrequenz (5 Hz) die virtuelle Grundschiwingungskomponente dem Drehfeldsystem mit $\nu = 1$. Die 50 Hz-Komponente kennzeichnet dann die Ordnungszahl $\nu = 10$ (Bild 7.10 - rot hervorgehoben). Die Anpassung an eine virtuelle Grundfrequenz ist nicht an Regeln gebunden. Zweckmäßig ist die Anpassung als Zehnerpotenz: $10^0, 10^1, 10^2, 10^3$, das bedeutet für die Ordnungszahl $\nu = 1$: 50 Hz, 5 Hz, 0,5 Hz und 0,05 Hz.

7.2.2.2 Unsymmetrisches Netz

Betriebliche Umgebungs- und Betriebsbedingungen, aber auch planerische Elemente, wie Netzformen, Leitungen und alle anderen Betriebsmittel bewirken Abstriche vom symmetrischen Netzgebilde. Modelle der Berechnung betrachten vermehrt den Part der Unsymmetrie, und die daraus resultierenden Störphänomene, analog dem Beispiel Schmelztiegelofen, Abschnitt 6.4.2. Das diesbezügliche Ablaufschema nach Bild 7.11 nutzt die symmetrische Grundkomponente nach Bild 7.10, Abschnitt 7.2.2.1, um über mathematische Verfahren, wie die der symmetrischen Komponenten, Abschnitt 7.1, unsymmetrische Netze nach dort hinterlegten Standardverfahren nicht nur zu zerlegen, sondern auch standardisiert zu lösen.

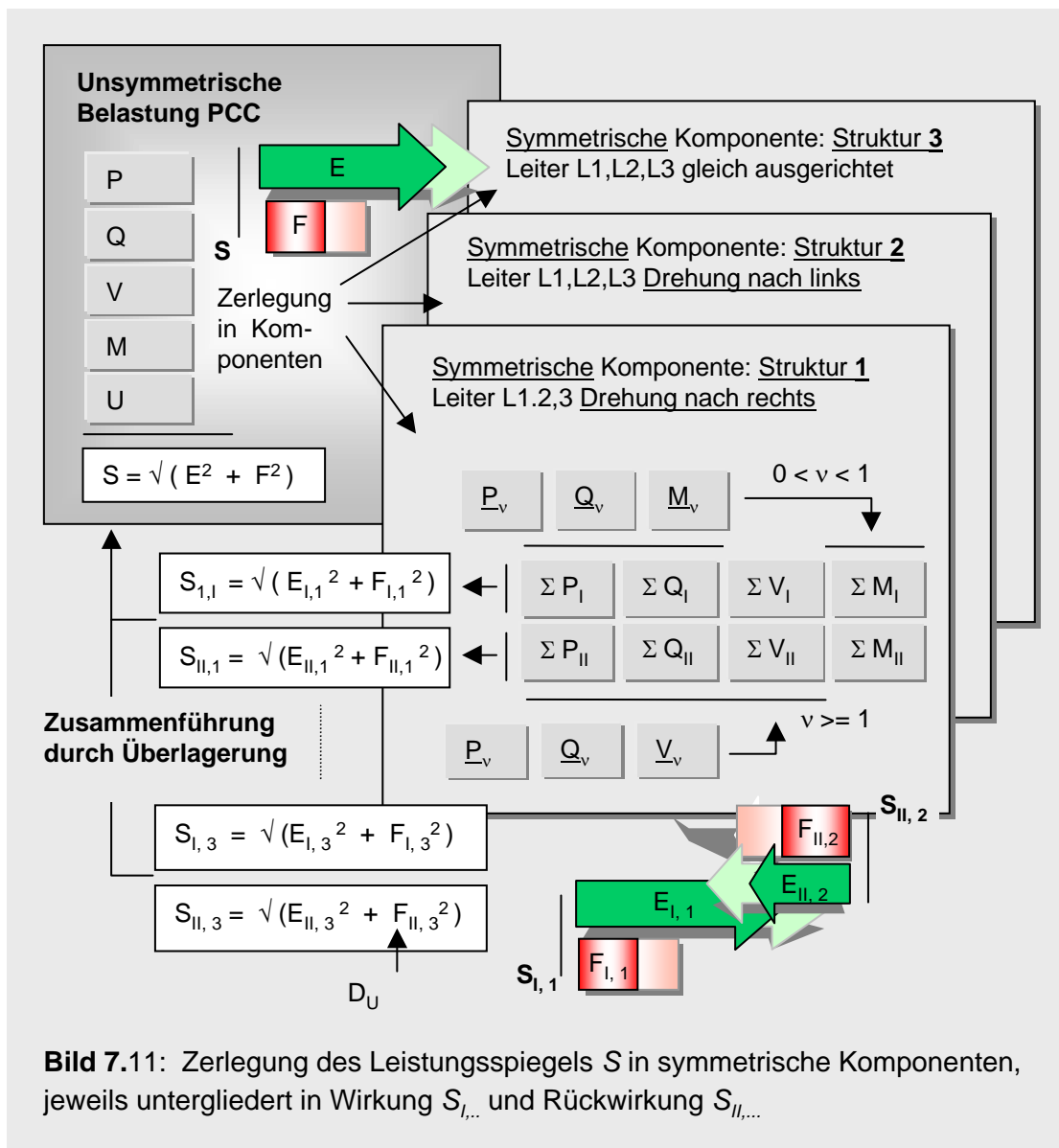


Bild 7.11: Zerlegung des Leistungsspiegels S in symmetrische Komponenten, jeweils untergliedert in Wirkung $S_{I,...}$ und Rückwirkung $S_{II,...}$

Bild 7.11 nutzt das aus dem Leistungsspiegel des Mit-, Gegen- und Nullsystems zusammengestellt Lösungsschema zur Zerlegung des unsymmetrischen Netzgebildes in $n = 3$ symmetrische Teilnetze, die nach Schema Bild 7.10, Abschnitt 7.2.2.1, abzuarbeiten sind. Analog der Beschreibung aus Abschnitte 7.1.1 (Vorgehensweise im 3-Leiternetz) und 7.1.2 (Vorgehensweise im 4- oder 5-Leiternetz) ordnet das Mit- und Gegensystem das Elektroenergieversorgungsnetz in Bereiche mit unterschiedlichem Drehfeldsinn (Mitsystem: linksdrehender Drehfeldzeiger / Gegensystem: rechtsdrehender Drehfeldzeiger). Wirken diese unterschiedlichen Drehfeldgrößen eines Elektroenergieversorgungssystems an einem Elektroenergieabnehmer mit motorischer Antriebeseinheit, so ruft der sich jeweils im Mit- und Gegensystem bildende Momentenvektor, z.B. an einer Antriebswelle ein in sich differentes Teilmomente hervor. Je nach Drehfeldrichtung wirken so an der Antriebswelle zeitlich variierende Beschleunigungs- und Verzögerungsmomente, die je nach Modulation, d.h. der Überlagerung der einzelnen Teilschwingungen so genannte mechanische Pendelbewegungen am angetriebenen Objekt hervorrufen. Gegenüber einem als konstant gewünschten Antriebsmoment entstehen so mechanische Zusatzeffekte, die je nach elektromagnetischer Kraft der Teilschwingung eine funktionale Störung hervorrufen können. Doch meist treten aus dieser mechanischen Produktbildung neue, vor der Modulation nicht vorhandene Frequenzen als Kraftvektoren auf, die dann als Ergebnis, z.B. eines Schleifscheibenantriebs, oder einer Vorschubeinrichtung am Schleifscheibenantrieb verstärkt zum Tragen kommen. Nicht zu unterschätzen sind Lastwechselzyklen bei Lastkomponenten mit hohen Trägheitsmassen im mechanischen Bereich (Beispiel: Antriebeseinheit bei der Druckluftherzeugung). Während es beim Letztgenannten meist nach geraumer Zeit zum Bruch, d.h. zur mechanischen Zerstörung der Kupplung zwischen Antrieb und Antriebselement kommt, sorgen technisch-technologisch übertragene Schwingungseffekte zu weit negativeren Folgen im Prozess oder am Produkt.

Beispiel aus der Praxis: Kurvenschleifmaschine

An einer im Werknetz des betrachteten Industrieunternehmens lokal angeschlossenen Kurvenschleifmaschine führte bereits vor geraumer Zeit die Deformationsblindleistungen am Schnittpunkt zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer zu einer nicht mehr synchronen Laufweise zwischen Vorschubeinrichtung und Schleifscheibe. Als Ergebnis der dort am IPC vorherrschenden Verzerrungsblindleistung entstand gegenüber der mit konstanter Drehzahl angetriebenen Schleifscheibe eine modulare Anregung der Vorschubeinrichtung zum

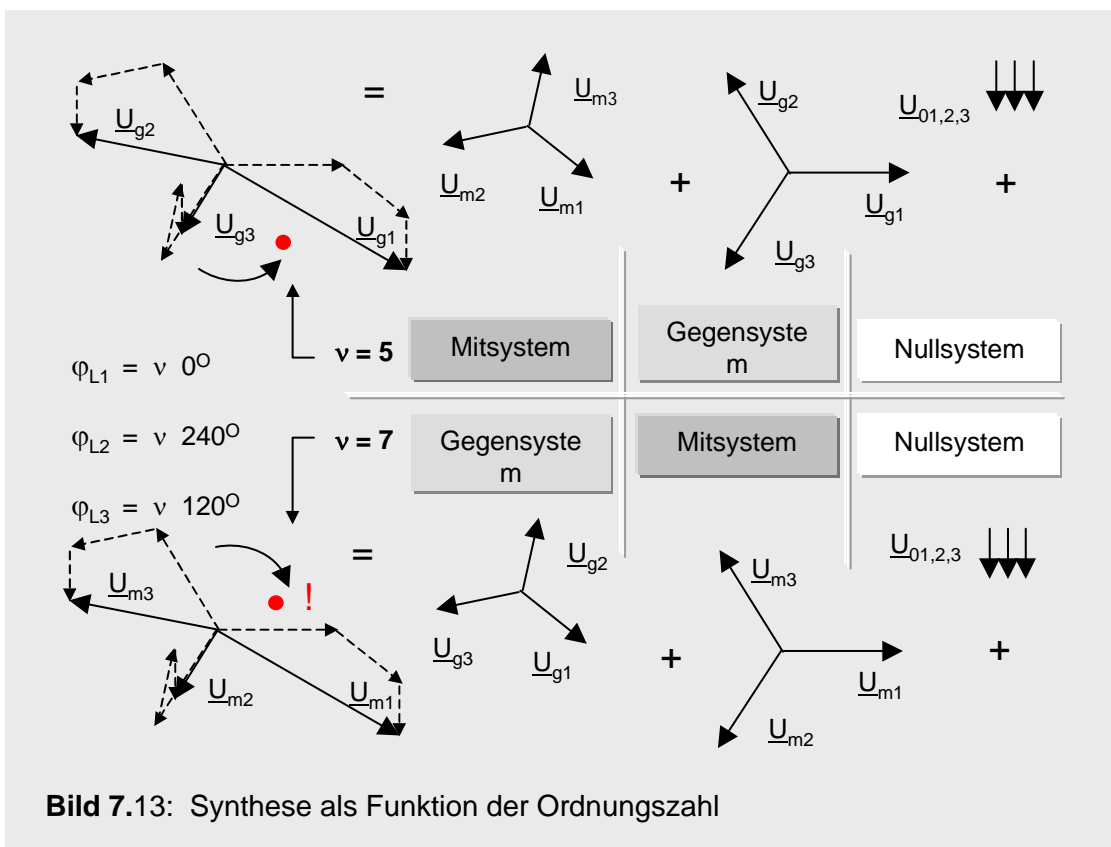
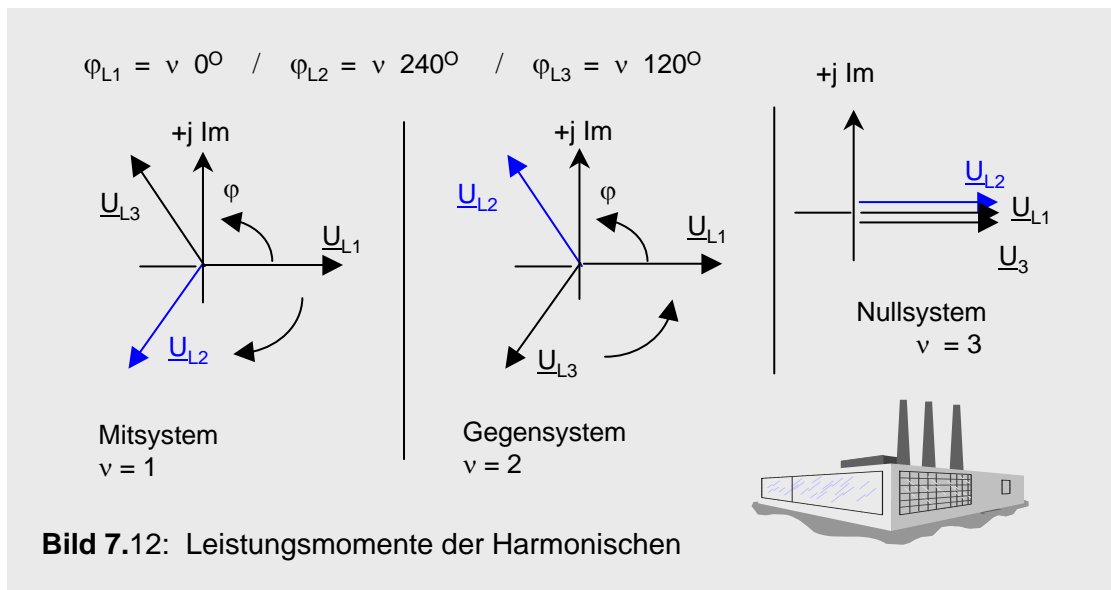
zu schleifenden Fertigungsgut. Eine leichte Abweichung im Schleifbild war die Folge. Mit bloßem Auge nicht sichtbar, entstand auf der geschliffenen Oberfläche der Welle eine periodizite Unebenheit, die über den zeitlichen Ablauf am Schliffbilds der Welle als 5. Netzharmonischen identifiziert wurde. Geschliffen als Gegenstück eines Gleitlagers entstand durch die leichte Unebenheit am Gegenstück (Laufbuchse) eine zu hohe mechanische Produktbelastung. Der Gütesicherungstest am Dauerlaufprüfstand bestätigte die qualitative Produktbelastung, hervorgerufen durch die Wechselwirkung der Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer.

Das vorliegende Beispiel wird charakterisiert durch die Inkompatibilität der Elektroenergiequalität – Spannungsqualität der 5. Netzharmonischen – zum Elektroenergieabnehmer. Ursache der Inkompatibilität war das Emissionsverhaltens einer Stangenerwärmungsanlage mit Mittelfrequenzinduktoren am gleichen Netzabschnitt. Gerade der Emissionspegel im Laststrom der 5. Netzharmonischen bildete am Netzanschlusspunkt der Kurvenschleifmaschine ein Spannungsabbild der 5. Netzharmonischen ab mit einer Spannungsverzerrung bis zu 8%. Eine Trennung der netzseitigen Vermaschung auf der Mittelspannungsebene der Versorgungspunkte der Kurbelwellenfertigung (Kurvenschleifmaschine) und dem der Kurbelwellenfertigung vorgelagertem Schmiedebereich (Stangenerwärmungsanlage) löste das Qualitätsproblem am Produkt.

Hier zeigt vor allem die Bemühung des Autors, zum damaligen Zeitpunkt Leiter der elektrischen Energieversorgung im betrachteten Industrieunternehmen, Werk B, dass mit dem Abgleich der Elektroenergiequalität an dem Schnittpunkt zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer ein dort bereitgestelltes Produkt EE auch den Qualitätsindikator zum Fertigungsprodukt verstärkt wahrzunehmen hat. Insbesondere die Einbeziehung des Qualitätsindex „ β “, Abschnitt 2.3.4.2, charakterisiert ein verbessertes Abstimmverhalten zum Bedarf, das in dezidierter Form im „Quality-Gate EE“, Abschnitt 5.2.3, den Qualitätsindikator im Qualitätssicherungs- und Qualitätsmanagementprozess darstellen vermag. Fokussiert am Qualitätsproblem der Kurvenschleifmaschine zeigt Bild 7.12 und 7.13 Leistungsmomente der Harmonischen, an der man die Systematik von Mit-, Gegen- und Nullsystem ablesen kann. Hervorgerufen durch die Multiplikation der Phasenwinkel Leiter 1, 2, 3 mit der Ord-

nungszahl $\nu = 1, 2, 3$ bis x bilden sich im Bezug auf den Phasenwinkel die Winkel zur reellen Achse aus, bei:

- $\nu = 1, 4, 7, 10, \dots : 0^\circ \rightarrow 240^\circ \rightarrow 120^\circ$ als Mitsystem,
- $\nu = 2, 5, 8, 11, \dots : 0^\circ \rightarrow 120^\circ \rightarrow 240^\circ$ als Gegensystem und
- $\nu = 3, 6, 9, 12, \dots : 0^\circ \rightarrow 360/0^\circ \rightarrow 720/0^\circ$ als Nullsystem.



7.2.3 Versorgungsmodell mit mehr als einem Netznutzer

Die Notwendigkeit einer Individualisierung ist immer dort geboten, wo mehr als ein Abnehmer einen Netzabschnitt deformationsrelevant das Netz belastet. Unabhängig des Beobachtungspunktes zur Belastung (Versorgungsindex I oder II) ist die Wirkung und Rückwirkung aller am Netzknotenpunkt wirkenden Netznutzer (externes Netz: Kunden / internes Netz: Maschinen und Geräte) für das Resultat relevant. Nur bedingt passend sind da die bis dato erzielten Ergebnisse aus dem quellenfrei vorausgesetzten Elektroenergieversorgungsnetz der vorangegangenen Abschnitte. Zwar sind sie für die Aufbereitung einer Aussage gegenüber der Grundschwingungskomponente unter Aspekt der Wirk- und Verschiebungsblindleistung (P , Q) vollkommen ausreichend, doch bergen sie erhebliche Unsicherheiten durch das Zusammentreffen von Überlagerungs- und Auslöscheffekte „Dritter Netznutzer“, so zu sehen als Netzkunden mit weiteren, nichtlinearen Elektroenergieabnehmern. Gerade diese Bestandteile sind in der zukünftigen Gestaltung einer Schnittstelle zwischen Elektroenergieabnehmer und Elektroenergieversorgungsnetz ein maßgebender Faktor bei der Auslegung von Freiräumen in Merkmalen, d.h. einer Konditionierung der Belastung an und um den Netzanschlusspunkt. W. Mombauer, FH Mannheim konkretisiert derartige Effekte bei der geometrischen Addition der Vor- und Zusatzbelastung im Rahmen von Vorlesungen im VDE Fachseminar Spannungsqualität /43/ am Beispiel der Netzharmonischen nach Gl. 7-7.

$$I, U_{v ges.} = \sqrt[\alpha]{(I, U_{v Vorb.}^\alpha + I, U_{v Zusatzbel.}^\alpha)}$$
$$v \leq 7 : \alpha = 1,4 \quad / \quad v > 7 : \alpha = 2 \quad (7-7)$$

Das bis dato gewählte Einquellenmodell nach Vorgabe Abschnitt 7.1 ist daher in ein Mehrquellenmodell zu transformieren. Analog der Momentaufnahme am Einzelobjekt setzt sich das Gesamtgeschehen im EES durch die Zusammenführung der aus den Einzelobjekten gewonnenen Teilergebnisse zum Summenobjekt zusammen. Das aus einer endlichen Anzahl von Einzelgebilden sich bildendem Summenergebnis repräsentiert am Schluss die resultierende Belastung der Schnittstelle im Bereich der Immunität und der Emission. Im nachfolgenden Abschnitt 7.2.3.1 und 7.2.3.2 geht der Autor deshalb einen Schritt weiter und nutzt die Theorie zur Umsetzung mathematischer Verhältnisse bei Mehrquellenmodellen zur Aufzeichnung von Lösungswegen in der Praxis, doch stets aus der globalen Perspektive heraus.

7.2.3.1 Theorie der Umsetzung

Das aufstellen von Strom- und Spannungsgleichungen in Netzwerken mit mehr als einer Quelle liefert Gleichungssysteme mit vielen Unbekannten. Ihre Lösung fordert einigen Aufwand. Im Fall Bild 7.14 kann man komplexe Gleichungssysteme minimieren, in dem man Netzwerkquellen einzeln auf das Netzgebilde wirken lässt – Vorgehensweise Abschnitt 7.1 – und erst am Schluss zum Gesamtergebnis überlagert. Bezeichnet als Überlagerungs- oder Superpositionsverfahren ist seine Anwendung im Netzverbund an Rahmen vorgaben gebunden. Zum Beispiel darf das Überlagerungsgesetz nur auf Netzkonstellationen angewendet werden, die konstante Werte, d.h. lineare Verhältnisse zwischen Strom und Spannung aufweisen. Weiter ist darauf zu achten, dass die gewählten Ersatzquellen (Einzelquellen in Strom oder Spannung)

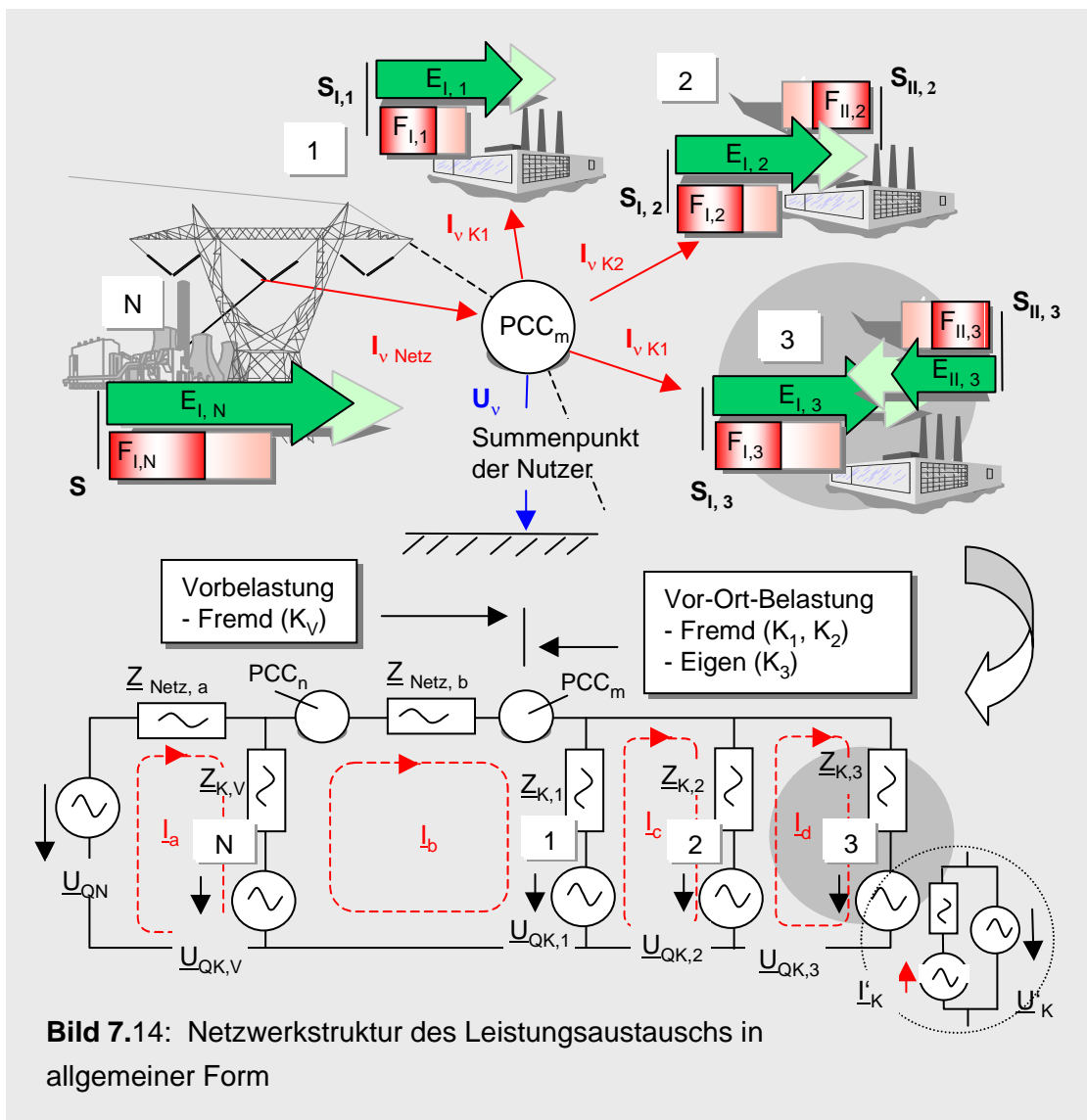


Bild 7.14: Netzwerkstruktur des Leistungsaustauschs in allgemeiner Form

rückwirkungsfrei arbeiten, d.h. keine Veränderungen in der Struktur, im System selbst hervorrufen. Die Heranführung an die Umsetzung bei Netzlasten mit mehr als einem Netznutzer wird in 3 Stufen vorgenommen. Stufe I stellt die Rahmenvorgabe im Sinne linearer Teilverhältnisse sicher. Hier nutzt der Autor die Vorgabe aus Abschnitt 7.1, in dem die dort in Bild 7.1 angedeuteten Netzwerkscheiben lineare Teilnetzverhältnisse der Ordnungszahl $v=1, 2, 3$ bis x bilden. Jedes für sich wird als separates Netzwerk einer Netzwerkmatrize zugeführt. Welche Netzwerkscheibe am Ende sinnvoll ist, und welche dann davon zur Analyse ausgewählt wird, hängt vom Umfang der Analyse, sozusagen von den physikalischen Umgebungs- und Betriebsbedingungen am Betrachtungsort (PCC, IPC) ab. Stufe II gilt als Heranführung an die Systematik über dezidierte Funktionsmatrizen. Hier betrachtet man die Funktionsmatrize als Netzwerkscheibe die das Netzwerkgebilde als Einzelquellenmodell offen legt. Stufe III nutzt die Funktionsmatrize aus Stufe II und generiert für jede der in Stufe I ausgewählten Ordnungszahlen ein entsprechendes Matrizenduplikat. Eine Matrizenmatrix entsteht, in der jede für sich die vom Analysten gewählte Funktionsmatrize als in sich abgeschlossenes Netzwerkgebilde einer spezifischen Ordnungszahl repräsentiert.

7.2.3.1.1 Rahmenvorgabe

Die Rahmenvorgabe – als Stufe I der Analyse bezeichnet – steht für die Festlegung der Umgebungs- und Betriebsbedingungen am zu untersuchenden Netzanschlusspunkt. Betrachtet am Beispiel Bild 7.14, Kunde K_3 , wirkt am Schnittpunkt zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer – Bild 7.14 mit PCC_m bezeichnet – die Vor-Ort-Belastung als Fremd- (Kunde K_1, K_2) und Eigenanteil (Kunde K_3). Zudem beeinflusst der als PCC_n in Bild 7.14 dokumentierte Netzanschlusspunkt die vor- oder nachgelagerter Netzanschlusspunkte eines Elektroenergieversorgungsnetzes als Summengröße Netz, vom Autor mit dem Index K_v (Kunde Vorbelastung) bezeichnet. In den einzelnen Belastungsfrequenzen bilden Spannungs- oder Stromquellen – im Bild 7.14 gewählt als Spannungsquelle – die Störphänomene, die an der Vorgabe des zu analysierenden Problems zu spiegeln sind. Am Beispiel Abschnitt 7.2.2, der Planung einer Steuerwellenfertigung im Werk C des betrachteten Industrieunternehmens, bildet hier der momentan am Übergabepunkt – am Fallbeispiel Bild 7.14 PCC_m – messtechnisch ermittelbare Betriebspegel, das dort vorherrschenden Quellenabbildes der Teilspannungsquellen $\underline{U}_{QK,v}$, $\underline{U}_{QK,1}$, $\underline{U}_{QK,2}$ und \underline{U}_{QK3} als Grundbelastung. Der dort am Beispiel des Kunden freigegebene Planungspegel, stellt

in seiner Differenzgröße zum Betriebspegel den Freibereich \underline{U}_{QK3} einer Zusatzbelastung nach Bild 6.3, Abschnitt 6.2, dar. Grundbelastung \underline{U}_{QK3}' und Zusatzbelastung \underline{U}_{QK3} ergibt hier die verfügbare Quellenspannung des Kunden U_{QK3} .

Je nach Bedarf am Objekt gilt es im darauf folgenden Schritt die Grenzwertvorgabe konkret vorzubeseetzen. Am Beispiel der Steuerwellenfertigung, Abschnitt 7.2.2, ist dieses die Spannung der Netzharmonischen, charakterisiert durch den Elektroenergieversorger, respektive gespiegelt an den Eckpunkten der 5. 7. und 15 Netzharmonischen nach Bild 7.15. Am Beispiel des

Schmelztiegelofens, Abschnitt 6.4.2, generiert hier der Elektroabnehmer die Grenzwertvorgabe am Beispiel der 5. Netzharmonischen, der Unsymmetrie in Spannung und Strom als Grenzwertvorgabe des Elektroenergieabnehmers gegenüber dem Elektroenergieversorgungsnetz.

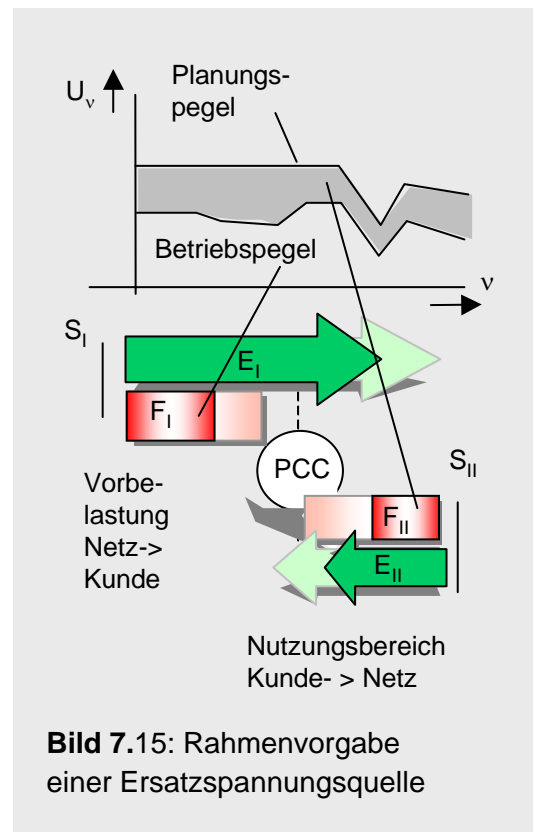


Bild 7.15: Rahmenvorgabe einer Ersatzspannungsquelle

7.2.3.1.2 Heranführung

Stufe II der Heranführung an die Systematik bildet am Beispiel der Steuerwellenfertigung, Abschnitt 7.2.2, die Kategorisierung der Grenzgröße der Analyse zu den physikalischen Umgebungs- und Betriebsbedingungen. Zu sehen als Konditionspaket beim Netzbetreiber gegenüber dem Netzkunden bildet der in Bild 7.15 angedeutete untere Grenzbereich des Freiraums den Betriebsbereich der Vorbelastung ab. Sein Grenzwert im Störspannungsspektrum U_ν ist als Amplitudenwert der Ersatzspannungsquelle Dritter Netznutzer zu betrachten. Sie bildet mit ihrem Wert der Ordnungszahl ν den Part ab, der in Bild 7.14 den Summenwert als Vorbelastung Fremd ($PCC_n \rightarrow K_\nu$) und Zusatzbelastung Fremd ($PCC_m \rightarrow K_1, K_2$) bildet. Der im Abschnitt 6.2 als Freibereich im EES zitierte Rahmenwert generiert den Quellenanteil als Ersatzspannungs-

quelle, am Beispiel der Steuerwellenfertigung, Abschnitt 7.2.2, der dem Kunden im Rahmen der Investitionsmaßnahme vom Versorger als Emissionsband zugestanden wird. Bild 7.16 lokalisiert diese Art der Zuweisung von Ersatzspannungsquellen am Schema des Ausgangsmodells der resultierenden Vorbelastung aus dem Netz mit $\underline{U}_{QK,Netz} = \underline{U}_{QK,V} + \underline{U}_{QK,1} + \underline{U}_{QK,2}$ und der Zusatzbelastung Kunde-Netz $\underline{U}_{QK,3}$. Auch verschiedene Ausgangssituationen im Bereich der Störquellenbelastung durch Dritte, wie auch die im speziellen für die Nutzer verfügbare Freibereichsgrenze kann je nach Variante der Einspeisung

(Fallbeispiel Steuerwellenfertigung: Versorgungsebene 10 kV, 30 kV oder 110 kV) variieren. Die Ausgangssituation einer Schnittstelle ist im interessierenden Bereich – siehe Fallbeispiel – ausreichend präzise vorgegeben.

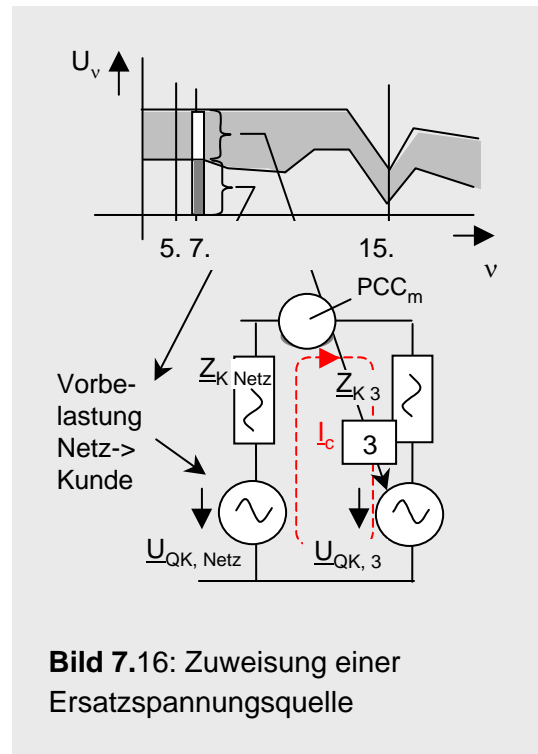
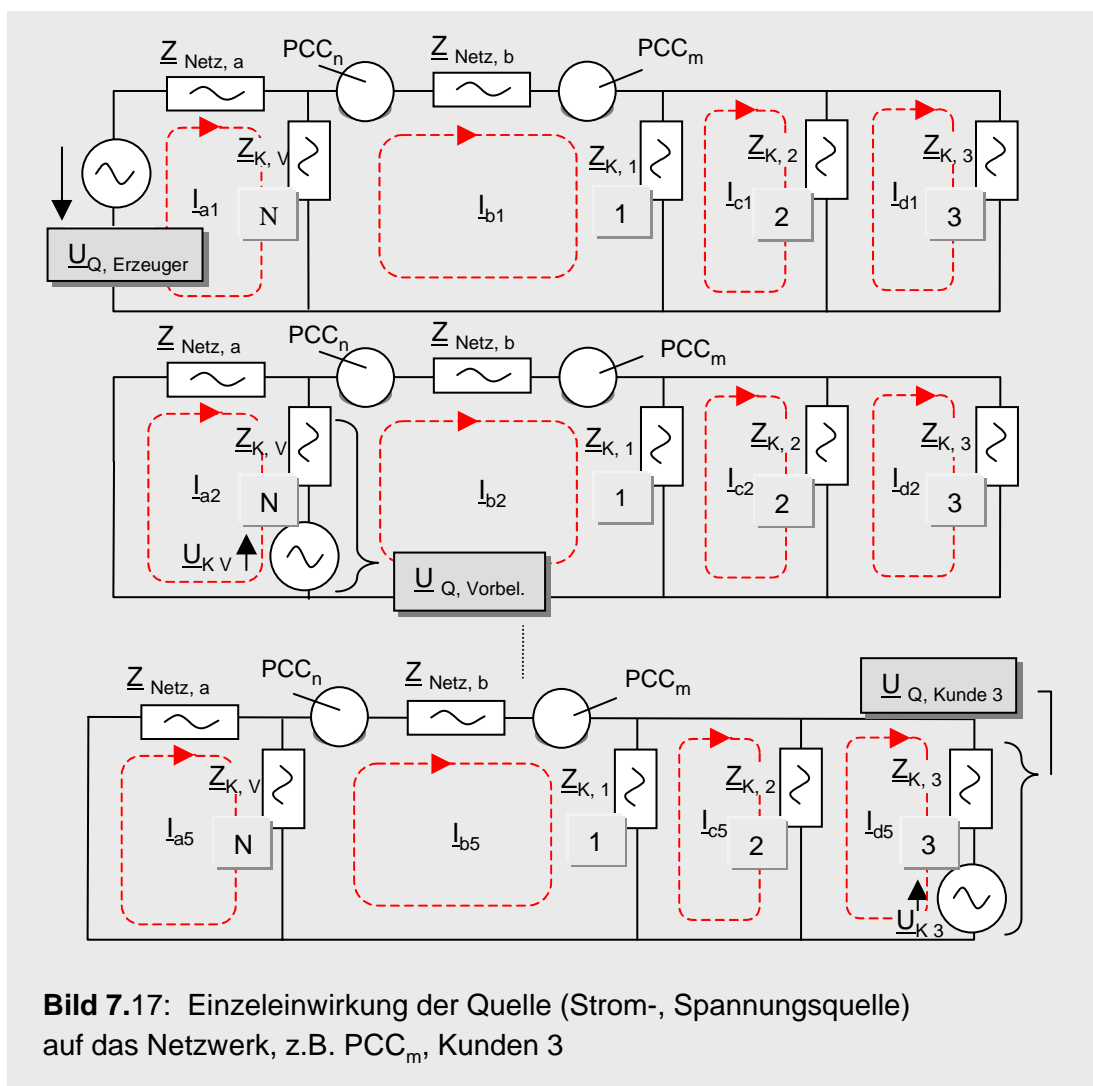


Bild 7.16: Zuweisung einer Ersatzspannungsquelle

Man sieht: Wertvorgaben zur Quellenbildung sind meist existent. Ob im Modell als Ersatzspannungsquelle eingesetzt (Bild 7.16: $\underline{U}_{QK, Netz}$ als Netz, $\underline{U}_{QK,3}$ als Kunde), oder Ersatzstromquelle (Bild 7.14: \underline{I}'_K) ist egal. Je nach Bedarf kann die Ersatzspannungsquelle auch in eine Ersatz-Stromquelle transformiert werden (Bild 7.14: \underline{I}'_K in \underline{U}'_K). Beide Quellenarten sind gleichwertig. Welche Ersatzschaltung man wählt hängt vom zu verwendenden Verfahren zur Aufstellung der Gleichungssysteme ab. Am Fallbeispiel der Elektroenergieversorgung der Steuerwellenfertigung, Werk C, durch die Bewag, gilt es zu aller erst den Informationsinhalt des Netzanschlusspunktes (Bild 7.14, obere Darstellung, bezeichnet als Summenpunkt der Nutzer) in einem entsprechend allgemeingültigen Netzabbild aus der Quellengröße des Versorgers (\underline{U}_{QN}), der Quellengröße einer Vorbelastung vor- und nachgelagerter Netzkunden ($\underline{U}_{QK,V}$), der Quellengröße einer am Betrachtungspunkt wirkenden Zusatzbelastung durch Dritte ($\underline{U}_{QK,1}$ und $\underline{U}_{QK,2}$) und den Quellenanteil im Quellenspektrum des eigenen Lastaustausches ($\underline{U}_{QK,3}$) zu charakterisieren.

Für die weitere Vorgehensweise bieten Hilfsverfahren aus der Elektrotechnik, wie die des Maschenstrom- oder Knotenpotentialverfahren weitergehende Lösungsansätze. Je nach Wahl der Ersatzquelle (Spannungs- oder Stromquelle) eignet sich das Maschenstromverfahren besonders gut für Netze mit Ersatzspannungsquellen, das Knotenpotentialverfahren für Netze mit Ersatzstromquellen. Am Fallbeispiel Abschnitt 7.2.2 der Steuerwellenfertigung kommt durch die Ersatzquellenvorgabe in der Spannung (Einspeisepunkt Bewag) das Maschenstromverfahren zum Einsatz. Das Aufstellen der Maschengleichung erfolgt in den folgenden Stufen:

- a) Bilden von Maschen aus fiktiven Maschenströmen (Kreisströmen: Bild 7.14 I_a bis I_d).
- b) Trennen der Gesamtwirkung, d.h. das getrennte Einwirken der Quellen auf das Maschenetzwerk (Bild 7.17 $\underline{U}_{QN} / \underline{U}_{QK,V} / \underline{U}_{QK,1} \dots \underline{U}_{QK,3}$). Entsprechend der



Quellenzahl q entstehen q Gleichungsmatrizen, die jede für sich ein Teilbild und damit eine in sich abgeschlossen lösbare Gleichungsmatrize ergibt.

- c) Aufbau der einzelnen Gleichungsmatrizen (Gl. 7-8). Ist der Spaltenvektor für die Maschenströme $I_a \dots I_d$ nach den Indizes geordnet, ergibt sich ein symmetrischer Aufbau in jeder der q Koeffizientenmatrizen.

Nach Aufstellung der Gleichungsmatrize, Gl. 7-8, ist feststellbar, dass jeder Maschenstrom in seiner Masche mit allen Impedanzen die er durchfließt verknüpft ist. Die Hauptdiagonale der Impedanzmatrix (Koeffizienten-Determinante) ist mit den Summenimpedanzen der gewählten Masche besetzt. Die Nebendiagonale der Impedanzmatrix enthält die Impedanzen die vom gegenüberliegenden Maschenstrom, z.B. $I_{a1,b1} / I_{b1,c1} / I_{c1,d1}$ durchflossen wird. Ihr Vorzeichen richtet sich entsprechend den Zählpfeilen an den Koppelimpedanzen der einander gegenüberliegenden Maschenströme. Der Spaltenvektor der Spannung stellt die Summe der Quellenspannungen in der zu betrachtenden Masche dar. Die jeweiligen Einzelergebnisse der Maschenströme $I_{a1..5} \dots I_{d1..5}$ – am Beispiel festgemacht: 5 Matrixgleichungen – werden zum Gesamtergebnis $I_a \dots I_d$ geometrisch subsumiert, d.h. nach Gl. 7-9 überlagert. Die kundenorientierten Spannungs- und Stromwerte ergeben sich entsprechend den Regeln der Elektrotechnik am Beispiel Kunde 3 nach Gl. 7-10.

$$\begin{bmatrix}
 (\underline{Z}_{\text{Netz } a} + \underline{Z}_{\text{Vorb}}) & -\underline{Z}_{\text{Vorb}} & 0 & 0 \\
 -\underline{Z}_{\text{Vorb.}} & (\underline{Z}_{\text{Netz } b} + \underline{Z}_{K1}) & -\underline{Z}_{K2} & 0 \\
 0 & -\underline{Z}_{K2} & (\underline{Z}_{K1} + \underline{Z}_{K2}) & -\underline{Z}_{K2} \\
 0 & 0 & -\underline{Z}_{K2} & (\underline{Z}_{K1} + \underline{Z}_{K2})
 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} I_{a1} \\ I_{b1} \\ I_{c1} \\ I_{d1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{U}_{Q \text{ Erz.}} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}
 (\underline{Z}_{\text{Netz } a} + \underline{Z}_{\text{Vorb}}) & -\underline{Z}_{\text{Vorb}} & 0 & 0 \\
 -\underline{Z}_{\text{Vorb.}} & (\underline{Z}_{\text{Netz } b} + \underline{Z}_{K1}) & -\underline{Z}_{K2} & 0 \\
 0 & -\underline{Z}_{K2} & (\underline{Z}_{K1} + \underline{Z}_{K2}) & -\underline{Z}_{K2} \\
 0 & 0 & -\underline{Z}_{K2} & (\underline{Z}_{K1} + \underline{Z}_{K2})
 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} I_{a2} \\ I_{b2} \\ I_{c2} \\ I_{d2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\underline{U}_{Q \text{ Vorb.}} \\ \underline{U}_{Q \text{ Vorb.}} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

.....bis

$$\begin{bmatrix}
 (\underline{Z}_{\text{Netz } a} + \underline{Z}_{\text{Vorb}}) & -\underline{Z}_{\text{Vorb}} & 0 & 0 \\
 -\underline{Z}_{\text{Vorb.}} & (\underline{Z}_{\text{Netz } b} + \underline{Z}_{K1}) & -\underline{Z}_{K2} & 0 \\
 0 & -\underline{Z}_{K2} & (\underline{Z}_{K1} + \underline{Z}_{K2}) & -\underline{Z}_{K2} \\
 0 & 0 & -\underline{Z}_{K2} & (\underline{Z}_{K1} + \underline{Z}_{K2})
 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} I_{a5} \\ I_{b5} \\ I_{c5} \\ I_{d5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -\underline{U}_{Q K3} \end{bmatrix} \quad (7-8)$$

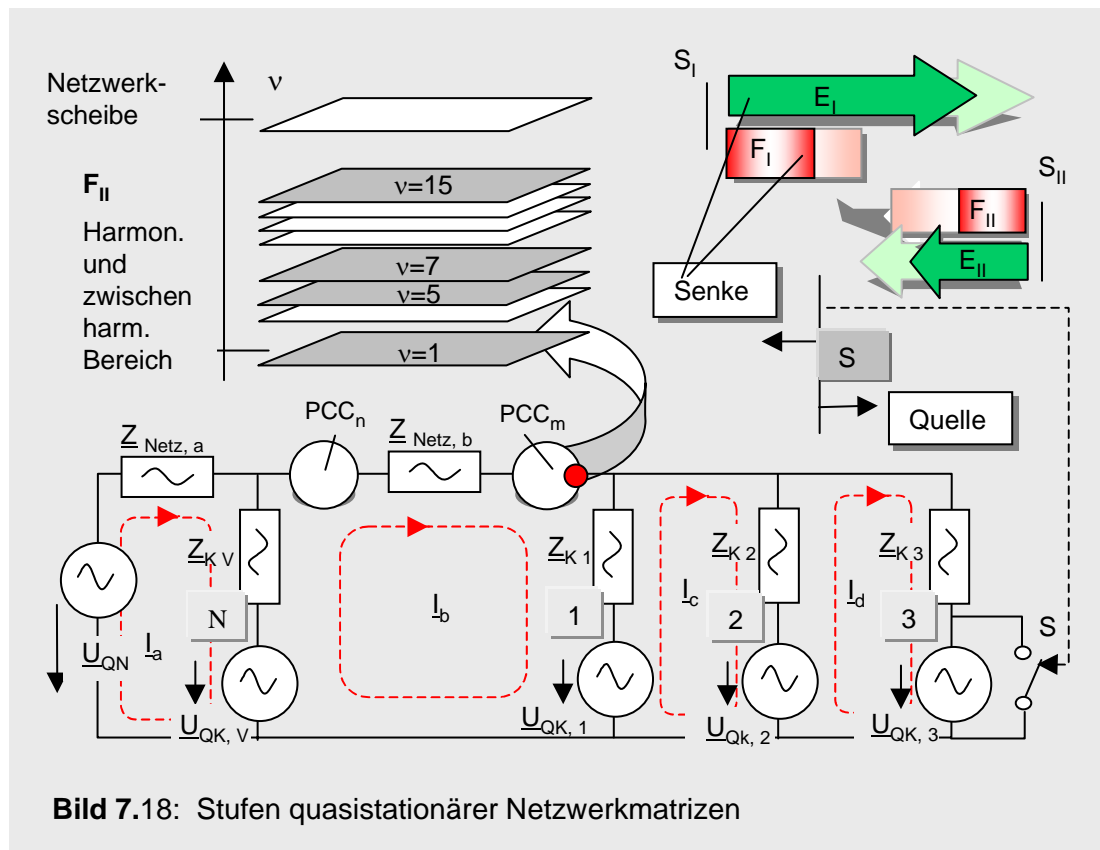
$$\begin{aligned}
 \underline{I}_a &= \underline{I}_{a1} + \underline{I}_{a2} + \dots + \underline{I}_{a5} \\
 \underline{I}_b &= \underline{I}_{b1} + \underline{I}_{b2} + \dots + \underline{I}_{b5} \\
 \underline{I}_c &= \underline{I}_{c1} + \underline{I}_{c2} + \dots + \underline{I}_{c5} \\
 \underline{I}_d &= \underline{I}_{d1} + \underline{I}_{d2} + \dots + \underline{I}_{d5}
 \end{aligned}
 \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \leftarrow \quad (7-9)$$

$ \begin{aligned} \underline{I}_{\text{Kunde 3}} &= \underline{I}_d \\ \underline{U}_{\text{Kunde 3}} &= \underline{I}_d \underline{Z}_{\text{Kunde 3}} + \underline{U}_{\text{Q Kunde 3}} \end{aligned} $	(7-10)
---	--------

7.2.3.1.3 Umsetzung

Ausgerichtet am Bedarfsfall nutzt in Stufe III der Autor das Verfahren symmetrischer Komponenten um über die Bilanzierung von Teilleistungen mit linearen Teilverhältnissen, Bild 7.1, Abschnitt 7.1, die Lösung über n, m Gleichungsmatrizen vom Typ Gl. 7-8 zu generieren. Die Elementzahl n stellt die zu analysierenden periodischen oder quasiperiodischen Schwingungsgebilde einer Teilschwingung nach Fourier, Abschnitt 2.3.2.8, dar. Am Beispiel der Steuerwellenfertigung ist das die Grundschiwingung, die 5., 7., 15. Oberschwingung, d.h. $n = 4$. Die Elementzahl m charakterisiert die symmetrischen Komponenten bei Unsymmetrie. Im vorliegenden Fallbeispiel der Steuerwellenfertigung kann man von symmetrischer Netzbelastung ausgehen, d.h. $m = 1$. Am Beispiel des Schmelztiegelofens, Abschnitt 6.4.2, steht durch den Unsymmetrieanteil bedingt die Elementzahl bei $m = 3$.

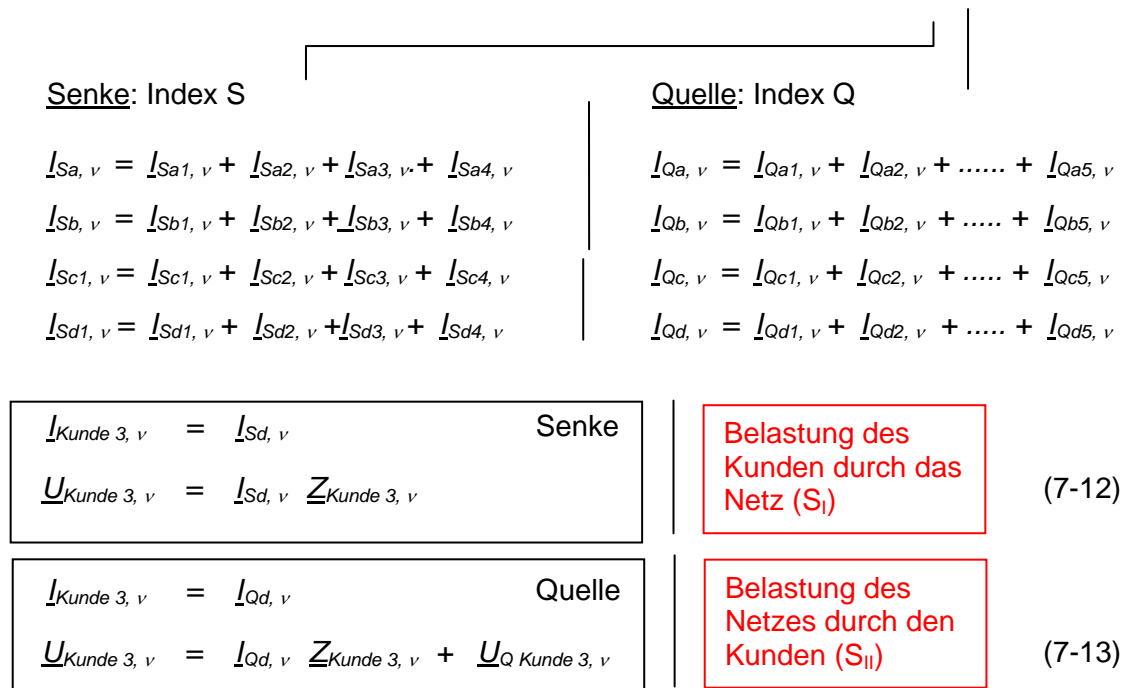
Ein n, m -faches Duplikat der Maschengleichung nach Gl. 7-8 entsteht, jedes für sich als Netzwerkscheibe separat bezogen auf eine jeweils gewählte Ordnungszahl, getrennt für das Mit-, Gegen- und Nullsystem, falls durch Unsymmetrie vorhanden. Äquivalent der Betrachtung Bild 7.14 und 7.17, entsteht ein Kubus aus Gleichungsmatrizen dessen Matrize in der Ebene die Teilfrequenz des Netzwerkes abbildet, und in der Raumachse die totale Harmonische Distanz (THD) verkörpert. Je nach erforderlicher Sichtweise einer Betrachtung der Belastung des Elektroenergieabnehmers am Elektroenergieversorgungsnetz als Senke (Versorgungsindex I: $S_I / E_I, F_I$) oder als Quelle (Versorgungsindex II: $S_{II} / E_{II}, F_{II}$), wird die Kundenquelle (Elektroenergieabnehmer) entsprechend der schematisierten Darstellung in Bild 7.18, hier in Form eines mathematischen Schalters in der Quellenmatrize des Betrachtungsobjektes (Beispiel Kunde 3) geöffnet, d.h. zugeschaltet oder geschlossen (abgeschaltet).



Eingesetzt im Ergebnisvektor der Nr. 5 mit der Zahl Null, ist der Maschenstrom $I_{a5, -I_{d5, v}}$ ebenfalls gleich Null. Dem gegenüber steht der Ergebnisvektor, in dem die Quelle als Ersatzspannungsquelle $\underline{U}_{QK,3}$ wirkt (Gl. 7-11 bis 7-13).

$$\begin{bmatrix}
 (\underline{Z}_{\text{Netz } a, v} + \underline{Z}_{\text{Vorb.}, v}) & -\underline{Z}_{\text{Vorb.}, v} & 0 & 0 \\
 -\underline{Z}_{\text{Vorb.}, v} & (\underline{Z}_{\text{Netz } b, v} + \underline{Z}_{K 1, v}) & -\underline{Z}_{K 2, v} & 0 \\
 0 & -\underline{Z}_{K 2, v} & (\underline{Z}_{K 1, v} + \underline{Z}_{K 2, v}) & -\underline{Z}_{K 2, v} \\
 0 & 0 & -\underline{Z}_{K 2, v} & (\underline{Z}_{K 1, v} + \underline{Z}_{K 2, v})
 \end{bmatrix}
 *
 \begin{bmatrix}
 I_{a 1,2,3..5, v} \\
 I_{b 1,2,3..5, v} \\
 I_{c 1,2,3..5, v} \\
 I_{d 1,2,3..5, v}
 \end{bmatrix}
 \quad (7-11)$$

= Erg.vekt. 1	= Erg.vekt. 2	= Erg.vekt. 3	= Erg.vekt. 4	= Erg.vektor 5
$\underline{U}_Q \text{ Erz.}, v$	$-\underline{U}_Q \text{ Vorb.}, v$	0	0	0
0	$\underline{U}_Q \text{ Vorb.}, v$	$-\underline{U}_Q \text{ Kunde } 1, v$	0	0
0	0	$\underline{U}_Q \text{ Kunde } 1, v$	$-\underline{U}_Q \text{ Kunde } 2., v$	0
0	0	0	$\underline{U}_Q \text{ Kunde } 2., v$	0 / $-\underline{U}_Q \text{ Kunde } 3, v$



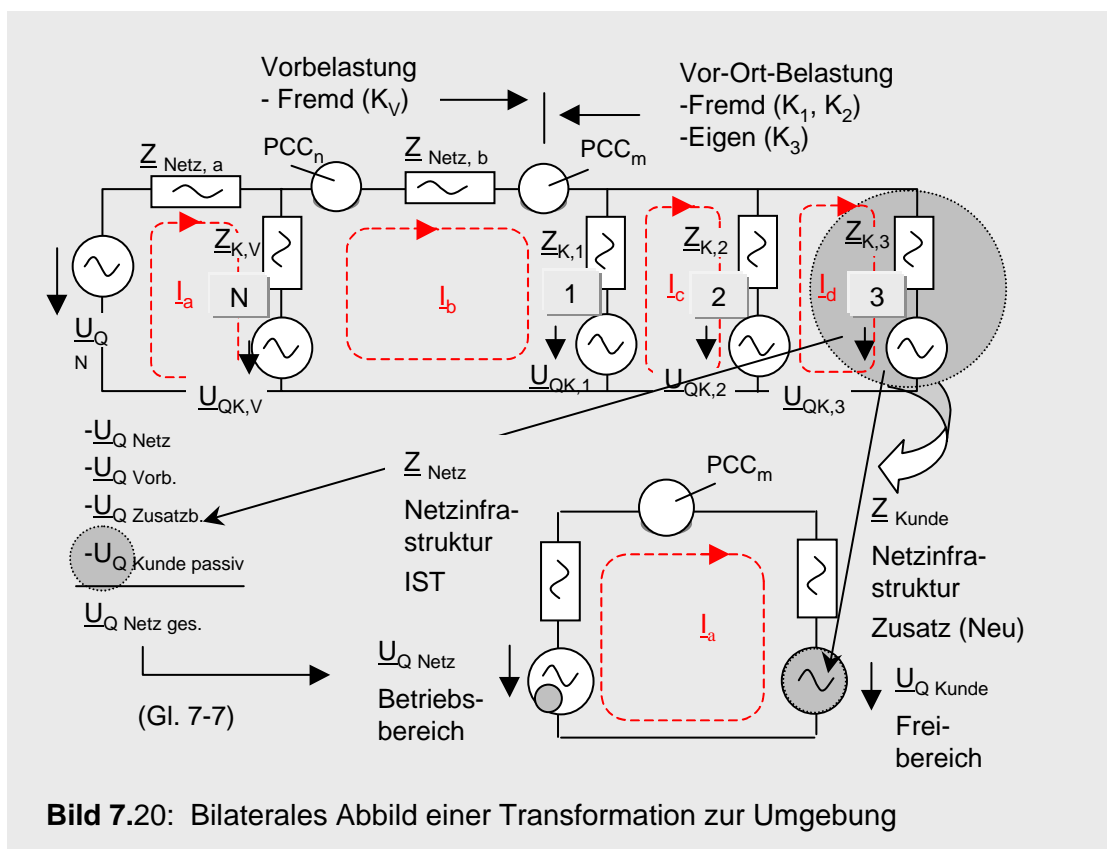
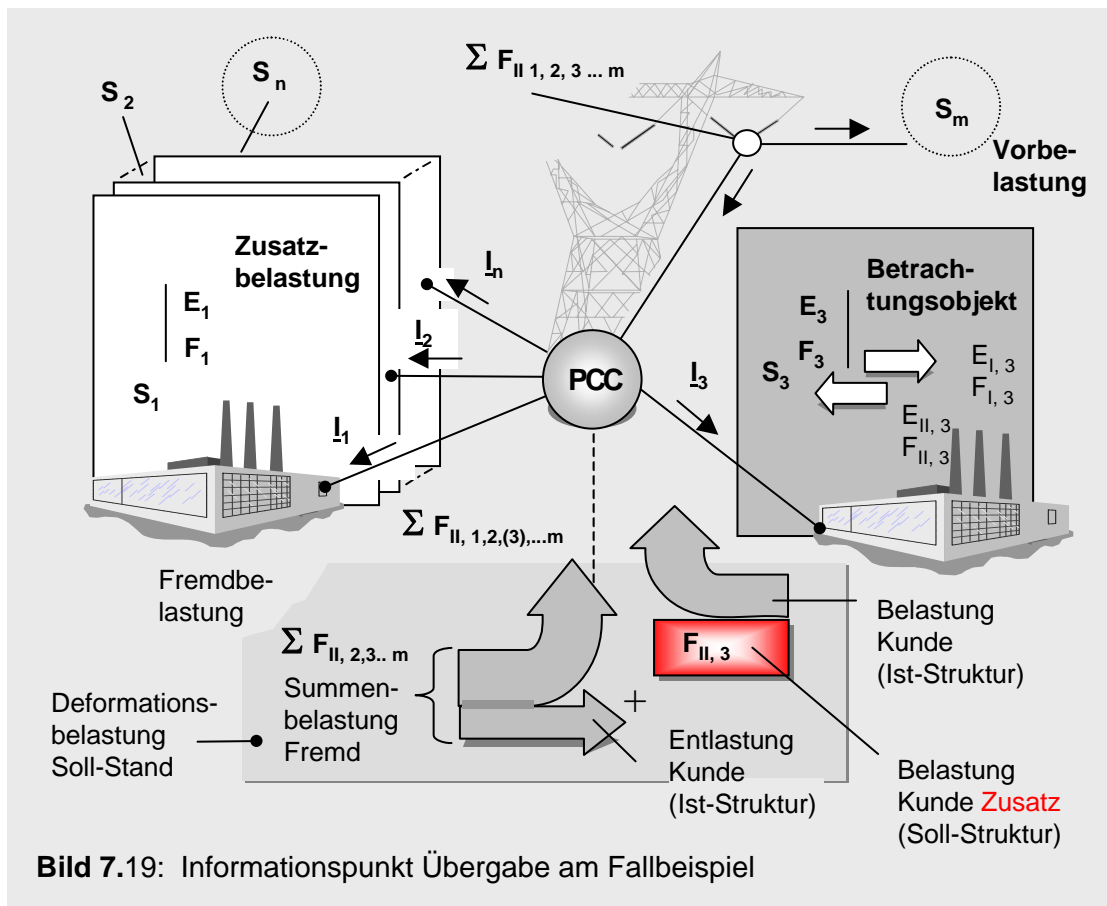
(7-12)

(7-13)

7.2.3.2 Wandlung für die Praxis

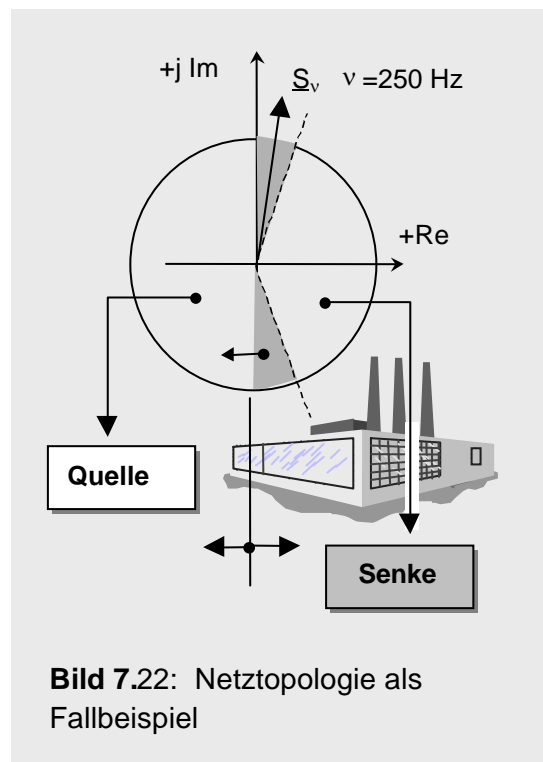
Im Zeichen der Absicherung notwendiger Qualitäten am Produkt EE der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer gilt es das Umfeld im Sinne seiner Splittung in Vor- und Zusatzbelastung als Grenzgröße eines verfügbaren Freiraumes abzubilden. Ergänzend zur allgemeingültigen Vorgehensweise nach Abschnitt 7.2.3.1 stellt hier die Praxis weitere Möglichkeiten einer Vereinfachung bereit. So nutzt beispielsweise Bild 7.19 gebündelte Informationsinhalte der Vor- und Zusatzbelastung, in dem diese in ihrer resultierenden Wirkung am Netzknotenpunkt ganzheitlich gespiegelt werden. Es entsteht statt einem multilateralen Abbild einer Lastgröße vom und zum Beobachtungsobjekt (Netzkunde) ein bilaterales Bild, bestehend aus passiven und aktiven Größen einer Leistungsnutzung über den Nutzungspunkt hinweg. Als Transformation zur Umgebung bildet sie in ihrem Kern die gesuchte Trennung der Belastung des Kunden durch das Netz als Wirkung und der Belastung des Netzes durch den Kunden als Rückwirkung gleichwertig nach.

Eine Vereinfachung im Sinne einer Wandlung für die Praxis heißt hier noch lange nicht ein ungenaueres Ergebnis zu akzeptieren, sondern nutzt Vorgaben und Randwerte aus dem direkten Umfeld heraus. Als Vorgabe einer Schnittstelle zwischen Maschine (Beispiel: Steuerwellenfertigung) und Elektroenergieversorgungsnetz (Bei-



z.B. aus Referenzmessungen für die Quellgrößenzuweisung benutzt werden, ist darauf zu achten, dass die Quellgrößenangabe beispielhaft bei der Generierung einer Ersatzspannungsquelle das gemessene Störungsbild (Teilspektren der Harmonischen) dem Störer auch richtig zuordnet. Hier benutzt man die unter Abschnitt 3.4, Bild 3.18, definierte Zuordnung im VZS und generiert die Leistung in der zu betrachtenden Quellscheibe v . Das Verbraucher- und Erzeugersystem teilt den Produktvektor hierbei in Quelle und Senke. Das ist praktisch, hat aber einen Haken. Bei mehr als einem Netznutzer bildet sich die am Knotenpunkt messtechnisch erfassbare Spannungsgröße aus der Summe aller dort wirkenden Quellenspannungen. Ist am Netzknoten mehr als eine Quelle aktiv, dann kommt es zu Indifferenzen in der Aussage zwischen dem objektorientierten Messstrom der Einzelquelle und dem sich aus dem resultierenden Summenstrom der Quellenobjekte 1..x sich abbildenden Spannungszeiger.

Der Autor benutzt in einer derartigen Situation den Part des Stromzeigers passiver Objekte. Der aus der Quelle (Ersatzspannungsquelle am PCC) zum passiven Objekt sich abbildende Laststrom wird in seiner Leistungsaussage korrekt wiedergegeben. Dieses nutzt man aus um die Trennung zwischen Quelle und Senke über die Abfrage zur Senke vorzugeben. Doch liegt die aus Knotenspannung und Zweigstrom gebildete Leistung in einem Bereich um den Wendepunkt ($\alpha = 180^\circ / 270^\circ$) ist Vorsicht geboten. Grenzfälle sind denkbar, bei denen unter gewissen Winkeln des Stromzeigers in Kombination mit dem Spannungszeiger die Quelle auch als Senke interpretiert werden kann. Da der Übergang im Grenzbereich als fließend zu betrachten ist, ist in einem gewissen Toleranzbereich, Bild 7.22, der Grenzbereich einer Vorzugsrichtung zuzuordnen. Am Beispiel der 250 Hz-Leistungs-Schwingung ($\nu = 5$), Bild 7.22, wird dieser im Grenzbereich liegende Vektor vorzugsweise der Quelle zugeordnet.



7.2.3.3 Wertebildung in der Praxis

Unter gewisser Voraussetzung ist es notwendig die in Abschnitt 7.2.3.1 und 7.2.3.2 als gegeben vorausgesetzte Impedanz des Netzes am Knotenpunkt spezifiziert zu ermitteln. Für die Bestimmung der Impedanz des Netzes gibt es mehrere Möglichkeiten. Punkt 1: es besteht die Möglichkeit die Netzimpedanz über die primären Bildner der Impedanz, und zwar der Infrastruktur des Versorgungsnetzes zu berechnen. In diesem Fall besitzen die örtlichen Elektrizitätsversorger in der Regel brauchbare Werte. Punkt 2: es kann die Netzimpedanz auch am Netzanschlusspunkt des Netzkunden messtechnisch bestimmt werden. Ein entsprechendes Verfahren wird von der TU-Dresden von Hr. Prof. Dr.-Ing. P. Schlegner in der Zeitschrift Elektrik /40/ für die Mittel- und Hochspannungsebene vorgestellt. Für den Bereich der Niederspannungsebene sind Messsysteme, wie z.B. das Gerätesystem Panensa mic 11 der Fa. Panensa (Schweiz) eine höchst interessante Alternative Netzimpedanzen zu ermitteln. Auf Basis eines definierten Laststromes (Netzbelastung: Laststrom in Stufen bis zu 600 Ampere einstellbar) wird hier der am Lastpunkt sich einstellende Spannungsprung gemessen und daraus die Impedanz berechnet. Um Verfälschungen durch Spannungsänderungseffekte Dritter im Lastzeitraum der Messung (Lastzeit: 5 Perioden) zu minimieren, erfolgt eine Impedanzermittlung durch Mittelwertbildung aus 10 Einzelmessungen. Ihre Streuung zueinander hat in einem gewissen Toleranzband zu liegen. Ist die Varianz der Streuung zwischen den 10 Einzelmessungen zu hoch, wird die Einzelmessung in der Summenmessung nicht bewertet. Nachteil dieser Methode ist, dass der Laststrom durch einen Lastwiderstand gebildet wird und das Lastergebnis den Lastsprung des ohmschen Verbrauchers, d.h. den Grundschwingungsbereich der Belastung widerspiegelt. Analog den Schritten aus Abschnitt 7.2.3.1.2 und 7.2.3.1.3 sind dort Impedanzwerte gefragt, die den Quellenanteil im Teilspektrum abbilden. Weiter sind Verfahren gefragt, die ohne zusätzliche Eingriffe in die Versorgungsstruktur das Impedanzverhalten darzustellen im Stande sind. Ein vom Autor dort eingesetztes Verfahren soll vorgestellt werden.

Verfahren zur Impedanzbildung an zwei Fallbeispielen:

Ausgangspunkt ist ein Netzwerk nach Bild 7.23. 2 Fälle werden analysiert. Im Fall 1 speist in den als Netzknoten „m“ (Bild 7.14, Abschnitt 7.2.3.1, PCC_m) bezeichneten Schnittstellenpunkt zwischen Kunde und Netz eine Quelle. Diese Quelle verkörpert die Ersatzstromquelle der Vorbelastung aus dem vorgelagerten Netzwerk

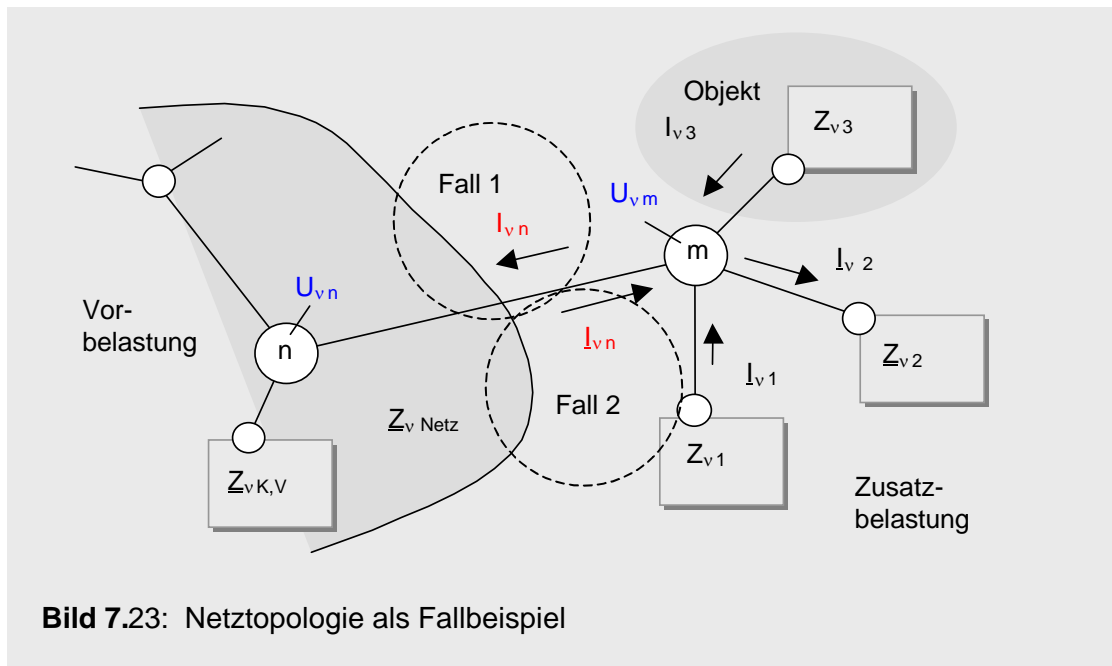



Bild 7.23: Netztopologie als Fallbeispiel

(Netzknoten „n“ / Bild 7.14, Abschnitt 7.2.3.1, PCC_n). Gegenüber dem Betrachtungsobjekt Kunde 3 wirkt die Belastung des Kunden 1 $I_{v,1}$ als Zusatzbelastung. Kunde 2 stellt mit seinem Störstrom $I_{v,2}$ ein passives Element dar. $Z_{v,K}$ steht für eine x-beliebige Impedanz eines Kunden am Netzknoten „n“, die gegenüber Knoten „m“ als Teil des Summennetzelementes $Z_{v,Netz}$ wirkt. Fall 2 übernimmt die Struktur von Fall 1, ändert jedoch die Flussrichtung der Stromquelle, d.h. vom Kunden in das Netz. Im vorliegenden Fall bildet sie gegenüber dem Knotenpunkt n statt einer Quelle jetzt eine Senke ab. Fall 1 und Fall 2 entsprechen in ihrem Grundmuster der gewählten allgemeinen Netzstruktur in Bild 7.14, Abschnitt 7.2.3.1. Für die gesuchten Impedanzen an und um den Netzknoten m gilt:

	Quellen zum Punkt	Senken zum Punkt	Bemerkung
Fall 1	$\underline{U}_{v,1} = I_{v,1} Z_{v,Netz} \parallel Z_{v,2} \parallel Z_{v,3}$ $\underline{U}_{v,3} = I_{v,1} Z_{v,Netz} \parallel Z_{v,1} \parallel Z_{v,2}$ $\underline{U}_{v,m} = \underline{U}_{v,1} + \underline{U}_{v,3}$	$\underline{U}_{v,m} = I_{v,n} Z_{v,Netz}$ $\underline{U}_{v,m} = I_{v,2} Z_{v,z}$	5 Gleichungen 6 Unbekannte
Fall 2	$\underline{U}_{v,n} = I_{v,n} Z_{v,1} \parallel Z_{v,2} \parallel Z_{v,3}$ $\underline{U}_{v,1} = I_{v,1} Z_{v,Netz} \parallel Z_{v,2} \parallel Z_{v,3}$ $\underline{U}_{v,3} = I_{v,3} Z_{v,Netz} \parallel Z_{v,1} \parallel Z_{v,2}$ $\underline{U}_{v,m} = \underline{U}_{v,n} + \underline{U}_{v,1} + \underline{U}_{v,3}$	<div style="text-align: center;">  </div> $\underline{U}_{v,m} = I_{v,2} Z_{v,z}$	5 Gleichungen 7 Unbekannte

(7-14)

5 unabhängige Gleichungen, bis zu 7 unbekannte -> so nicht lösbar, doch betrachtet man Informationsinhalte, die beispielsweise verbal, d.h. nicht in Zahlen zu fassen sind, ist das Gleichungssystem ohne große Abstriche an der Genauigkeit lösbar. Einer dieser Informationsinhalte bildet sich aus den Informationsinhalten der Ersatzstromquellen heraus. Setzt man im Fall 1 den Amplitudenwert des Störstromes I_{v1} und I_{v3} den daraus sich abbildenden Teilspannungspotentiale U_{v1} und U_{v3} gegenüber, entsteht das 6. Gleichungssystem. Für Fall 1 ist damit der Lösungsansatz im ausreichenden Umfang gegeben. Die Impedanzen Z_{v1} bis Z_{vNetz} sind bestimmbar. Bei Fall 2 nutzt man wie bei Fall 1 die Verhältnisse der Ersatzstromquellen I_{v1} , I_{v3} und I_{vNetz} .

	Quellen zum Punkt	Senken zum Punkt	Bemerkung
Fall 1	$\underline{U}_{v1} = I_{v1} Z_{vNetz} \parallel Z_{v2} \parallel Z_{v3}$ $\underline{U}_{v3} = I_{v3} Z_{vNetz} \parallel Z_{v1} \parallel Z_{v2}$ $\underline{U}_{vm} = \underline{U}_{v1} + \underline{U}_{v3}$ $U_{v1} : U_{v2} = I_{v1} : I_{v3}$	$\underline{U}_{vm} = I_{vn} Z_{vNetz}$ $\underline{U}_{vm} = I_{v2} Z_{vz}$	6 Gleichungen 6 Unbekannte
Fall 2	$\underline{U}_{vn} = I_{vn} Z_{v1} \parallel Z_{v2} \parallel Z_{v3}$ $\underline{U}_{v1} = I_{v1} Z_{vNetz} \parallel Z_{v2} \parallel Z_{v3}$ $\underline{U}_{v3} = I_{v3} Z_{vNetz} \parallel Z_{v1} \parallel Z_{v2}$ $\underline{U}_{vm} = \underline{U}_{vn} + \underline{U}_{v1} + \underline{U}_{v3}$ $U_{v1} : U_{v2} = I_{v1} : I_{v3} \quad / \quad U_{v1} : U_{vNetz} = I_{v1} : I_{vNetz}$	$\underline{U}_{vm} = I_{v2} Z_{vz}$	7 Gleichungen 7 Unbekannte (7-15)

8 Komponenten der Ausbreitung

8.1 Kopplungsarten allgemein

Die Ausbreitung von Störgrößen nach Abschnitt 2.3, d.h. die Störsignalübertragung selbst erfolgt leitungs- wie strahlungsgebunden. Von einer leitungsgebundenen Störsignalübertragung spricht man, wenn das Störsignal auf einer elektrischen Leitung von der Störquelle zur Störsenke übertragen wird. Eine strahlungsgebundene Störsignalübertragung liegt vor, wenn das Störsignal über den Raum von der Störquelle zur Störsenke übertragen wird. Diese Schematisierung ist für die messtechnische Überprüfung von EMV-Grenzwerten – bei der leitungsgebundenen Variante die der Elektroenergiequalität als Strom- und /oder Spannungssignal – gut geeignet. Für die EMV-Analyse von möglichen Beeinflussungen dagegen eignet es sich nur bedingt, denn Maschinen, Geräte und deren Verbindungsleitungen (Beispiel: Elektroenergieabnehmer am Elektroenergieversorgungsnetz) erzeugen elektromagnetische Felder, die dann wiederum in Maschinen, Geräten und Kabeln – weiteren Elektroenergieabnehmern am Elektroenergieversorgungsnetz einkoppeln. Nach Bild 8.1 gilt es spezifizierter zu unterscheiden in:

- galvanische Kopplung;
- kapazitive Kopplung;
- induktive Kopplung;
- elektromagnetische Kopplung.

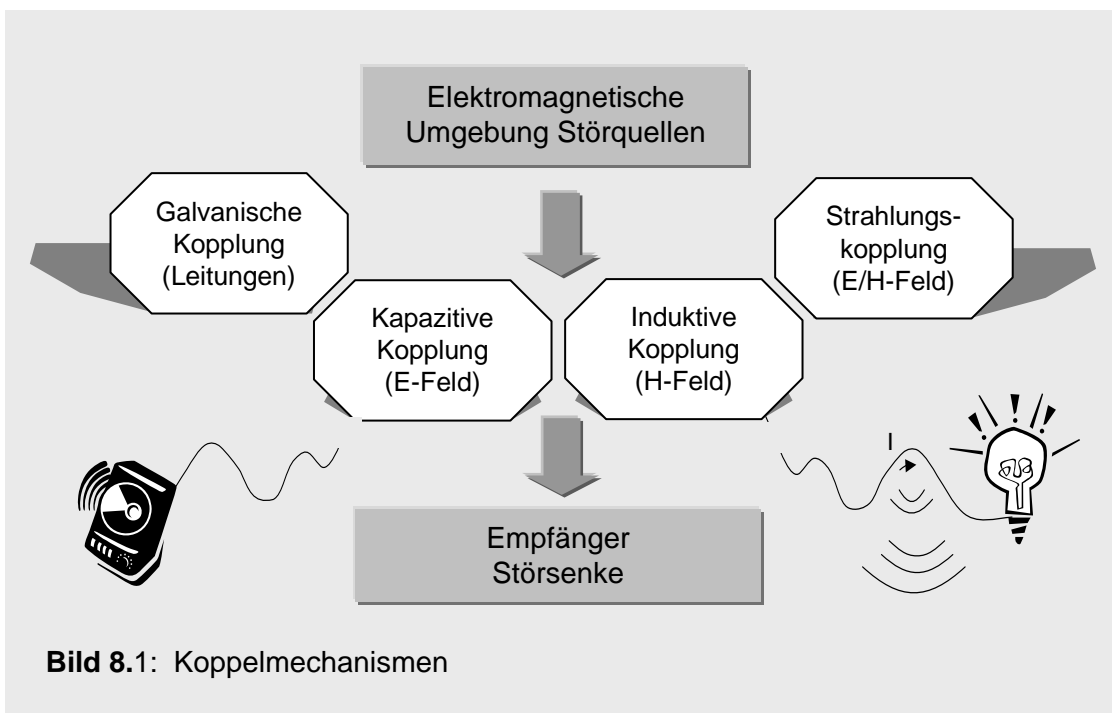


Bild 8.1: Koppelmechanismen

Das sich einstellende Werteabbild konkretisiert das geforderte Schutzziel der Anforderungen nach EMVG, Abschnitt 4.2, als Richtlinie und Rechtsvorschrift zugleich gegenüber den Bedingungen der Praxis. Als Element der Modellbildung ist die Kopplung zur Umgebung vor allem zu sehen unter Aspekten, wie:

- der Anordnung von Maschine und Gerät (Elektroenergieabnehmer);
- dem Aufbau der Energie- (Elektroenergieversorgungsnetz), Erd-, Daten- und Kommunikationsleitung;
- der Topologie der Versorgung.

Die Wirkung zum Umfeld, d.h. die Aktion der Quelle gegenüber der Reaktion der Senke ist breitgefächert. Das, abgesehen von der Spannungs- und Versorgungsunterbrechung in Abschnitt 2.3.2 aufgeführte spezifische Störphänomen, ist nicht nur auf das störende oder das gestörte Netzwerkgebilde im EES beschränkt. Es kontaminiert am Beispiel Elektroenergieversorgungsnetz auch andere Netzebenen, wie Erdungsnetz, Kommunikations- oder Datennetz. Bei der Sicherstellung der Sicherheit und Funktionalität gegenüber Personen und Prozessen sind alle elektrotechnischen Schnittstellen gleichrangig, d.h. gleichwertig zu betrachten. Doch die Praxis zeigt, dass gerade das elektromagnetische Umfeld in ihrer Varianz von- und zueinander (Aufbau, Verlegung, Anschluss, etc.) das Übersprechen auf Systeme, wie die der Erdung, der Kommunikation und Datentechnik, Bild 8.2, entscheidend mit prägt.

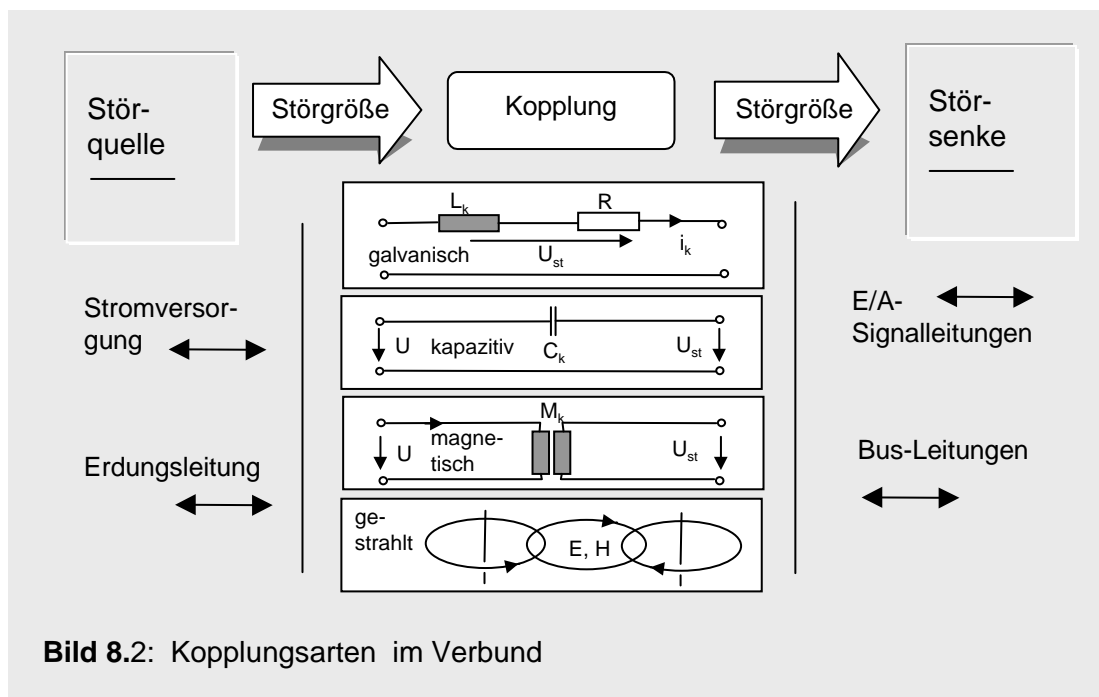


Bild 8.2: Kopplungsarten im Verbund

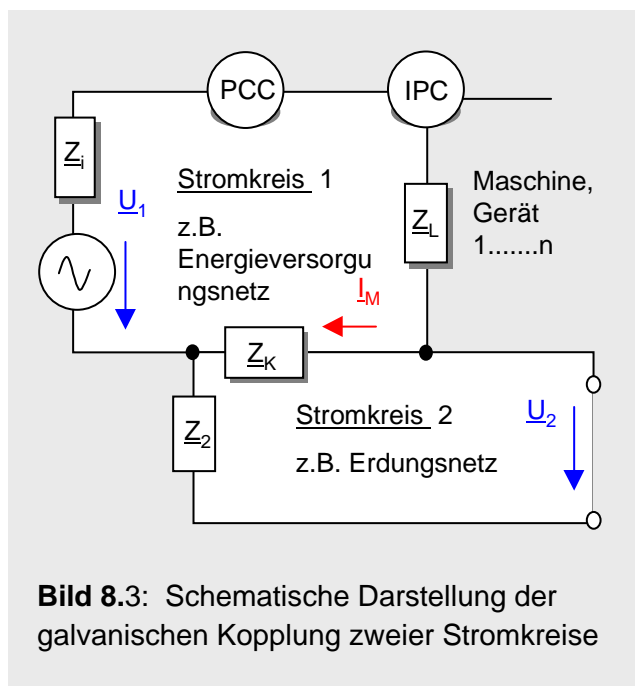
8.2 Kopplungsarten spezifisch

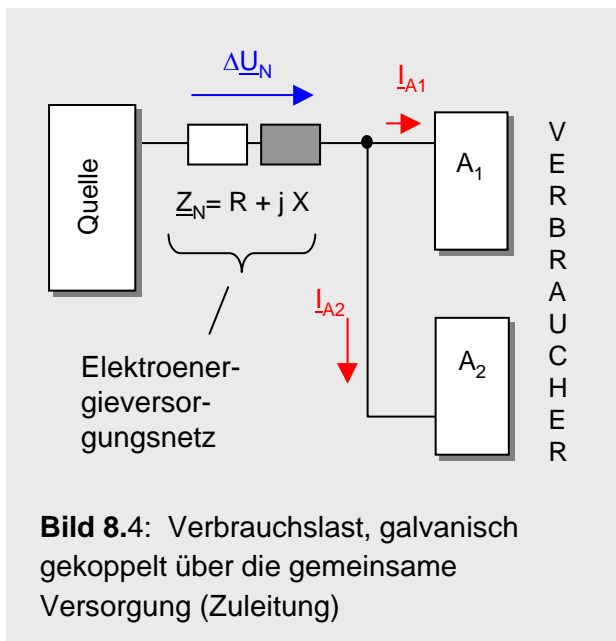
8.2.1 Galvanische Kopplung

Galvanische Kopplung entsteht immer dann, wenn zu verschiedenen Stromkreisen gemeinsame Leitungsabschnitte (Beispiel: Phasenleiter gegenüber Neutralleiter, Erdungs- und/oder Masseleiter) gehören. Bild 8.3 zeigt die schematisierte Darstellung der galvanischen Kopplung zweier Stromkreise. Bezogen auf den Kopplungsfall am Beispiel zwischen Elektroenergieversorgungs- und Erdungsnetz eines 4-Leiter Drehstromnetzes ist der gemeinsame Kopplungszweig hier die Zwangsverbindung zwischen Nullleiter und Schutzleiter, d.h. Masse-, bzw. Erdungsleitung. Bild 8.3 kennzeichnet den Koppelmechanismus der galvanischen Kopplung mit \underline{Z}_k , das Ergebnis als eingekoppelte Spannung, beispielsweise im Kreis 2, mit \underline{U}_2 . Sie ist das Ergebnis der Quellenspannung \underline{U}_1 im Nullsystem, hervorgerufen durch den Strom im Mittelpunktsleiter. Nicht nur bei unsymmetrischen Elektroenergieversorgungsnetzen, Abschnitt 7.2.2.2, tritt dieser Effekt bei 4-Leiter-Netzsystemen auf, sondern auch bei symmetrischen Netzgebilden, Abschnitt 7.2.2.1, deren Nullsystem durch entsprechende harmonische Schwingungsbestandteile der Ordnungszahl $\nu = 3, 6, 9, 12, 15$, etc. gebildet wird. Der Koppelmechanismus ist immer bipolar zu sehen. So kann eine Einkopplung gelegentlich auch aus der galvanischen Kopplung von Kreis 2 nach Kreis 1 erfolgen. Für die Störspannung \underline{U}_2 im beeinflussten Kreis gilt:

$$\underline{U}_2 = \frac{\underline{U}_1}{\underline{Z}_i + \underline{Z}_L + \underline{Z}_K} \underline{Z}_K \quad (8-1)$$

In der Praxis zeigt die Koppelimpedanz das Verhalten der Serienschaltung einer Induktivität mit einem ohmschen Widerstand. Man kann somit nicht von einer rein galvanischen Kopplung sprechen. Es ist stets von einer Kombination ohmscher und induktiver Anteile im Elektrizitätsversorgungsnetz auszugehen.





Eine Kopplung der ganz besonderen Art ist die in Bild 8.4 dargestellte galvanische Kopplung über, bzw. durch die Verbrauchslast allgemeiner Stromversorgungssysteme in 2-, 3-, 4- oder 5-Leiter-Netztechnik. Der dort gezeigte Fall ist an jeder (Gebäude-)Versorgung mit mehr als einem Abnehmer anzutreffen. Zwei elektrische Verbraucher allgemeiner Art, bezeichnet in Bild 8.4 als A_1 und A_2 , werden über eine gemeinsame Quelle oder ein

spezifisches Netz mit dem Produkt EE versorgt. Je nach Quellenansatz kann es sich um ein Drehstromnetz, Wechselstrom aber auch ein Gleichstromnetz handeln. Am Beispiel des Drehstromnetzes sei die Quelle ein Transformator, der das Spannungsniveau vorgibt. Wird durch die Funktionseinheit A_1 eine Laststromänderung hervorgerufen, so erzeugt dieser Spannungsfall an den von A_1 und A_2 gemeinsamen genutzten Impedanzen des Netzes Z_N , in Bild 8.4 als Zuleitung der Verbraucher zur Quelle dargestellt. Die vom Einzelgerät jeweils getrennt hervorgerufene, und an der gemeinsamen Versorgungsleitung zusammengeführte Schwankung der Versorgungsspannung, z.B. als langsame und schnelle Spannungsänderung, letzteres am Beispiel Schweißmaschinen mit Mehrpunktschweißung, Abschnitt 5.3.1, bereits hervorgehoben, kann je nach Empfindlichkeit der Maschine, respektive des Gerätes zur Fehlfunktion im Prozess oder am Produkt führen.

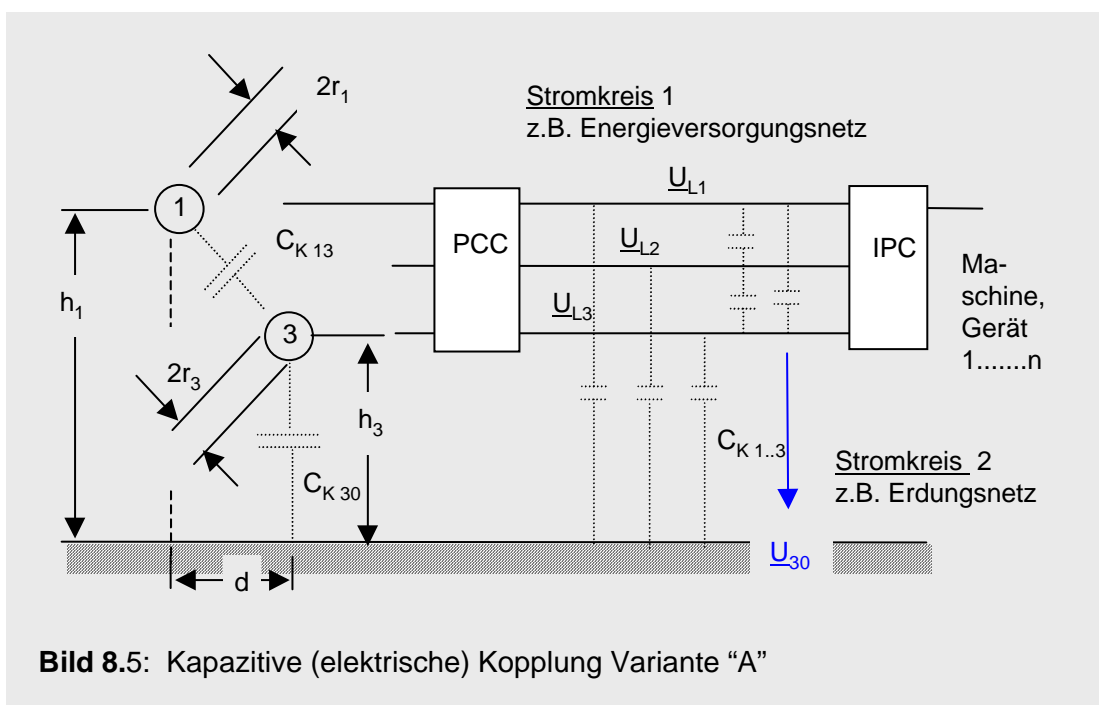
Um derartigen Problemsituationen beim Betrieb wirkungsvoller entgegenzuwirken, reicht es bei der Fixierung der Schnittstelle nicht mehr nur aus die zu installierende Funktionseinheit alleine zu betrachten, sondern es gilt das Gesamtregime aller Verbraucher mit- und zueinander ins Verhältnis zu setzen. Zur Bestimmung der Netzbelastung am Netzanschlusspunkt (Schnittstelle zwischen den Elektroenergieversorgern als Summe und dem Elektroenergieversorgungsnetz) bedeutet dieses die strikte Einbeziehung physikalischer Umgebungs- und Betriebsbedingungen in den Planungshorizont (strategische und/oder operativ) einer Maßnahme.

8.2.2 Kapazitive Kopplung

Kapazitive oder elektrische Kopplung tritt zwischen Stromkreisen auf, deren Leiter sich auf verschiedenen Potentialebenen befinden. Infolge der Potentialdifferenz herrscht zwischen den Leitern ein elektrisches Feld das im Ersatzschaltbild als Koppelkapazität C_K bezeichnet wird. Unter der Annahme quasistatischer Verhältnisse bildet die Koppelkapazität ein, von der Leitergeometrie, dem Abstand der Leitungen, und dem Medium zwischen den Leitungen, abhängiger Wert (Bild 8.5). Gerade der Abstand und das Medium, bereits am Beispiel Abschnitt 6.3.1.3 thematisiert auf die Umgebung bei Freileitungen oder erdverlegten Leitungen, hat auf die Größe der Koppelkapazität (C_K Freileitung $\ll C_K$ Erdleitung) einen entscheidenden Einfluss. Betrachtet man das in Bild 8.5 konstruierte Gebilde eines Mehrleitersystems der Elektroenergieübertragung, z.B. in Form einer Freileitung im Mittel- oder Hochspannungsbereich, so ergibt sich beispielsweise die von Leiter L1 auf Leiter L3 kapazitiv eingekoppelte Spannung für den Leiter 3 zu:

$$U_3 = U_1 \frac{\ln \frac{r'_{13}}{r_{13}}}{\ln \frac{2h'_1}{r_1}} \quad U_3 = \frac{C_{K13}}{C_{K13} + C_{K30}} U_{L1}$$

$$r_{13} = \sqrt{(h_1 - h_3)^2 + d^2} \quad r'_{13} = \sqrt{(h_1 + h_3)^2 + d^2} \quad (8-2)$$



$$C_{30} = \frac{2 \pi \varepsilon l}{\ln \frac{2h_3}{r_3} - \ln \frac{r'_{13}}{r_{13}}} \quad (8-3)$$

$$C_{30} = 2 \pi \varepsilon l \frac{1}{\ln \frac{2h_3}{r_3} - \ln \frac{2h_1}{r_1} - \ln \frac{2h_3}{r_3} + \ln \frac{r'_{13}}{r_{13}}}$$

Die Bestimmung der Schnittstelle zwischen dem Elektroenergieversorgungsnetz und dem Elektroenergieabnehmer (Maschine, Gerät) bedingt auch die Betrachtung von Effekten der kapazitiven Signaleinkopplung auf benachbarte Versorgungsstrukturen, mit voneinander differenzierenden Potentialebenen. In Kommunikations- Steuer- und Messleitungen treten im Umfeld des Autors (operativer Feldeinsatz) vermehrt Störphänomene durch kapazitive Störgrößeneinkopplungen nach Schema Bild 8.6 auf. Vor allem komplexe Prozessmaschinen, wie Motoren- und Getriebeprüfstände, Messmaschinen zur Qualitätssicherung zeigen hier verstärkt Risiken gegenüber der Funktionalität von Teilsystemen (steuern, erfassen, messen, bewerten, analysieren, darstellen). Hier bildet der Einkoppelwert gegenüber dem in der modernen Leistungselektronik relativ niederem Nutzsignalpegel einen nicht zu unterschätzenden Additionsanteil, gesehen vor allem bei analogen Messsignalen.

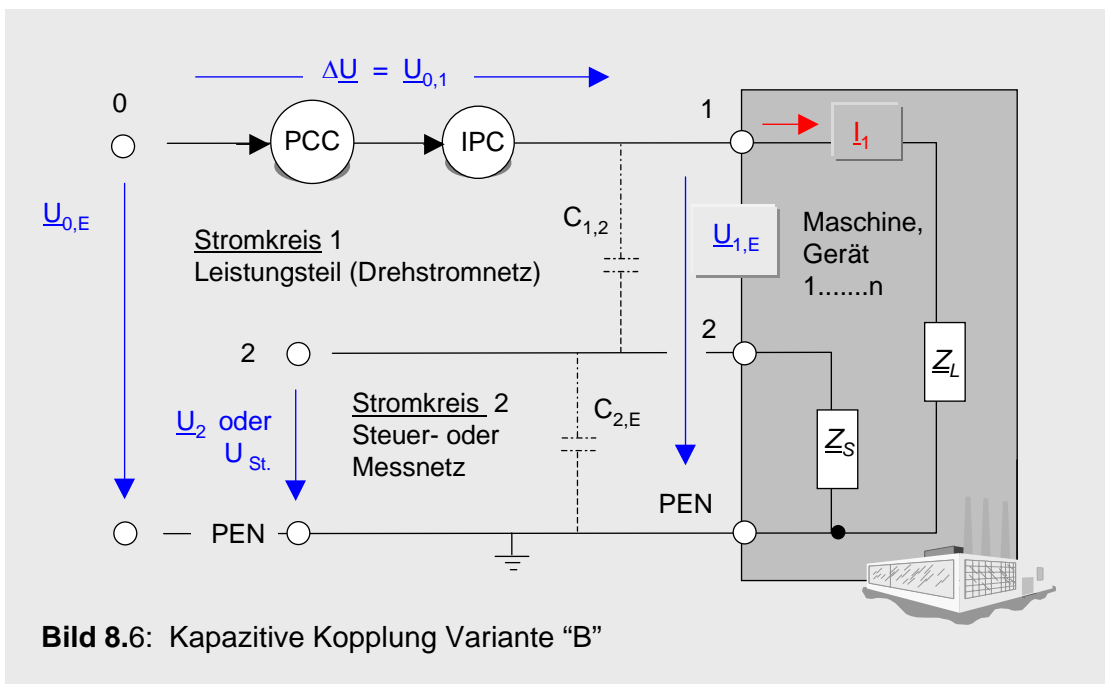


Bild 8.6: Kapazitive Kopplung Variante "B"

Die Betrachtung der Schnittstelle nach Bild 8.6, gesehen vor allem unter den Aspekten der physikalischen Umgebungs- und Betriebsbedingung des dort als Beispiel eingetragenen Steuer- und/oder Messnetzes, entspricht dem GANZHEITLICHEN Austauschgebilde nach der Definition der DIN EN 60204-1 (Abschnitt 4.3.1 – Schutzziel Elektrik). Sie wirkt über alle Schnittstellen einer Maschine, eines Gerätes hinweg. Die im Bild 8.6 dazu repräsentativ dargestellten Koppelpfade zwischen den Phasenleitern, bezeichnet als $C_{1,2}$ und dem Neutraleiter-Erde-System (PEN) $C_{1,E}$, $C_{2,E}$ repräsentieren deren Teilkoppelgrößen. Je nach Einkopplungseffekt, beispielhaft dort dargestellt als Einkopplung der Spannungsdifferenz eines störenden Systems (System 1, Elektroenergieversorgungsnetz des Elektroenergieversorgers Maschine 1 bis n) in ein System 2, entsteht das Verhältnis von Störquellenspannung (Netzspannung im Elektroenergieversorgungsnetz) $\underline{U}_{1,E}$ zur eingekoppelten Spannung am System 2 ($\underline{U}_2 = \underline{U}_{\text{Störung}} = \underline{U}_{\text{St}}$) zu:

$$\frac{\underline{U}_{1,E}}{\underline{U}_{\text{St}}} = \frac{1 / j\omega C_{1,2} + \underline{Z}_S / (1 + j\omega \underline{Z}_S C_{2,E})}{\underline{Z}_S / (1 + j\omega \underline{Z}_S C_{2,E})} \quad (8-4)$$

Hier wird die Lasteinheit im Leitungskreis 2 als passive Komponenten mit dem Innenwiderstand \underline{Z}_S betrachtet. Bezogen auf den Stromkreis 2 (Bild 4-6: z.B. Steuer- oder Messnetz) wirkt die Komponente $C_{1,2}$ und $C_{2,E} \parallel \underline{Z}_S$ als frequenzabhängiger Spannungsteiler. In einem, gegenüber den Streuimpedanzen niederohmig angelegten Steuer oder Messnetz (System 2) gilt: $Z_S \ll 1 / \omega C_{2,E}$. Eingesetzt in Gl. 8-4 entsteht das vereinfachte Spannungsteilerverhältnis von Störquellenspannung zur eingekoppelten Störspannung nach Gl. 8-5. Mit $Z_S \ll 1 / \omega C_{1,2}$ erfolgt gegenüber Gl. 8-5 eine weitere Vereinfachung der Betrachtung um die eingekoppelte Störspannung $\underline{U}_{\text{st}}$ zu Gl. 8-6 (eingekoppelte Störspannung im Frequenzbereich), bzw. Gl. 8-7 (eingekoppelte Störspannung im Zeitbereich).

$$\frac{\underline{U}_{1,E}}{\underline{U}_{\text{St}}} = \frac{1 / j\omega C_{1,2} + \underline{Z}_S}{\underline{Z}_S} \gg 1 \quad (8-5)$$

$$\underline{U}_{\text{St}}(\omega) = \underline{U}_{1,E} j\omega C_{1,2} \underline{Z}_S \quad (8-6)$$

$$u_{\text{St}}(t) = i_{\text{St}}(t) \underline{Z}_S = C_{1,2} \underline{Z}_S \frac{du_{1,E}(t)}{dt} \quad (8-7)$$

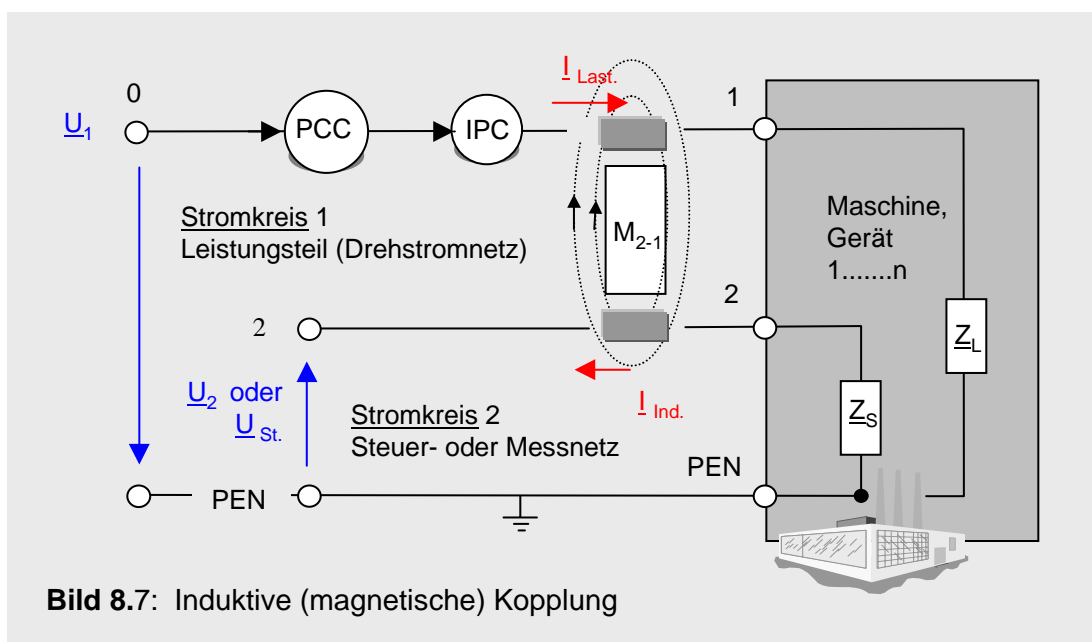
8.2.3 Induktive Kopplung

Die induktive Kopplung tritt, wie ihr kapazitives Abbild, zwischen zwei oder mehreren Leiterschleifen auf. Entgegen dem Prinzip der kapazitiven Kopplung entsteht die Einkopplung auf Basis des sich zeitlich ändernden Belastungsstromes. Der Einfluss des Kunden in seinem Lastbild ist hier allgegenwärtig, d.h. Bezugskundenorientiert. Nach dem Induktionsgesetz ist die einkoppelnde Störspannung dem Produkt aus Windungsfläche – d.h. aus Leitern des gestörten Stromkreises – und der zeitlichen Änderung der mit der Windungsfläche verketteten Flussdichte proportional. Die so nach Bild 8.8 vom Stromkreis 1 in den Stromkreis 2 induzierte Störspannung (Quellenspannung im Kreis 2) kann über die Gegeninduktivität \underline{M}_{2-1} als Koppelimpedanz berechnet werden. So zu sehen als magnetische Streukopplung \underline{M}_K zwischen störendem und gestörtem Kreis bildet sie die induzierte Störspannung zu:

$$\underline{U}_{St}(\omega) = \underline{I}_1(\omega) j\omega \underline{M}_{2-1} \quad (8-8)$$

$$u_{St}(t) = \frac{di_1(t)}{dt} M_{2-1} \quad (8-9)$$

Analog der kapazitiven Kopplung steigt auch bei der induktiven Kopplungsart die induzierte Störspannung mit zunehmender Frequenz des Nutzsignals an. Zusätzlich geprägt wird das Gebilde durch die Tatsache, dass der THD des Laststromes gegenüber dem der Lastspannung (kapazitive Kopplung) in der Regel einen weit aus höheren Störpegel aufweist (im Umfeld des Autors: Faktor 10 bis 15, je nach Impedanz des Netzes).



8.2.4 Elektromagnetische Kopplung

Die in Abschnitt 8.2.1 bis 8.2.3 behandelten Mechanismen der Beeinflussung durch galvanische, kapazitive und induktive Kopplung gelten unter der Voraussetzung, dass die Wellenlänge λ der sich bildenden Größe des Stör- oder Betriebssignals (Periodenzeit: z.B. Nutzsignal der Elektroenergieversorgung in Spannung und/oder Strom) ein mehrfaches der Länge der Systemabmessung (Netz- oder Kabellänge) beträgt. Die Vernachlässigung der Laufzeit der elektrischen Größen im beeinflussenden und beeinflussten Kreis, d.h. die Systemabmessung gegenüber der Störfrequenz ist im Elektroenergieversorgungsnetz hoch. In diesem Fall bleibt die Störauswirkung leitungsgebunden. Tritt eine Verschiebung einer der beiden Kenngrößen auf (Störfrequenz oder Systemabmessung), z.B. innerhalb der Anordnung im Schaltschrank, entsteht eine zusätzliche Kopplung, und zwar eine Kopplung über die Wellenausbreitung im Raum. Bezeichnet wird diese Ausbreitungsart als elektromagnetische Kopplung oder kurz Feldkopplung.

Nach Fourier, Abschnitt 2.3.2.8, ist die Kopplungsgröße die aus der Signalgröße bildbare periodische Teilfrequenz. Vor allem Störimpulse mit hohen Anstiegszeiten bilden Frequenzbestandteile nur bis in den MHz-Bereich ab. Gekennzeichnet durch die Arbeits- oder Störfrequenz tritt das Problem der Wellenbeeinflussung vor allem beim elektrischen Leitungsnetz der modernen Informationstechnik in Erscheinung. Durch ihre kurz gehaltenen Wege, so zu sehen von der Erfassung bis zur Verarbeitung, ist schnell eine kritische Leitungslänge gegeben. Tabelle 4-1 /46/ zeigt in diesem Zusammenhang den Einflussbereich zwischen Störfrequenz und kritischer Leitungslänge, ab der mit Phänomenen der elektromagnetischen Kopplung zu rechnen ist.

Gerätetechnik	Arbeitsfrequenz	Schaltzeit	Höchste Störfrequenz	Kritische Leitungslänge
Analogtechnik	1...100 kHz	-----	100 kHz	300 m
Digitaltechnik - langsam	10 kHz	10 μ s	35 kHz	800 m
- mittelschnell	500 kHz	0,5 μ s	700 kHz	40 m
- schnell	20 MHz	5 ns	70 MHz	40 cm
- schnell	100 MHz	1 ns	350 MHz	8 cm

Tabelle 8-1: Kritische Leitungslänge bei Wellenbeeinflussung

Tabelle 8-1 konstituiert: Ab Störfrequenzen im MHz-Bereich sind Modelle der Betrachtung erforderlich, die den Sachverhalt der Strahlung mit in die Betrachtung einbeziehen. Sie bildet dann den Part der feldbezogenen Kopplung ab, der äquivalent der unter Abschnitt 4.2.2 und 4.2.3 im quasistationären Umgebungsfeld einer elektrischen oder magnetischen Feldkopplung zur Wirkung kommt. Als Ursache der Strahlungskopplung ist die elektromagnetische Welle anzusehen, die sich von Stromkreisen der Elektrotechnik (Energie- und Datentechnik) ablösen, und mit Lichtgeschwindigkeit ($c = 300000 \text{ km/s}$) sich im Raum ausbreiten. Zwischen Wellenlänge λ und (Stör-)Frequenz f besteht die Beziehung nach Gl. 8-10:

$$\lambda = c / f \quad (8-10)$$

$$E_o / H_o = \mathbf{Z} = \sqrt{\mu_o / \varepsilon_o} \quad (8-11)$$

$$\mu_o / \varepsilon_o \quad 377 \Omega$$

Das Strahlungsfeld ist durch die elektrische Feldstärke E_o und die magnetische Feldstärke H_o gekennzeichnet. Beide Größen sind gerichtet und stehen senkrecht aufeinander. In der Nähe der Störquelle (Nahfeld: $x \ll \lambda/2\pi$) überwiegt entweder E_o oder H_o . Die elektrische Feldstärke E_o – ausgelöst durch die Spannung $U_{Information}$ – tritt dann in den Vordergrund, wenn die Quelle hohe Spannungen und relativ geringe Ströme führt. H_o wird zur Primärquelle bei hohen Strömen und relativ geringen Spannungen. Die durch die räumliche Nähe (Nahfeld) in Stromkreisen verursachten Beeinflussungen sind analog den Abschnitten 8.2.2 und 8.2.3 zu behandeln. Im Fernfeld ($x \gg \lambda/2\pi$) sind die Verhältnisse anders. Hier besteht zwischen den Beiträgen zur Störeinkopplung von E_o und H_o eine feste Beziehung (Gl. 8-11). Bezeichnet als Wellenwiderstand interpretiert er den Leistungsaustausch zwischen sich beeinflussenden Netzwerken, d.h. einer Quelle gegenüber einer Senke. Unter dem Aspekt der Bestimmung der Schnittstelle zwischen Maschine und Elektroenergieversorgungsnetz tritt hier das technische Ausmaß der Abmaße (km-Bereich) in den Vordergrund. Elektromagnetische Beeinflussungen durch kurzweilige Phänomene sind dort gering. Doch elektromagnetische Beeinflussungen sind in der Wechselwirkung der Infrastruktur innerhalb der Maschine, des Gerätes stets vorhanden. Vor allem die Nutzung moderner Digitaltechnik, eingebunden in die Kombination gesteuerter Bauteile mit hohen Anstiegs- oder Abfallzeiten im energetischen Steuerteil, ist prädestiniert derartige Störeinkopplungen hervorzubringen. Hier zählt das Funktionsmodell der Übertragung als EMV-Modell der Bedingung zur Umgebung.

9 Funktionsmodell

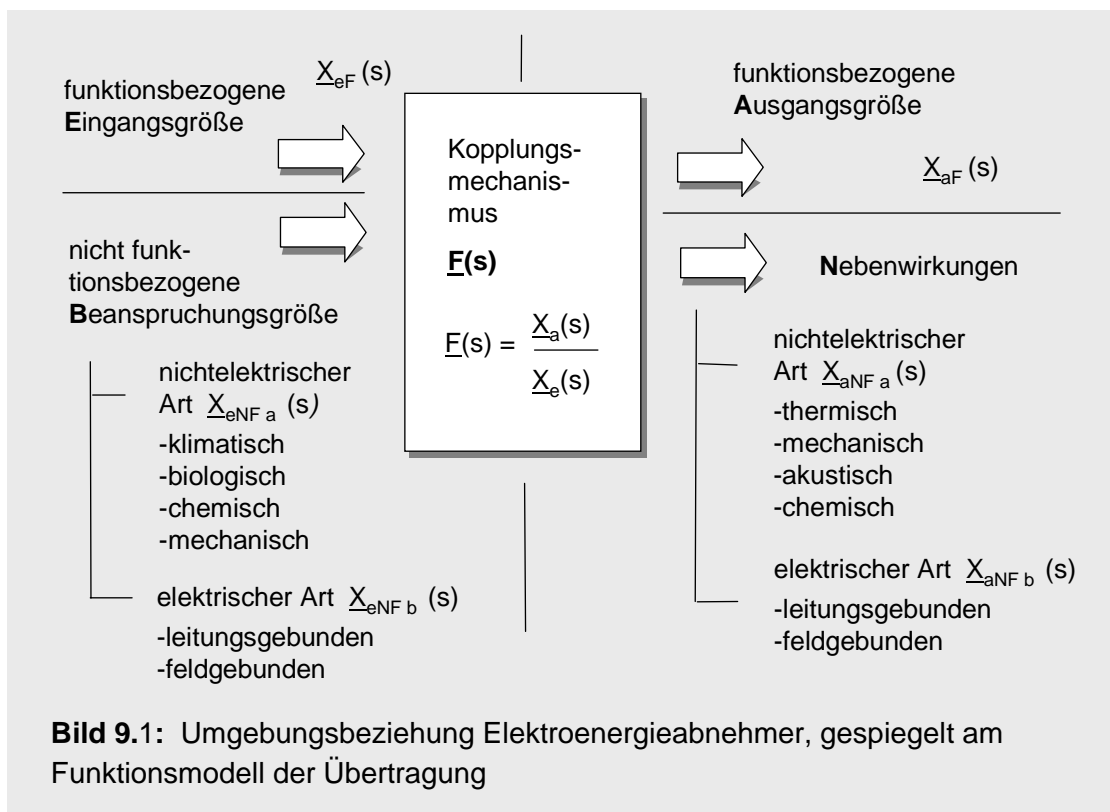
9.1 EMV-Modell der Übertragung

Im EMV-Modell der Übertragung kann die Wirkung elektromagnetischer Größen auf Maschinen und Geräte (Elektroenergieabnehmer am Elektroenergieversorgungsnetz) technisch nachgebildet werden. Gekennzeichnet wird das Zusammenwirken im EMV-Modell in der Regel durch äußerst komplexe Vorgänge. So setzt die Charakterisierung der Elektroenergiequalität im EES nicht nur deren Kenngröße gegenüber dem Eingangskreis des Elektroenergieabnehmers voraus, sondern auch das Verhalten im Bezug der Ausbreitung über den, bzw. die jeweiligen Koppelweg(e) hinweg. Bei der Absicherung notwendiger Qualitäten am Produkt EE gegenüber der Maschine, dem Gerät ist es deshalb um so wichtiger die Störquellen, Abschnitt 2.3.2, als spezifisches Störphänomen in ihrer Funktionalität zum zu darzustellenden Prozess, respektive Produkt kenntlich zu machen. Hier gilt es vor allem die funktionskritische Beeinflussung aus dem Gesamtgebilde so herauszulösen, so dass eine Kenntlichmachung der Übertragungsfunktion $\underline{F}(s)$ zwischen der Eingangsgröße EE und der Ausgangsgröße Fertigungsprodukt zu Stande kommt. In der vorliegenden Dissertation erfolgt dazu eine Transformation elektrotechnischer Kenngrößen in Kenngrößen der allgemeingültigen Funktionsbetrachtung.

Definition:

- $\underline{F}(s)$: Übertragungsfunktion, entspricht der Wirkung und Rückwirkung eines Elektroenergieabnehmers zwischen dem Medium EE und dem Fertigungsprodukt.
- $\underline{X}_e(s)$: Eingangsgröße des Funktionsmodells. $\underline{X}_e(s)$ entspricht der Kenngröße der EE als Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer.
- $\underline{X}_a(s)$: Ausgangsgröße des Funktionsmodells. $\underline{X}_a(s)$ entspricht der Reaktion des Elektroenergieabnehmers auf die Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zum Elektroenergieversorgungsnetz gegenüber dem dort darzustellenden Prozess oder Produkt.
- Index: E, F, NF, V, VN, R, RN, RG, D, P sind die Flexionsformen der Ein- und Ausgangsgrößen in der weiteren Abhandlung des Funktionsmodells.

Der Gültigkeitsbereich elektromagnetischer Beeinflussung in Industrie, Gewerbe und Handel umfasst alle Reaktionen eines Funktionselements (Elektroenergieabnehmer: Maschine, Gerät) das in Kombination zum Umfeld (Standort des Elektroenergieabnehmers) mit dem Elektroenergieversorgungs-, dem Erdungs- oder dem Datennetz, um nur einige Netztypen zu benennen, entstehen kann. Darauf aufbauen beschreibt Bild 9.1 die Umgebungsbeziehung am Funktionselement Elektroenergieabnehmer, so zu sehen als Blockschaltbild zwischen Eingangs- $\underline{X}_a(s)$ und Ausgangsgröße $\underline{X}_e(s)$, beispielsweise gespiegelt an funktionsbezogenen Eingangs- und Ausgangsgrößen (Index: F), und nicht funktionsbezogene Eingangs- und Ausgangsgrößen (Index: NF). Index $NF a$ und $NF b$ zeigt dem Betrachter, dass die Signalgrößen am Eingang der Funktionseinheit eine nichtelektrische (Index: $NF a$) und/oder eine elektrische (Index: $NF b$) Störgröße darstellen vermag. Zur Vervollständigung der Übertragungsbeziehung am Funktionselement, Bild 9.1, zergliedert der Autor die elektrische Eingangsgröße nichtfunktionaler Art (Störphänomen allgemein, Abschnitt 2.3.1), in die Teilgrößen der leitungs- und der feldgebundenen Kenngröße. Analog der Bezeichnung zu „nichtfunktionsbezogener Beanspruchung“ am Eingangskreis, spricht man am Ausgangskreis von „Nebenwirkungen“. Nebenwirkungen sind die nichtfunktionsbezogenen Reaktionen des Elektroenergieabnehmers am Prozess oder am Produkt.



9.1.1 Signalflussplan

Der Signalflussplan umschreibt den Wirkungsbereich getrennt als funktions- und nichtfunktionsbezogener Grenzgröße. Sein Wirkungshorizont im Bereich der Eingangsgröße $\underline{X}_e(s)$ [funktionsbezogen \underline{X}_{eF} und nichtfunktionsbezogen $\underline{X}_{eNF}(s)$] teilt die Übertragungsfunktion $\underline{F}(s)$, Bild 9.1, Abschnitt 9.1, in die beiden Funktionsbereiche $\underline{F}_1(s)$ und $\underline{F}_2(s)$, Bild 9.2. $\underline{F}_1(s)$ steht für die beabsichtigte Funktionsgröße am Beispiel des zu betrachtenden Elektroenergieabnehmers, $\underline{F}_2(s)$ für die unbeabsichtigte Funktionsgröße. Für die Beschreibung der Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer ist hier die unbeabsichtigte Funktionsgröße, d.h. $\underline{F}_2(s)$ von höchstem Interesse.

Da die Funktionsumschreibung einer Anlage, die Funktionsschwerpunkte der Senke und die der Quelle mit zu reproduzieren hat, ist seine Funktionsweise zweigeteilt zu betrachten. Bild 9.2 dokumentiert dieses als vorwärts- und rückwärtsgerichtete Randgröße. $\underline{F}_V(s)$ die vorwärtsgerichtete elektrotechnische Rahmengröße des technologischen Prozesses enthält alle Kenngrößen die den elektroenergetischen Wandlungsprozess als Senke umschreibt. $\underline{F}_R(s)$ umschreibt die, aus dem technologischen Wandlungsprozess heraus sich generierende Störgröße der Störquelle zum Netz. Der als Störquelle anzusehende Rückkopplungszweig stellt das Summenmaß aller nicht-linearen und/oder nichtstationären Betriebscharakteristika einer Maschine oder eines

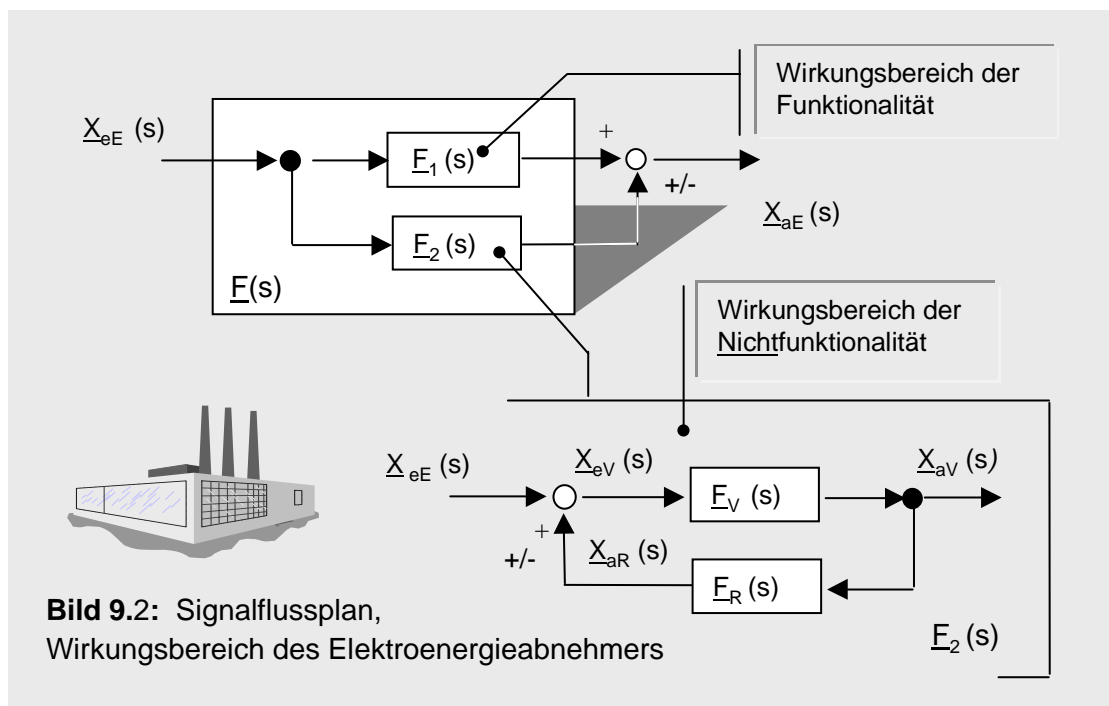
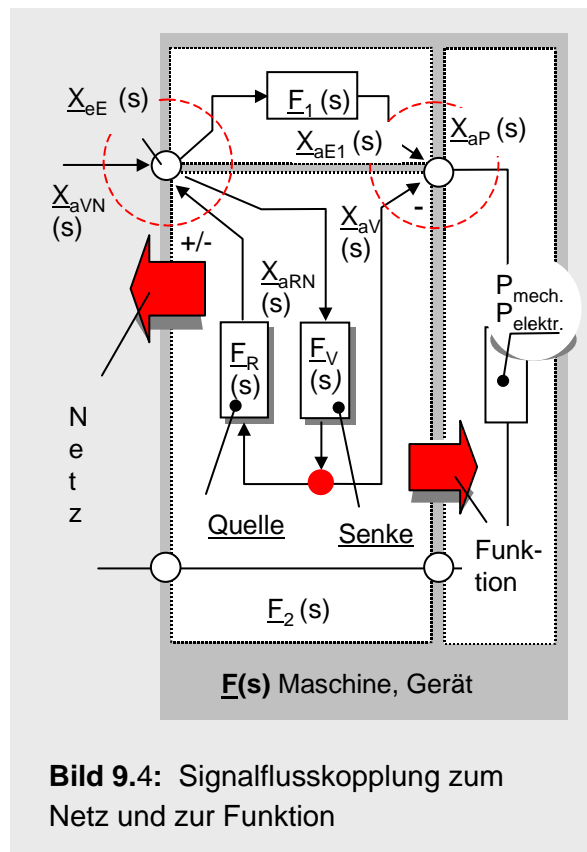


Bild 9.2: Signalflussplan, Wirkungsbereich des Elektroenergieabnehmers

Je nach Phasenlage der Eingangsgröße des Netzes gegenüber der Ausgangsgröße der Funktionseinheit (Maschine, Gerät) entsteht aus dem beidseitigen Immissionsverhalten die resultierende Emission $\underline{X}_{eE}(s)$. Bezeichnet als Störsummengröße der Fremd- und Eigenstörung ist ihr Emissionsergebnis als Ersatzspannungsquelle durch die Phasenlage der Teilergebnisse (Fremdstörung Netz, Eigenstörung Anlage) mitbestimmt. Gekennzeichnet an der Additionsstelle mit dem Verknüpfungsvorzeichen ist das Gesamtergebnis stets kleiner, im Ausnahmefall gleich der algebraischen Summation.

9.1.2 Signalflusskopplung

Nach Abschnitt 9.1.1 erfolgt die Signalflusskopplung zum zu beschreibenden Versorgungsnetz über die geometrische Summation der Störgrößenvektoren des Speiseweiges (Versorgungsnetz $\underline{X}_{eN}(s)$) und des, als Quelle handzuhabenden Rückführungszweiges $\underline{X}_{aRN}(s)$ zum Summationssignal $\underline{X}_{eE}(s)$. Sie stellt die gesuchte Schnittstellengröße als Indikator von Merkmalen einer Spannung dar. Bild 9.4 markiert diesen Punkt auf der linken Bildseite mit einem roten gestrichelten Kreis. Zum besseren Verständnis gegenüber den jeweiligen Ausgangsgrößen am Eingangselement des Summierers am Netzanschlusspunkt ist auch gegenüber dem Quellgrößenanteil der Vorbelastung aus dem Netz heraus von einer Ausgangsgröße $\underline{X}_{aVN}(s)$ zu sprechen. Der als Senke im Vorwärtszweig der Maschine oder des Gerätes definierte Funktionsbildner der nichtfunktionsbezogenen Größe $\underline{F}_V(s)$ beeinflusst mit seinem Ergebnis aus der elektromagnetischen Umgebung heraus den Verzweigungspunkt (Bild 9.4, rot markierter Punkt) zum Prozess und zum Netz. Beidseitig wirkend als Endergebnis einer, an der



Senke verbleibenden Vorbelastung ist sein Funktionsergebnis $\underline{X}_{av}(s)$ die jeweilige Ausgangsquelle der nachgeschalteten Funktionsebene. Neben der Additionsstelle zum Netz entsteht die Additionsstelle zum Prozess. Das Summationsgebilde Prozess $\underline{X}_P(s)$ (Bild 9.4, rot gestichelter Kreis auf der rechten Bildseite) entscheidet durch die Funktionsüberlagerung zwischen \underline{E}_1 als $\underline{X}_{aE1}(s)$ und \underline{E}_2 als $\underline{X}_{av}(s)$ und gibt Auskunft über die Funktionsqualität der Anlage. Im Grunde kennzeichnet das Funktionsergebnis $\underline{X}_P(s)$, Bild 9.4, das Wirkleistungsereignis primär der elektrischen Form und sekundär über den Prozess, bzw. das Produkt, im vorliegenden Fall die der mechanischen Form, bezeichnet in Bild 9.4 als $P_{mech.}$, $P_{elektr.}$. Dieses Wirkungsergebnis einer Wirkungsebene zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Funktionalität des Elektroenergieabnehmers ist zusehen als Gesamtheit der, auf Grund des Mediums EE sich abbildendem Störphänomen auf der mechanischen und auf der elektrischen Seite. Als Störphänomenbetrachtung zum Netz (leitungsgebundene elektrische Größe, Abschnitt 2.3.2.1 bis 2.3.2.8) bildet sich die Differenz zwischen GUT- und SCHLECHT, so gesehen z.B. gegenüber einem dort gefertigten Produkt.

Eine Markierung der Grenzbelastung im Sinne der Elektroenergiequalität am Schnittpunkt zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer entsteht, und ergänzt in seiner Deutung die Aussage Bild 2.21, Abschnitt 2.3.4.2, bei der das Funktionsschema einer Schnittstelle aus der zu erzielenden Produktqualität heraus abzuleiten ist. Dort bereits als Forderung gegenüber der Maschine, dem Prozess, dem Netz, bis hin zum Erzeuger als Kette einer Verpflichtung darlegbar, steht als Verpflichtung zur EMV nach EMVG die dort zu erwartenden Betriebspegel im Netz als Funktionselement der Nutzung gegenüber dem Grenzpegel am Produkt zu spiegeln. Für die Beschreibung der Signalflusskopplung hat deshalb zu gelten:

$$\underline{X}_{av}(s) = \underline{E}_V(s) [\underline{X}_{aVN}(s) (+/-) \underline{X}_{aRN}(s)] \quad (9-1)$$

$$\left. \begin{array}{l} \underline{X}_{av}(s) = \underline{E}_V(s) [\underline{X}_{aVN}(s) (+/-) \underline{X}_{av}(s) \underline{E}_R(s)] \\ \underline{X}_{av}(s) [1 (-/+) \underline{E}_V(s) \underline{E}_R(s)] = \underline{E}_V(s) \underline{X}_{aVN}(s) \end{array} \right\} \quad (9-2)$$

$$\underline{E}_2(s) = \frac{\underline{X}_{av}(s)}{\underline{X}_e(s) = \underline{X}_{aVN}(s)} = \frac{\underline{E}_V(s)}{1 (-/+) \underline{E}_V(s) \underline{E}_R(s)} \quad (9-3)$$

$$\boxed{[\underline{E}_{RN}(s) + \underline{E}_{RG}(s)]} \quad \begin{array}{c} \longleftarrow \\ \uparrow \end{array}$$

$$\underline{E}(s) = \underline{E}_1(s) - \underline{E}_2(s)$$

$$\underline{E}(s) = \underline{E}_1(s) - \frac{\underline{E}_V(s)}{1 \text{ (-/+)} F_V(s) [F_{RN}(s) + F_{RG}(s)]}$$

↑

Funktionsbezogene Größe

↑

Nichtfunktionsbezogene Größe (**Störgröße**)

(9-4)

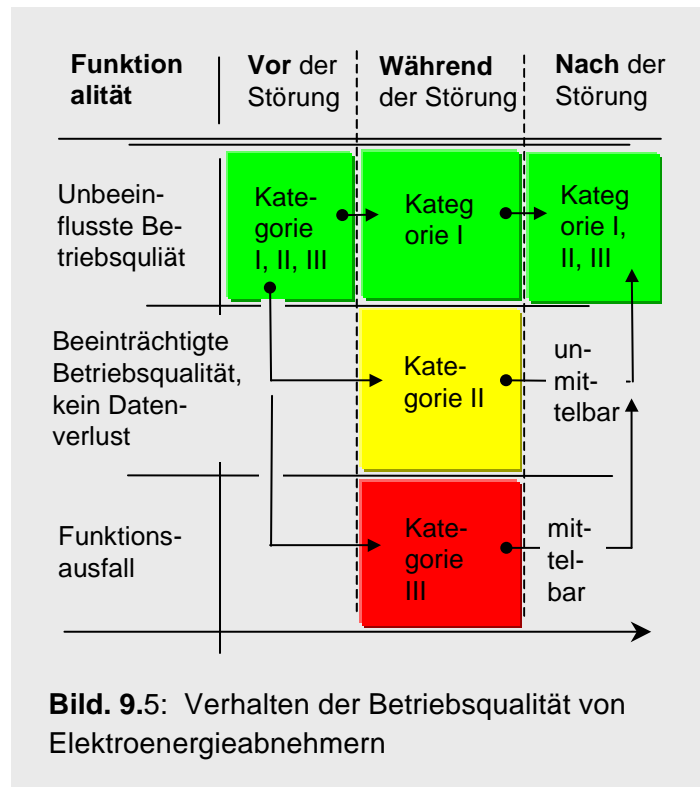
Je nach Verknüpfungsvorzeichen am Summationspunkt von $\underline{X}_{aVN}(s)$ und $\underline{X}_{aRN}(s)$ der Gleichung 9-1, spricht man bei Addition („+“ Verknüpfung) von Mitkopplung, bei Subtraktion („-“ Verknüpfung) von Gegenkopplung. Zu beachten ist, dass durch die Umformung in Gleichung 9-2 das Minuszeichen für die Mitkopplung, und das Pluszeichen für die Gegenkopplung zu gelten hat.

9.2 Methodik am Objekt

Die Methodik der Umsetzung am Objekt wird meist vom Objekt selbst bestimmt. Fertigungstoleranzen, technisch-physikalische Anordnungen, Beschaltungen und Betriebsweisen stellen hier die Anforderungen an die Signalflusskopplung primär dar. Gerade die Wirkung und Rückwirkung der im Elektroenergieabnehmer verbauten Bauteile und Komponenten spiegelt über das individuelle Ergebnis am Ausgangskreis der Funktionseinheit Elektroenergieabnehmer die Kenndaten an den Eingangskreis (Schnittstelle zum Elektroenergieversorgungsnetz) als Grenzgrößen der dort bereitzustellenden Elektroenergiequalität im EES.

Mit in die Betrachtung einzubeziehen ist vor allem der an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer sich bildende summarische Effekt aus einer endlichen Anzahl von Elektroenergieabnehmern, Abschnitt 7.2.3. Die dort zu erwartenden Reaktionen sind auf Grund ihrer teils stochastisch kumulativen Art meist eher von sprunghafter als von schleichender Natur. Gegenüber Gl. 9-4, Abschnitt 9.1.2, zeigt sich, dass das nichtfunktionsbezogene Störgrößenverhalten in der Signalflusskopplung der Komponenten nach Bild 9.4, Abschnitt 9.1.2, im Moment noch kein differentes Verhalten von Elektroenergieabnehmern konkretisieren kann.

Ein solch differentes Verhalten ist beispielsweise die Abweichung des Elektroenergieabnehmers (Maschine, Gerät) vom Normzustand. Hier unterscheidet man die Reaktion bei der Störgrößeneinwirkung $F_2(s)$ auf die der Funktionalität vor, während und nach dem Störeintritt. Im vorliegenden Fall als Kategorisierung der Störeinwirkung bezeichnet, prägt die dort in Bild 9.5 als Beispiel hinterlegte Funktionalitätsmarge das gewünschte, bzw. akzeptierte Verhaltensmuster beim Nutzer.



Momentan unterteilt in drei Fallsituationen, kann die Art und Weise der Beeinflussung der Elektroenergiequalität des Elektroenergieversorgungsnetzes auf die Funktionalität des Elektroenergieabnehmers jederzeit um weitere Kategorisierungen ergänzt werden.

Fall 1 / Kategorie I: **Während und nach dem Störfall** muss das Signalelement des dem Funktionsentscheider (Stromversorgung, Signalleitung, Potentialausgleich, etc.) nachgeordneten Betriebselements (Antrieb, Steuerung, etc.) bestimmungsgemäß arbeiten. Es darf keine Beeinträchtigung des Betriebsverhaltens auftreten. Ein Funktionsausfall unterhalb der vom Hersteller beschriebenen minimalen Betriebsqualität ist auszuschließen

Fall 2 / Kategorie II: **Nach dem Störfall** muss das Betriebsmittel weiterhin bestimmungsgemäß arbeiten. Es darf keine Beeinträchtigung des Betriebsverhaltens oder kein Funktionsverlust unterhalb der vom Hersteller beschriebenen minimalen Betriebsqualität sich einstellen. **Während des Störfalls** ist jedoch eine Beeinträchtigung des Betriebsverhaltens erlaubt. Eine Änderung der eingestellten Betriebsart oder Verlust von gespeicherten Daten ist jedoch nicht erlaubt.

Fall 3 / Kategorie III: *Innerhalb des Störfalls* ist ein zeitweiliger Funktionsausfall erlaubt. **Nach** dem Störfall kann die Funktion sich selbst wieder herstellen oder die Funktion kann durch Betätigung der Einstell- / Bedienelemente wiederhergestellt werden.

9.2.1 Funktionsentscheider

Erweitert man die Kategoriebildung am Beispiel der Matrize nach Bild 9.6 entsteht ein Raster des Bedarfs. Es ergänzt die Aussage des Netzanschlusses als Qualitätsanschluss aus Abschnitt 2.3.4.1, Tabelle 2-9 und 2-10, jetzt aber gesteuert durch das

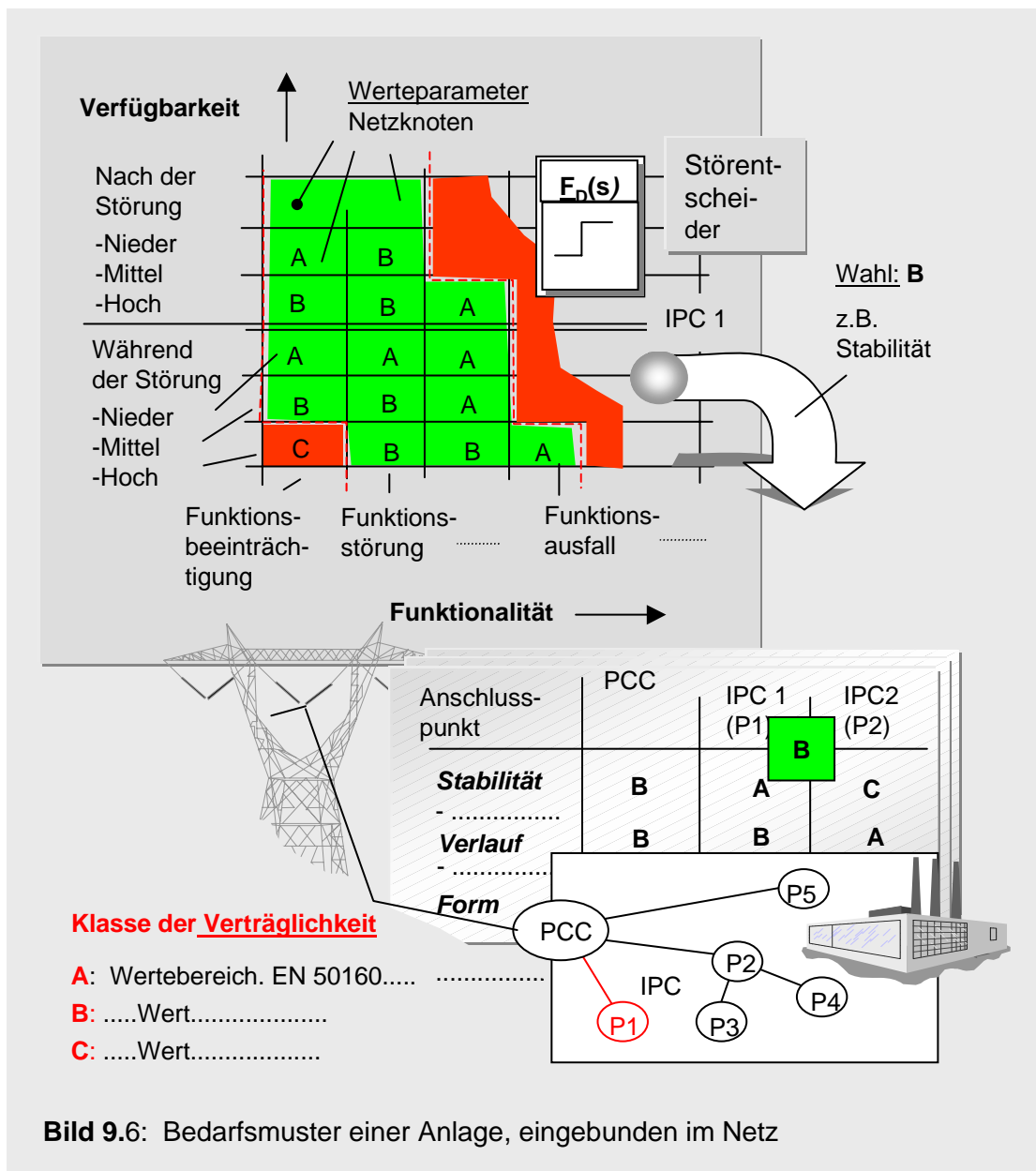


Bild 9.6: Bedarfsmuster einer Anlage, eingebunden im Netz

Anforderungsprofil zum Prozess. Konkrete Werte entstehen eingebunden in Werteparameter einer Spannung, die gegenüber der Verfügbarkeit einer Anlage (Bild 9.6, y-Achse) nach einem Kataster der Reaktion (Bild 9.6, x-Achse: Funktionalität) gebildet wird. Das entsprechende Antwortverhalten wird als Werteparameter einer Merkmalkette der Spannung in Form, Verlauf und Stabilität katalogisiert. Ihr Wertemuster teilt die Netzqualität in Stufen des Bedarfs, vorzugsweise ausgerichtet an Qualitätsabstufungen gemäß Abschnitt 2.3.4.1, so zu sehen als Qualitätsindex der Versorgung mit Kennbuchstabe A bis C, genutzt als Führungsgröße für den Betrieb (Betreiber- oder Nutzerkonzept) nach Abschnitt 5.3.3.

Zurückkommend zur Methodik am Objekt kann derartiges nur durch Einbindung einer entsprechenden Entscheiderlogik in Form eines Störentscheiders abgebildet werden. Der Störentscheider dient zur Darstellung einer gewissen Sprunghaftigkeit im Entwicklungsbild der Funktionalität und der Sicherheit an der Maschine. Als Funktionsindikator im Sinne der Qualitätsdarstellung zwischen Verfügbarkeit über Funktionalität gegenüber der Schnittstelle Elektroenergieversorgungsnetz ist er im Modell der EMV-Verträglichkeitsbildner. Die in Bild 9.6 dargestellte Matrize ist lediglich ein Beispiel das die Transformationsanforderung zur mechanischen oder elektrischen Funktion einer Produktionseinrichtung in Stufen der Belastbarkeit (Belastung der Maschine durch das Elektroenergieversorgungsnetz) darstellen vermag. Im Zuge der dazu not-

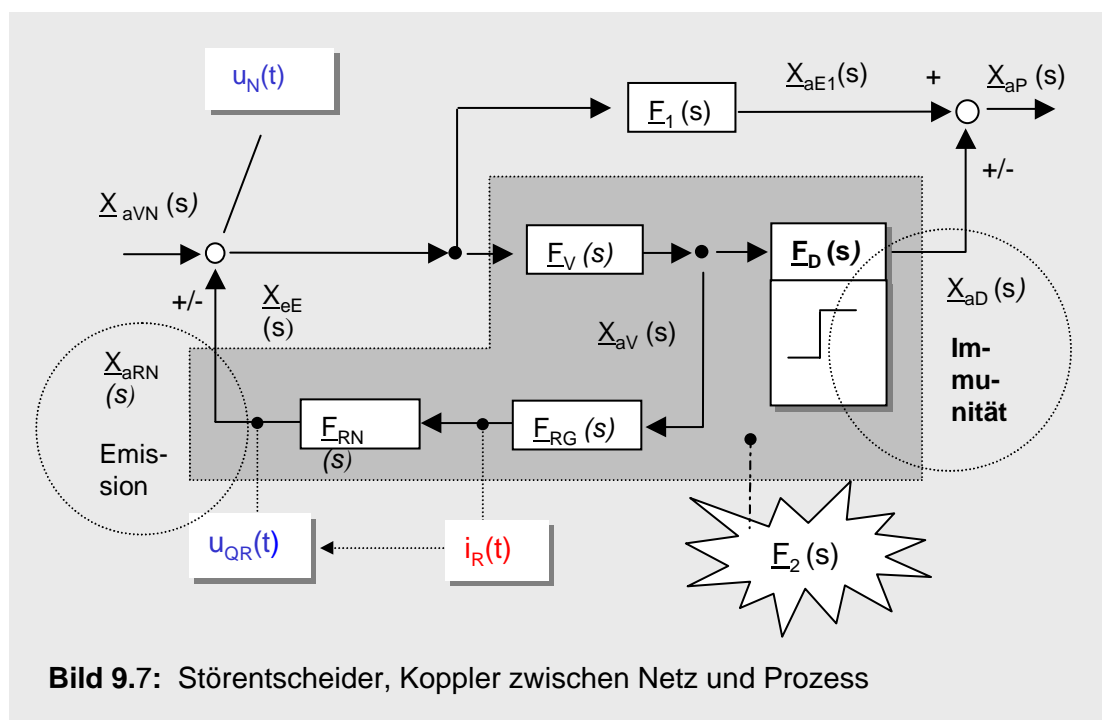
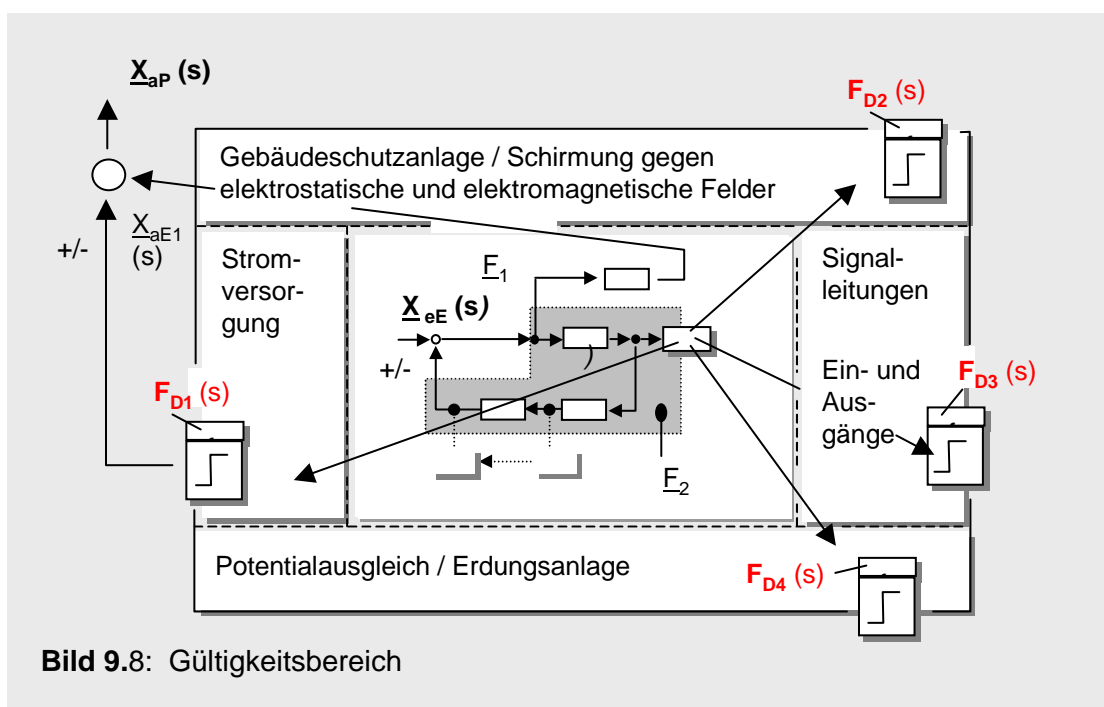


Bild 9.7: Störentscheider, Koppler zwischen Netz und Prozess

wendigen Logik zeigt Bild 9.7 die Einbindung des Funktionsentscheiders aus Sicht des Autors. Seine Ausgangsgröße $\underline{X}_{aD}(s)$ stellt gegenüber dem Anlageneinzel- oder -summengebilde (Einzelmaschine oder zu Gruppen zusammengefasste Maschinen), die Immunität gegenüber den Netzkenngößen $\underline{X}_{eE}(s)$ dar. Als Koppler zwischen Prozess und Netz gibt er die Anforderungen vor, die auf die Einzelemissionen der Anlage selbst $\underline{X}_{aRN}(s)$ und der Summenemission zu vor- und nachgelagerter Anlagen im Netz $\underline{X}_{aVN}(s)$ entfallen kann, so dass am Netzanschlusspunkt stets Konformität im Sinne des Anwenders herrscht.

Die funktionale Gestaltung des Antwortverhaltens der am Eingangskreis anstehenden Emission gegenüber der zu gestaltenden Immunitätsantwort ist zumindest an eine Regel gebunden. Diese Regel lautet: Wahrung der Sicherheit elektrischer und elektronischer Betriebsmittel- und Elemente gegenüber Dritten als Nutzer dieser Funktionseinheit. Hier stellt die Konformitäts- oder Kompatibilitätsvorgabe stets den Spiegel der Sicherheit vor den der Funktionalität. Zu beachten ist vor allem, dass der in Bild 9.7 hervorgehobene Funktionsentscheider gegenüber dem Produkt EE ein Funktionsentscheider von vielen ist. Hier gilt es vor allem die Betrachtung zum Gültigkeitsbereich nach Bild 9.8 zu wahren. So ist es nicht nur getan den als kritischen Pfad eingestuften Elektroenergieversorgungspart zu beachten, sondern je nach Freigabe oder Fixierung des Reaktionsempfindens gegenüber der Infrastruktur der Elektroenergie-



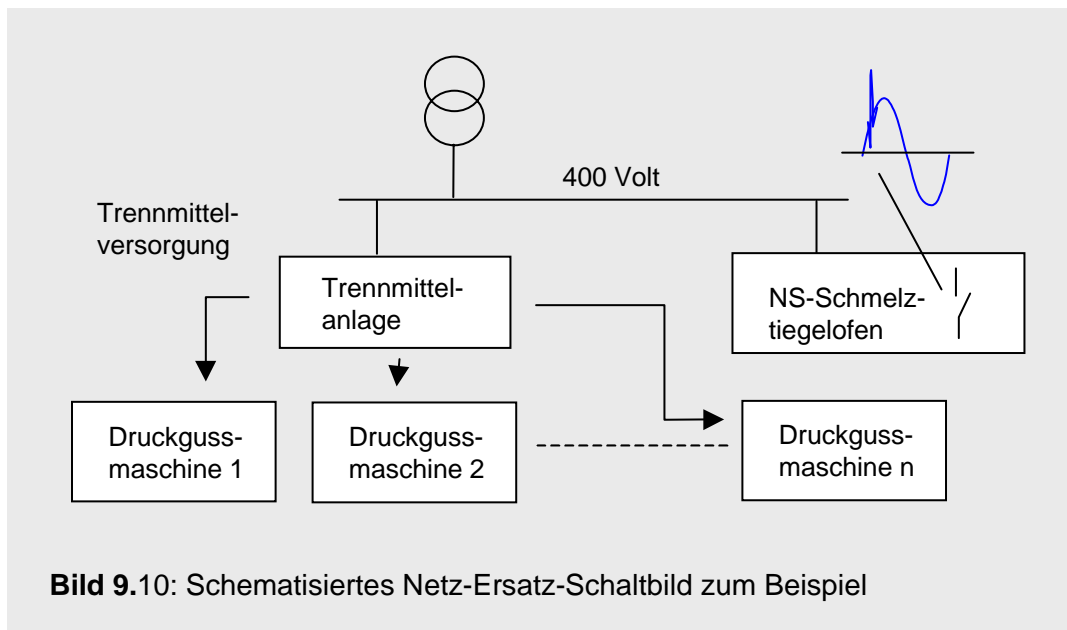


Bild 9.10: Schematisiertes Netz-Ersatz-Schaltbild zum Beispiel

Trennmittelflüssigkeit auf die Formenoberfläche und läuft voll automatisch ab. Eine entsprechende Steuerelektronik an der geregelten Trennmittelpumpe – Trennanlage bezeichnet – reguliert den Vorgang. Da die Trennmitteleinrichtung im Umfeld der Aluminiumgießerei eingebunden ist, entsteht an, im angrenzenden Bereich aufgebauten Niederspannungs-Induktionsschmelzöfen, beim Einschalten der Kompensations- und Symmetriekondensatoren, bzw. beim Ausschalten des Schmelztiegelofens entstand im Niederspannungsversorgungsnetz gelegentlich ein Schalttransient (Beschreibung Schmelztiegelofen: Bild 6.7, Abschnitt 6.4.2, im vorliegenden Fallbeispiel nur ohne Mittelspannungsanpasstransformator). Durch die Ausbreitung über den Summenpunkt – Sammelschiene MS-NS-Trafo, Bild 9.10, vereinfachtes Netz-Ersatz-Schaltbild – belasten die dort eingespeisten Spannungstransiente alle am Netzknoten mit angeschlossenen Anlagen mit.

Die Steuereinheit des Antriebs der Trennmitteleinrichtung, ein Standardgerät der Fa. Siemens, war auf Industrieumgebung I, d.h. auf die Grenzkennmerkmale einer Spannung nach DIN EN 50160 ausgelegt. Eine spezifische Festigkeit gegenüber Spannungstransiente ist dort nicht ausgewiesen. Eine erweiterte Spezifikation im Lastenheft der Anlage wurde vom Betreiber nicht gefordert und blieb auch bei der Bestellung außen vor. Die Kopplung zwischen den in Bild 9.10 dargestellten Druckgussmaschinen 1 bis n war ausschließlich auf das Trennmittel beschränkt. Eine galvanische Vernetzung der beiden Systeme (Trennmitteleinrichtung und Druckgussmaschine) bestand nicht.

Abhängig vom Schaltzeitpunkt der Ein- oder Ausschaltung der Niederspannungs-Induktionsschmelzöfen entstanden so Schalttransiente mit bis ca. 680 Volt bei einer Netzennennspannung von 400 Volt. Diese Schalttransiente wirken unterschiedlich auf die, in Bild 9.11 vereinfacht dargestellten Funktionsentscheider $F_D(s)$ am Beispiel der Trennmittelanlage. Kritisch wurde es dann, wenn der Vorwärtszweig der Steuerelektronik den Transienten durch Überschreitung von internen Regelgrößen fehlerhaft interpretierte und nach Fallbeispiel Kategorie II, Abschnitt 9.2 (Beeinträchtigung der Betriebsweise im Störfall), reagierte. Im Fall der Trennmittelanlage führt diese Fehlfunktion zur kurzzeitigen Anhebung der Zwischenkreisspannung. Sie klingt nach dem Störimpuls in der Regel schnell wieder ab. Ab einem gewissen Pegelwert der Zwischenkreisspannung jedoch sprach der Funktionsentscheider die Sicherheit an. Es kam zu einem, die Störeinwirkung der Kategorie I, II und III ergänzenden Fall. Als Kategorie IV vom Autor bezeichnet, charakterisiert

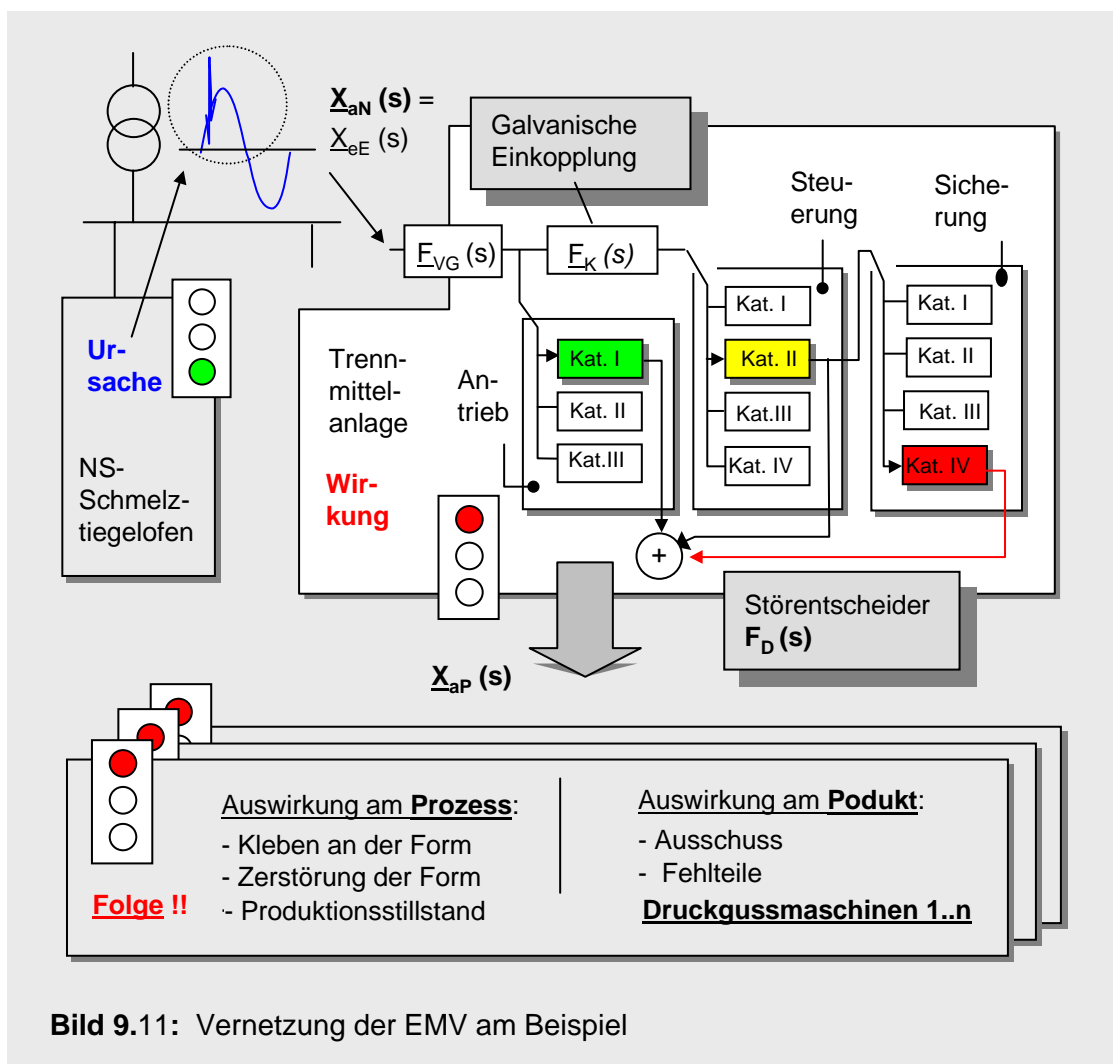


Bild 9.11: Vernetzung der EMV am Beispiel

terisiert er nicht mehr nur die Funktionsstörung, sondern den Funktionsausfall ohne Funktionswiederkehr. D.h.: die Gesamtanlage geht unkontrolliert außer Betrieb. Da für die physikalische Vernetzung der Druckgussanlage mit dem Trennmittellieferanten (Trennexanlage) keine funktionale Verriegelung existent war, lief der Betrieb in der Produktlinie ungehindert weiter. Der Folgefehler mit Auswirkung am Prozess und am Produkt – Bild 9.11, Folgefehler Druckgussmaschinen 1 bis n – war vorprogrammiert.

Die Lösung im vorliegenden Fall: Erstens die Anhebung der Störfestigkeit durch Einbau eines Sperrfilters im Elektronikbereich. Zweitens die Verriegelung zwischen Trennmittelanlage und Druckgussmaschine. Die Erstmaßnahme stellt die Stabilisierung der Steuerelektronik gegenüber dem netzseitigen Störtransienten sicher, d.h. dem Verbleib auch im Störfall auf Kategorie I, Bild 9.5, Abschnitt 9.2. Die Zweitmaßnahme sorgt für die Absicherung, dass trotz gemindertem Ausfallrisiko der Trennmittelanlage ein Folgefehler ausbleibt.

9.2.2 Funktionsbildner

Sicherheit und Funktionalität prägt nicht nur den technisch-technologischen Prozess, sondern auch den der Ökonomie. Am Beispiel der Trennmittelanlage, Abschnitt 9.2.1, zeigt sich die Aufwendung in der Planung oder der Gestaltung einer EMV-gerechten Struktur spätestens in ihrer Funktionalitätstauglichkeit im betrieblichen Einsatz. Die Wahrung der friedlichen Koexistenz aller Arten elektroenergetischer Störquellen ist die Aufgabe, aber auch die Chance der qualitativen Einbeziehung elektromagnetischer Verträglichkeiten rund um den Elektroenergieanschlusspunkt. Es gilt Aktion und Reaktion als Grenzbereich der Nutzbarkeit gegeneinander so abzuwägen, dass die in Abschnitt 9.2.2 zu konkretisierenden Funktionsentscheider gegeneinander abgeglichen sind. Hier hat ein, vom Aktions- zum Reaktionsprozess reichender Funktionsbildner zu entstehen, der nach Vorgehensweise des Autors die Gesamtheit aller Funktionsentscheider als Funktionsvernetzung gegeneinander abzugleichen vermag. Geprägt durch die Transformation innerhalb der Ebene zwischen Ursache und Wirkung ist dabei der Funktionsbildner der Spiegel der Funktionsinhalte, so zu sehen als das Maß der Differenz zwischen Konformität und Nichtkonformität der Maschine, des Gerätes gegenüber der Qualität des speisenden Netzes. In Abhängigkeit der Reaktion vom und zum Netzknoten kennzeichnet der Funktionsbildner das Funktionsverhalten ALLER elektrotechnischen Funktionsmuster. Stets ist der Funktionsbildner als ein

Maßstab zu einem eng umschreibbaren Funktionsmuster zu sehen, angelehnt an Kategorien des fallweisen Verhaltens der Funktionalitätsminderung vom Elektroenergieabnehmer (Maschine, Geräte, Einrichtung) nach Abschnitt 9.2 als Funktionalitätsvorgabe zwischen vor, während und nach der Störung. Vom Autor auch als Wirkungsbildner zur EMV bezeichnet, benutzt der Funktionsbildner zur Beschreibung der bilateralen Umgebungsanforderungen den Zusammenhang zwischen:

- Eingangsgröße [$X_{aVN}(s) \pm X_{aRN}(s) = X_{eE}(s)$] und
 - Ausgangsgröße [$X_{aE1}(s) \pm X_{aD1..x}(s) = X_{aP}(s)$]
- Bild 9.8 u. 9.1,
Abschnitt 9.2.1

Seine Vorgabe zum Netz und zum Produkt, zu betrachten als Differenz zwischen Post- und Prebereich am Störkoppler, bildet die Grundlage für die Ableitung der Störfestigkeitsanforderungen gegenüber dem momentan wirksamen Umgebungspunkt. Der sich einstellende Abstand zwischen dem Nutzsignal am Ein- und Ausgang, d.h. zwischen $X_{eE}(s)$ und $X_{aP}(s)$ entspricht der GÜTE der Anlage. Qualität als Güte dokumentiert die Anlagen als Störspannungsabstand (Immunität) gegenüber der am Wirkungsort vorliegenden elektromagnetischen Beeinflussung EMB (engl.: EMI – Electromagnetic Interference). Mathematisch gesehen nutzt die EMB die Ergänzung, bzw. Erweiterung gegenüber dem Vorwärtszweig um als neues Summeninterface die Funktionalitätsentscheidung zwischen Ein- und Ausgangsgröße, d.h. zwischen Netz und Produkt korrekt wiederzugeben. Mit dem Differenzbildner $F_D(s)$ komplettiert der Autor im Funktionsentscheider die Funktionsgleichung (Gl. 9-5) zur Funktionsabbildung der Übertragung $F_U(s)$:

$$F_U(s) = F(s) F_D(s) = E_1(s) + E_2(s) \overbrace{F_D(s)}$$

$$F_D(s) = E_{D1}(s) + E_{D2}(s) + \dots + E_{Dn}(s)$$

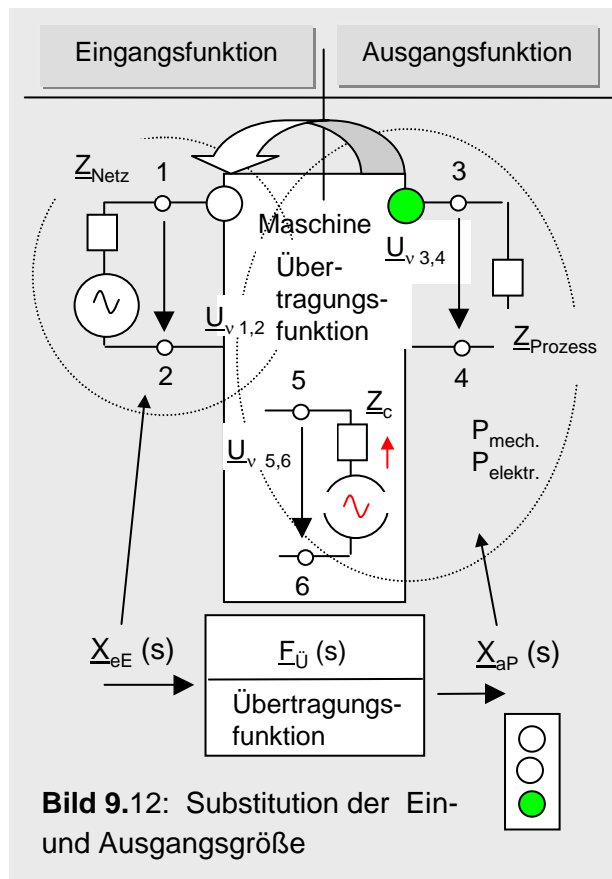
$$E_U(s) = F_1(s) - \frac{E_V(s) \sum_{n=1}^i E_{D1}(s)_i}{1 (-/+ F_V(s) [F_{RN}(s) + F_{RG}(s)]}$$

(9-5)

Übertragen auf die Belange der EMV bedeutet dieses: eine unverträglichkeitsbedingte Funktionsstörung liegt dann vor, wenn im Bereich der elektrischen Beanspruchungen der Störgrößenpegel im Netz unter dem Einfluss der Fremd- (Ab-

schnitt 9.2.1, Bild 9.8, $\underline{X}_{eN}(s)$ substituiert als Ersatzspannungsquelle Netz, Bild 9.9) und Eigenemission (Abschnitt 9.2.1, Bild 9.9, $\underline{X}_{aRN}(s)$ substituiert als Ersatzstromquelle Maschine, Bild 9.9) die Immunität der Anlage nicht überschreitet. Gekennzeichnet ist die Immunität in Abschnitt 9.2.1, Bild 9.8, als Koppelnetzwerk des Störkopplers mit dem Störentscheider. Sein Ergebnis als Abweichung vom Nominal- oder Normzustand stellt die Funktionseinwirkung gegenüber dem Funktionsablauf dar. Die Veränderung der Funktionalität kennzeichnet in Bild 9.11, Abschnitt 9.2.1, das dort erstmals dargestellte Ampelbild. Grün steht für konforme Betriebsweise (Kategorie A), Gelb für Kategorie B und Rot für Kategorie C.

Bild 9.12 schematisiert die Ursachen-Wirkungs-Kette, bei der die Emission **einer** Einzelquelle (Bild 9.12, $\underline{U}_{v\ 5,6}$) im Summenelement der Emission des Netzes, d.h. **aller** Nutzer mit eingebunden ist. Das Resultat der Belastungsgröße am Eingang des Funktionsbildners $\underline{X}_{eE}(s) = \underline{X}_{aVN}(s) + \underline{X}_{aRN}(s)$ bildet am Ausgang die Funktionsgröße $\underline{X}_{aP}(s)$ ab. Seine Abweichung zum Nominalzustand entspricht der Abweichung im Netz. Ist die Abweichung am Produkt im Rahmen der Fertigungstoleranz, ist Konformität zum Prozess gegeben. Die Immunität der Maschine gegenüber dem Qualitätspegel des Netzes (z.B. Elektroenergieversorgungsnetz) ist zugeordnet. Der Spielraum der Absicherung der Qualitäten am Produkt EE in Form seiner Elektroenergiequalität wird dann verlassen, wenn das im Prozessverlauf entstehende Funktionsdefizit die nutzer- oder nutzungsdefinierte Funktionalitätsgrenze unterschreitet. Die Immunitätsangabe des Elektroenergieabnehmers (Maschine, Gerät) ist daher **mehr** als nur der sicherheitstechnische Grenzbereich der dort verwendeten Bauteile. Er kennzeichnet die Funktionalität zum vorgesehenen Einsatz am Einsatzort.



Konkretisiert in Bild 9.12 mit der Pfeildarstellung, ist die Anforderung an die Absicherung der qualitativen Elektrizität signifikant gesetzt. Die Brücke zu Abschnitt 4.2.2 (Fokus Prozessumfeld) ist geschlagen. An der Funktionsebene der Übertragung \underline{E}_U (s) gilt hier das dort hinterlegte Zitat der DIN EN 61000-2-4:

....die Fähigkeit einer elektrischen Einrichtung, in ihrer elektromagnetischen Umgebung zufrieden stellend zu funktionieren, ohne diese Umgebung unzulässig zu belasten.

Entspr.
Gl. 9-5

Erläuterndes Beispiel:

Die Schweißmaschine mit Mehrpunktschweißung aus Abschnitt 5.3.1 visualisiert den Funktionsabbilder zum Prozess, beispielsweise über den am Elektroenergieversorgungsnetz messtechnisch erfassbaren Spannungseffektivwertverlauf. In Bild 5.8, Abschnitt 5.3.1, als Effektivwertverlauf der Spannung am Netzanschlusspunkt dargestellt, entsteht ein Arbeitsbereich, der aus Sicht der Produktequalität (Abschnitt 2.3.4.2) zerteilbar ist in einen funktionalen, teilfunktionalen und nichtfunktionalen Arbeitspunkt. Je nach Spannungsfall im Netz entsteht:

- GRÜN-Bereich: Schweißpunkt optimal,
- GELB-Bereich: Schweißpunkt noch akzeptabel, doch nicht optimal
- ROT-Bereich: Schweißpunkt außerhalb der Toleranz

Der Übergang in der Funktionalität zwischen grün, gelb, rot verdeutlicht am Beispiel der Schweißmaschine die Einteilung des Spannungsbandes am Netzanschluss nach Bild 9.13. Der dort als Farbbalken jeweils eingegrenzte Flächenbereich entspricht den jeweiligen Grenzdefinitionen der Nutzung unter Qualitätssicherungsaspekten, gekoppelt an die voran getroffene Aussage zum Grün-, Gelb- und Rotbereich. In Bild 9.13 kennzeichnet das diesbezügliche Qualitätsband des Netzes, d.h. sein maximal zulässiges Emissionsverhalten (rot gestrichelte Linie) als Bandbreite einer Spannung, die im Grunde das Ergebnis einer „elektrischen Leistung“ darstellt. Nach Unterschreitung der Grenzleistung im negativen Sinne fällt das Ampelbild Bild 9.13 gegenüber dem Prozess von GELB nach ROT, gegenüber dem Produkt von GRÜN nach ROT. Eine Produktstörung am Schweißprodukt tritt auf, und eine Anpassung durch Eingrenzung des Spannungseinbruches auf der Netzseite hat zu erfolgen. Diesbezügliche Möglichkeit gibt es genug. Eine der Möglichkeiten ist die Anhebung der Netzqualität im Merkmalpunkt der Stabilität der Spannung. Nutzt man das Bedarfsmuster aus Abschnitt 9.2.1, Bild 9.6, entsteht

ein, gegenüber dem als Normalnetz definiertem Werknetz abweichende Qualitätsverpflichtung. Visualisiert wird der Vorgang durch Anhebung der Qualitätseinteilung am Netzanschlusspunkt, z.B. von Stufe A auf Stufe B. Am Beispiel der Schweißmaschine mit Mehrpunktschweißung entspricht die Qualitätssteigerung von Stufe A auf Stufe B die der Begrenzung, d.h. der Reduzierung des Spannungsfalls im Netz, respektive die Anhebung der Elektroenergiequalität am IPC. Eine netztechnische Maßnahme dazu ist am Beispiel die Anhebung der verfügbaren Kurzschlussleistung mit infrastrukturellen Maßnahmen (z.B. der Anhebung der Trafoleistung durch Parallelbetrieb mehrere Einspeiseeinheiten).

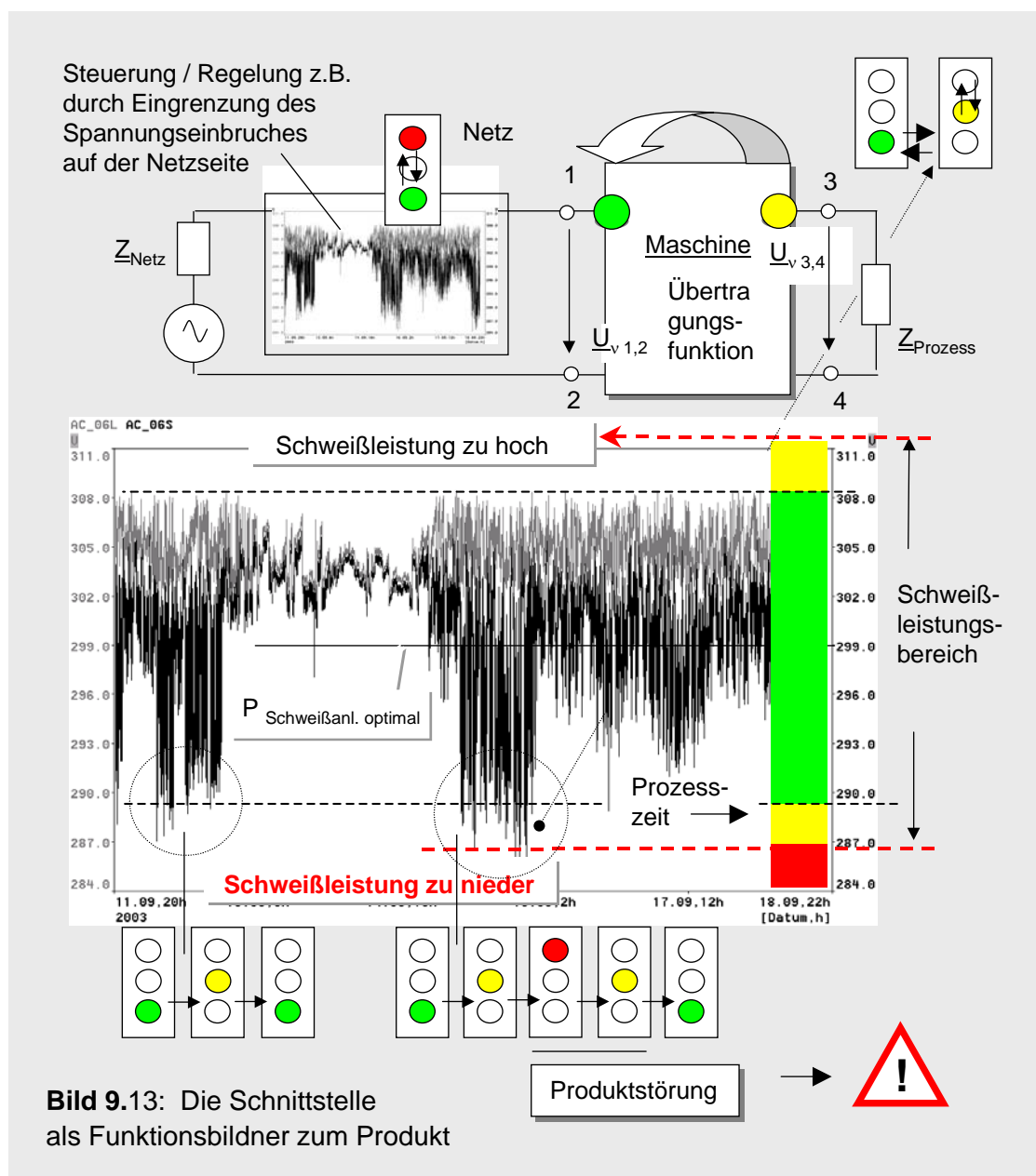


Bild 9.13: Die Schnittstelle als Funktionsbildner zum Produkt

Eine weitere Möglichkeit soll näher umschrieben werden. Hier wird am konkreten Fall der Störfallgruppe Kategorie III, Abschnitt 9.2, Bild 9.5, versucht den Störfall auf Kategorie II zu begrenzen. Eine Funktionsbeeinträchtigung führt dann nicht mehr zum Funktionsausfall, d.h. zum Defizit am Schweißgut, sondern verbleibt im Part der Funktionsbeeinträchtigung. Für den Schweißpunkt bedeutet dieses zwar keine optimale Schweißfestigkeit, doch auf Grund der beim Schweißen vorhandene Sicherheitsfaktor noch eine funktionale Tragfähigkeit (Produktampel GELB, Netzampel GRÜN). Zur Umsetzung am Objekt nutzt man das Informationsportfolio des Indikators (Spannungsniveau) um über den Schweißleistungsbereich (Bild

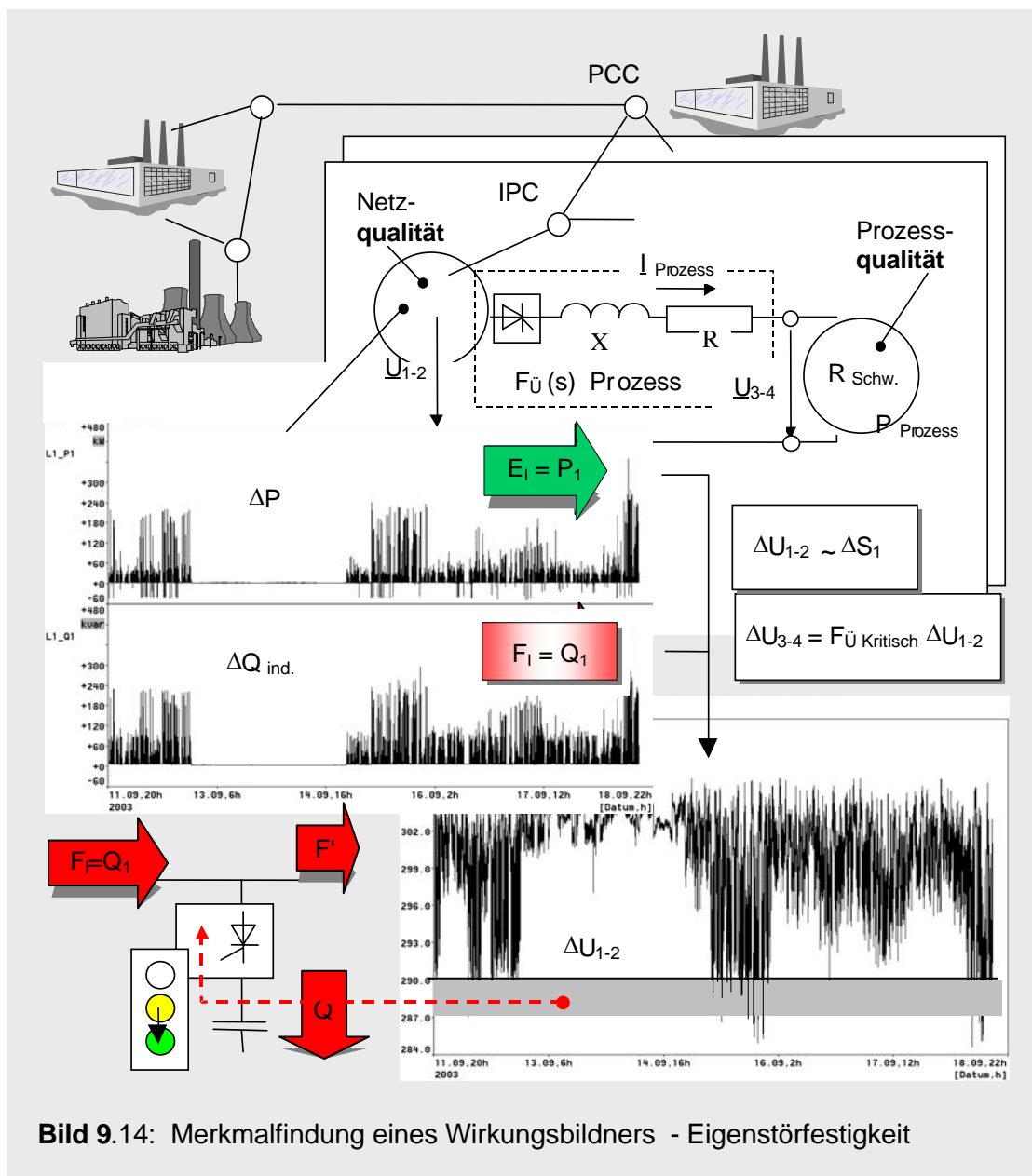


Bild 9.14: Merkmalfindung eines Wirkungsbildners - Eigenstörfestigkeit

9.13 / oberer und unterer rote Begrenzungsbalken) eine Bandbreite der Nutzung nach KATEGORIE I (ungestörter Betrieb) abzustecken. Er grenzt den Übergang zwischen dem gelben und roten Balken so ein, dass eine Sicherheitsstrecke der Regelung entsteht. Im Bild 9.14 stellt die Sicherheitsstrecke den dort im Spannungsdiagramm eingezeichneten grauen Balken dar. Grau entspricht weiter Funktionalität Kategorie II, jetzt aber gesehen gegenüber dem Verhalten der Anlage im Netz. Der Wirkungsbildner der Übertragung, sichtbar am Ergebnis beim Produkt, bestimmt am Fallbeispiel der Schweißmaschine mit Mehrpunktschweißung den elektrotechnischen Aufbau der Gesamtanlage. Die Kombination aus L und R, angesteuert über einen Stromrichter, bildet die Übertragungsfunktion $\underline{E}_U(s)$.

Durch die Stoßbelastung (15 bis 30 Perioden) generiert sich der Eigenstöreffekt aus dem Laststrom $\underline{E}_{RG}(s)$ heraus und wirkt als Spannungsfall an der Netzimpedanz $\underline{E}_{RN}(s)$. Der Störentscheider $\underline{E}_D(s)$ am Beispiel der Schweißmaschine mit Mehrpunktschweißung ist der zulässige Spannungsschwankungsbereich, so zu sehen als Grenzbereich zur Schweißleistung an der Schweißzange. Hervorgerufen durch die Detailgröße der Last im EES (Abschnitt 6.4) deckt hier der Detailpart der Wirkleistung und Verschiebungsblindleistung, Abschnitt 6.4.1.1, in Form von motorischer Wirkleistung (E_I als P) und induktiver Verschiebungsblindleistung (F_I als Q) den Nutzungsinhalt als Balance der Last, Abschnitt 6, ab. Aus dem Auszug des Messdiagramms (Bild 9.14) ist ersichtlich, dass der induktive Verschiebungsblindleistungsanteil den Wirkleistungsanteil in seiner Wertgröße sogar leicht überschreitet. Hier heißt das Ergebnis: die Spannungs Konstanz am Netzanschlusspunkt (IPC) wird vom Verzerrungsblindleistungsanteil des Elektroenergieabnehmers (Schweißmaschine) erheblich mitbestimmt. Zur Merkmalfindung am Wirkungsbildner im Bereich der Eigenstörfestigkeit ist das Ergebnis auch gegenüber der Vorbelastung aus dem vorgelagerten Netzverbund zu interpretieren. Eine beispielsweise vom Prozess her gesteuerte Gegenkomponente im Bereich der Verschiebungsblindleistung mit entsprechender Phasenopposition (Bild 9.14, kapazitive Verschiebungsblindleistung) mindert das Gesamtergebnis als Problem der Spannungshaltung gegenüber dem Produkt.

Benutzt man ein Regelschema nach Bild 9.15, so gesehen als Steuer- und Regelkomponente über Qualitätsparameter am Produkt der EE, kann der Spannungsänderungsverlauf von der Quelle (Erzeuger) zur Nutzung am Objekt als FUNKTIONSGEBILDE Prozess kontrolliert reguliert werden. Es entsteht ein Regelgebilde

vom Fertigungsprodukt zum Elektroenergieversorgungsnetz, der es der Maschine gestattet kontrolliert am EES zu wirken. Tritt trotz allem ein Funktionsdefizit auf, wird deren Ergebnisse nicht erst im nachfolgenden Prozessablauf sichtbar (z.B. Oberflächenbehandlung -> Einbuchtung durch zu starken Materialabhub / Montage -> Brechen der Verbindung), sondern durch die Kennzeichnung der Überschreitung des Zulässigkeitsbereichs (Grenzbereich zum Produkt – Produktqualität) wird registriert und damit kontrolliert das Schweißgut verarbeitbar. Das bereits in Kapitel 5.3.3 angezogene „Quality-Gate EE“ entsteht am Schnittpunkt zum Prozess voll automatisch. Sein Gut-Schlecht-Informationsinhalt (Bild 9.15) entspricht nicht nur der Kompatibilitätsanforderung nach EMVG einer Absicherung der Elektroenergiequalität am Schnittpunkt zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer, sondern bietet einen weiteren Effekt – den der Ökonomie. Nicht Fehler akzeptieren, sondern Fehler vermeiden ist das daraus ableitbare Fazit.

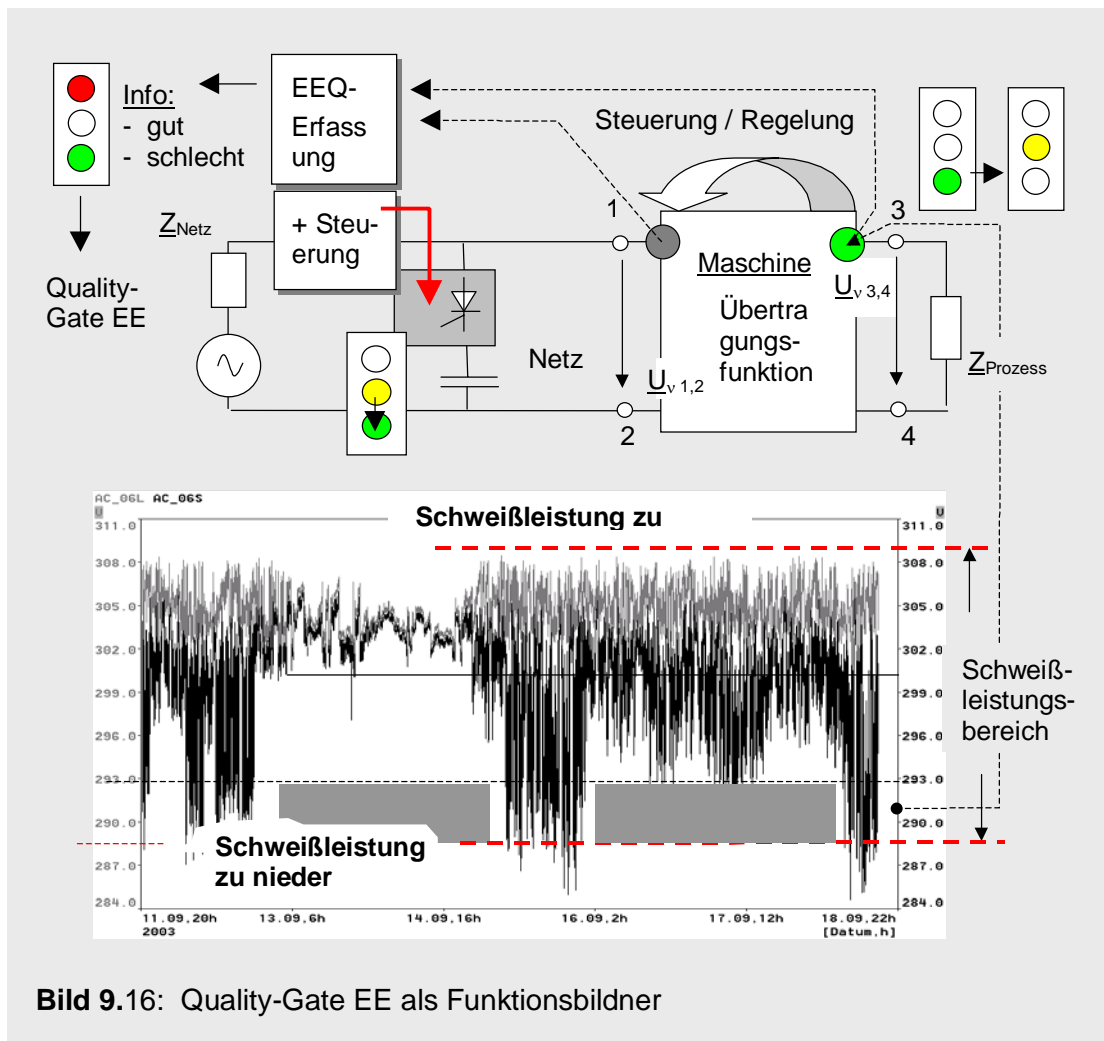


Bild 9.16: Quality-Gate EE als Funktionsbildner

9.2.3 Prozessbildner

Das Prozessabbild nutzt die Ergebnisse des Funktionsbildners als Black-Box-Struktur mit Ein- und Ausgangsgrößen um im Bezug auf die Elektroenergiequalität den zum Netz hin ausgerichteten Größenwert $\underline{X}_{aRN}(s)$ der Maschine 1 bis n zur Summenstörung im Sinne der resultierenden Vorbelastung vom und zum Netz zusammenzufassen. Als Kenngröße $\underline{X}_{aVN}(s)$ gilt es vor allem in der Beziehung zur Signalflusskopplung diese den Gegebenheiten und Notwendigkeiten eines Netzwerkgeflechts anzupassen. Mathematisch beschreibbar ist das Beeinflussungsmodell nach Bild 9.16 als erweiterter Mechanismus der Kopplung einer Ein- und Ausgangsfunktion zwischen Quelle und Senke nach Schema Abschnitt 9.2.1 und 9.2.2. Zu diesem Zweck spiegelt man den Rückwärtszweig nicht mehr im Signalflussplan des Eigenmodells, getrennt nach Maschine 1, 2, bis n, Gl. 9-5, Abschnitt 9.2.2, sondern am Summenmodell der am Netzanschlusspunkt wirkenden Elektroenergieabnehmer (Maschine 1 + 2 + 3 bis n).

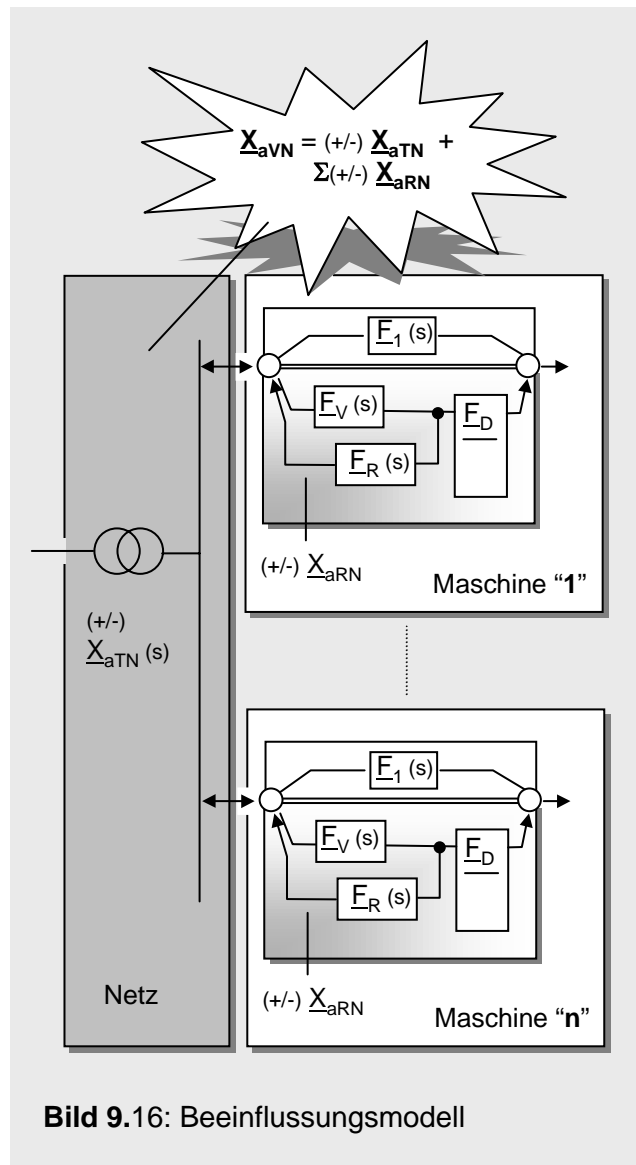


Bild 9.16: Beeinflussungsmodell

Zu diesem Zweck spiegelt man den Rückwärtszweig nicht mehr im Signalflussplan des Eigenmodells, getrennt nach Maschine 1, 2, bis n, Gl. 9-5, Abschnitt 9.2.2, sondern am Summenmodell der am Netzanschlusspunkt wirkenden Elektroenergieabnehmer (Maschine 1 + 2 + 3 bis n).

Das Ergebnis, so zu sehen als Reaktion des Netzsystems am Netzknoten gegenüber dem Produkt wird durch die Transformation der Übertragung des Summenwertes $\underline{X}_{aVN}(s)$, bestehend aus der Einzelursache $\underline{X}_{aR Ma 1}(s)$ bis $\underline{X}_{aR Ma n}(s)$, der Vorbelastung aus dem vorgelagerten Netz $\underline{X}_{aTn}(s)$, gegenüber der im Einzelfall wirkenden Übertragungsfunktion $[E_{VMa1}(s) E_{D Ma 1}(s)]$, $[E_{VMa2}(s) E_{D Ma 2}(s)]$ bis $[E_{VMa n}(s) E_{D Ma n}(s)]$ neu geprägt.

Je nach Einzelreaktion der Maschine 1, 2, bis n gilt es das Gesamtsystem als summarisches Funktionsgebilde am schwächsten Einzelpartner auszurichten. Für die Funktionsbeschreibung zum Netz $\underline{E}_N(s)$ gilt:

$$\underline{E}_N(s) = \underline{E}_\ddot{U}(s)_{Ma. 1} + \underline{E}_\ddot{U}(s)_{Ma. 2} + \dots + \underline{E}_\ddot{U}(s)_{Ma. n} \quad (9-6)$$

$$\underline{E}_\ddot{U}(s)_{Ma. 1..n} = \frac{\underline{X}_{aD Ma. 1..n}(s)}{\underline{X}_{aVN}(s)}$$

$$\underline{X}_{aVN}(s) = +/- X_{aTN}(s) + \sum_{m=1}^n +/- \underline{X}_{aRN}(s)_{Maschine m}$$

$$\underline{X}_{aVN}(s) = +/- X_{aTN}(s) + \underline{X}_{aVN} \sum_{m=1}^n +/- \underline{E}_V(s) \underline{E}_R(s)_{Maschine m} \quad (9-7)$$

Gl. 9-6 und 9-7 transformiert auf die Bedürfnisse des Netzbetreibers und des Netznutzers bildet Gl. 9-8, 9-9 und 9-10 die im Gesetz zur elektromagnetischen Verträglichkeit geforderte Plausibilität als Konformität zum Gesamtsystem ab. Abgeleitet aus der Konsequenz der Sichtweise bilateral wirkender Systeme, ist die elektromagnetische Verträglichkeit zu betrachten als **die Dualität** zwischen dem Qualitätssegment des Netzes $\underline{X}_{aVN}(s)$, Gl. 9-8 und dem Qualitätssegment der Maschine $\underline{X}_{aD}(s)_x$, Gl. 9-9. Tritt eine, gegenüber dem Prozess $X_{aP}(s)_x$ negativ eingehende Verbindlichkeit auf, spricht man vom Defizit einer Immunität gegenüber einer Emission.

Diese Dualität verdeutlicht Bild 9.17 gegenüber dem Beeinflussungsmodell aus Bild 9.16 in dem es den, aus der Signalfusskopplung, Abschnitt 9.1.2, gewonnenen Informationsinhalt eines Vor- $[\underline{E}_V(s)]$ und eines Rückwärtszweiges $[\underline{E}_R(s)]$ im EES getrennt der Immunität $\underline{E}_V(s)$ und der Emission $\underline{E}_R(s)$ zuordnet.

	$\underline{X}_{aVN}(s) = \frac{+/- \underline{X}_{aTN}(s)}{1 - \sum_{m=1}^n +/- \underline{E}_V(s)_m \underline{E}_R(s)_m} \quad (9-8)$
Netz	

	$\underline{X}_{aD}(s)_x = \underline{E}_V(s)_x \underline{E}_D(s)_x \underline{X}_{aVN}(s)$ $\underline{X}_{aP}(s)_x = X_{aF1}(s) - \underline{X}_{aD}(s)_x$
Maschine	(9-9)

	$\underline{g} = \frac{\sum_{m=1}^n +/- \underline{E}_V(s)_m \underline{E}_R(s)_m}{\sum_{m=1}^n \underline{E}_V(s)_m \underline{E}_R(s)_m} \quad (9-10)$
Gleichzeitigkeit	

Im EES verdeutlicht Bild 9.17 den diesbezüglichen Zusammenhang dadurch, in dem der Autor dort den Summenpunkt der Emission (Bild 9.17 schwarzer, nicht ausgefüllter Kreis), wie auch der Ergebnispunkt der Immunität (Bild 9.17, schwarzer, ausgefüllter Kreis) getrennt zueinander wirken lässt. Die Trennung der Darstellung resultiert aus der Betrachtung der Wirkungsgröße aus dem Wirkungsgebilde heraus. Die gewählte Darstellungsart ermöglicht es dem Prozessbetrachter den Wirkungsmechanismus in seiner Funktion dahingehend zu selektieren, dass das individuelle Ergebnis als Teilprozess (Bild 9.17, $X_{ad}(s)$ Maschine x) gegenüber dem Gesamtergebnis – GESAMTSYSTEM Fertigungslinie – besser zur Geltung kommt.

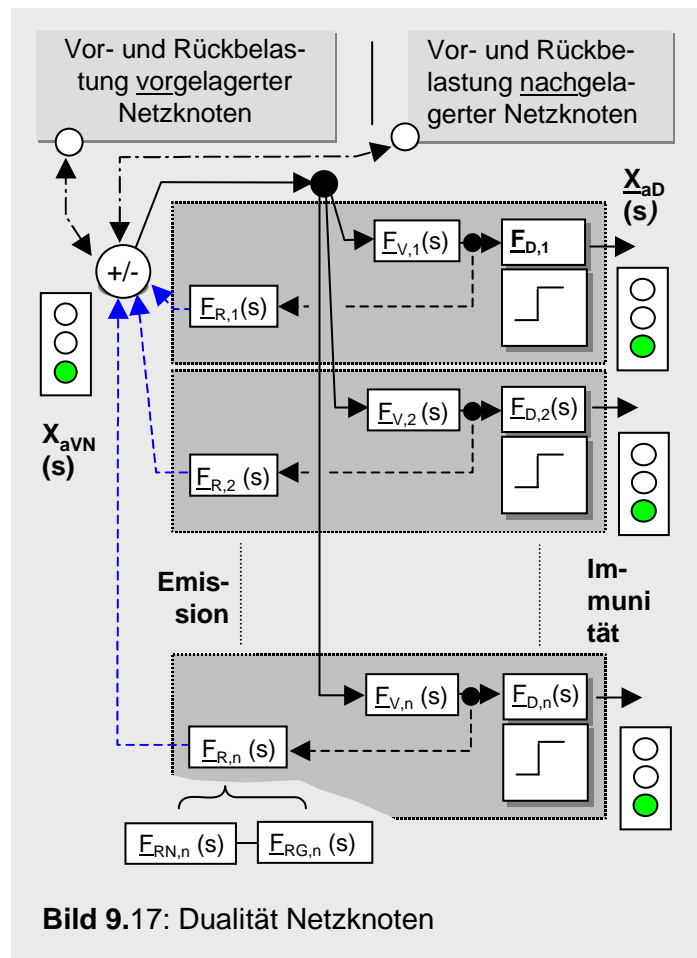


Bild 9.17: Dualität Netzknotten

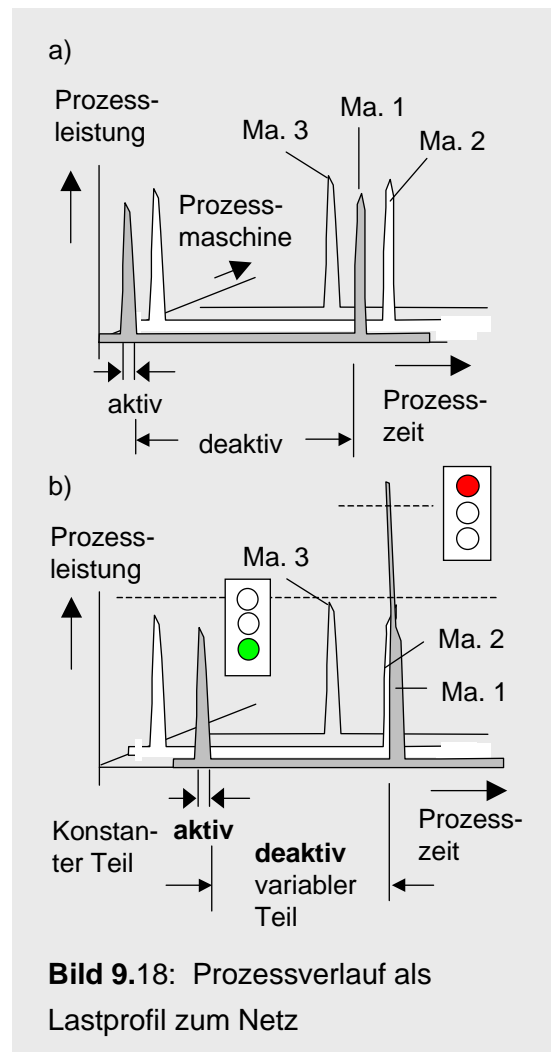
Dazu ein Beispiel:

Der Prozessverlauf, gesehen als Prozessleistung über die Prozesszeit beispielsweise an der in Abschnitt 5.3.1 vorgestellten und in Abschnitt 9.2.2 ergänzt behandelten Schweißmaschine mit Mehrpunktschweißung ist das dort hinterlegte Prozessabbild zum einen individualisiert, d.h. als Einzelmaschine, zum andern subsummiert, d.h. als Gruppe zu betrachten. Nach Bild 9.18 kennzeichnet dort der Wirkungsprozess aktive und deaktive Sequenzen einer Netzbelastung, die gesehen über den Prozesszyklus hinweg mit Lastprofilen der Einwirk- und Rüstzeit umschreibbar sind. Die Einwirkzeit betrachtet den Part des Schweißzyklus (Schweißzeit: 15 bis 30 Perioden / 300 bis 600 ms). Die Rüstzeit entspricht dem Taktbereich der Teilezubringung, -ausrichtung und Entnahme. Da es sich im vor-

liegenden Fall um Einzelarbeitsplätze handelt, die zu einer Gruppe von Arbeitsmaschinen von Arbeitsmaschinen (Schweißmaschine mit Mehrpunktschweißung) örtlich zusammengefasst sind, tritt gegenüber dem Startzeitpunkt der Netzbelastung (Lastzyklus) ein Zeitbereich der Netzentlastung (Rüstzeit – manuelle Bestückung der Maschine) auf. Eine Verschiebung der Teillasten der Einzelmaschine von und zueinander entsteht. Diese Verschiebung bewirkt den stochastisch kumulativen Effekt der Überlagerungen im Eingriffsbereich (Aktivteil der Belastung). Das Individualergebnis der aktiven Komponenten zueinander, so zu sehen als Ergebnis der Einzelemission zum Netz (Bild 9.18, Diagramm a: Spannungsänderung pro Anlage), kann

gegenüber dem Gesamtergebnis der Immunität aller aktiven Einheiten den sich einstellenden Signalzustände unterschiedlich abbilden. Bild 9.17, Diagramm b beschreibt die Art der Überlagerung die durch die Varianz im Bereich der Rüstzeit in Verbindung mit der unterschiedlichen Startzeit der manuell gesteuerten Einzelmaschinen (momentan unkontrolliert) zu Stande kommt.

Die Dualität zwischen Emission und Immunität der an einem Netzknotenpunkt arbeitenden Maschine zwingt hier vor allem zur Koordination gegenüber dem Gesamtgeflecht. Bild 9.17, Abschnitt 9.2.2, konkretisiert die Thematik am Beispiel des „Quality-Gate EE“, Abschnitt 5.2.3, durch Einbeziehung des differenzierten Wirkens der Infrastruktur am Netzknotenpunkt. Nutzt man den Prozessverlauf als Lastprofil zum Netz (Bild 9.18), kann das Resultat an der Schnittstelle über den variablen Anteil auch abgestimmt, d.h. gesteuert erfolgen. Bild 9.19 kennzeichnet



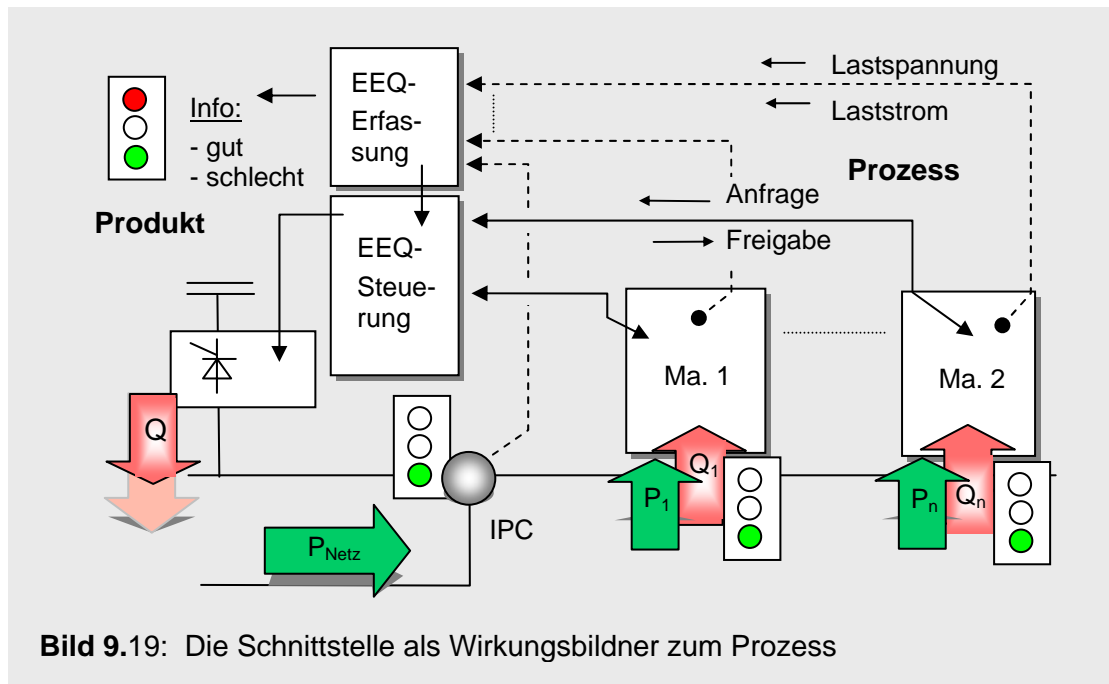


Bild 9.19: Die Schnittstelle als Wirkungsbildner zum Prozess

diese Art der Denkweise als lokale Steuerung globaler Ereignisse. Die Schnittstelle als Wirkungsbildner zum Prozess ist nicht nur ECKELEMENt einer Grenzgröße im Umfeld von Merkmalen, sondern ein in sich aktiver Prozess der Bildung von Summenwirkungen. Hier gewinnt die Bestimmung der Schnittstelle zwischen Maschine und Elektroenergieversorgungsnetz erst so richtig an Bedeutung. Nicht nur der technisch-technologischen, sondern vor allem der ökonomische Part, so zu sehen als Resultat einer gesteuerten Benutzungsphilosophie kann Qualität unter quantitativen Gesichtspunkten abbilden (Thema Produkt: Null-Fehler-Ziel, Thema Prozess: optimierter Materialeinsatz). Das Resultat ist das Zertifikat – Beispiel: Schutzzielbewertung als Anbietererklärung nach DIN EN 45014 Abschnitt 5.3.1 und das „Quality-Gate EE“, Abschnitt 5.5.3 – im Rahmen des innerbetrieblichen Konsenses zur Absicherung notwendiger Qualität der EE.

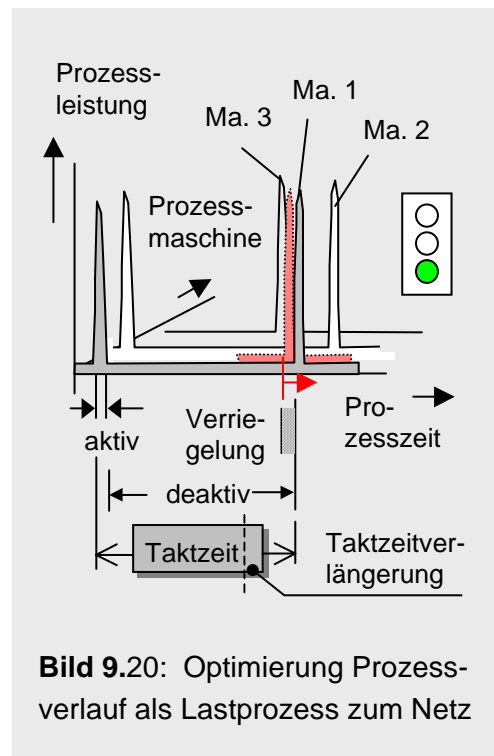


Bild 9.20: Optimierung Prozessverlauf als Lastprozess zum Netz

Die in Bild 9.19 gewählte Steuerungsmethodik nutzt die Startsequenz als Anfrage an die knotenpunktorientierte Steuerung der Elektroenergiequalität (EEQ-Steereinheit), um wie nach Bild 9.20 die Taktzeit bei Gefahr der Überdeckung künstlich zu strecken. Eine Verriegelung entsteht, die je nach verwendeter Netzkapazität (Kurzschlussleistung des Netzknotens, Vorbelastung des Netzknotens, Größenbereich der Kompensationsanlage) die Netzbelastung so zu steuern vermag, dass eine Kompatibilität zum schwächsten Segment der Nutzungskette entsteht.

9.3 Fazit – Funktionsmodell

Das Funktionsmodell der Überetragung beschreibt als Blockschaltbild elementare Vorgänge elektromagnetischer Verträglichkeiten, wirkend vom Eingangskreis am Elektroenergieverbrauchers bis hin zum Ausgangskreis, hier versinnbildlicht als die zu erzielende Funktionalität gegenüber dem Produkt und/oder dem Prozess. Es charakterisiert die Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer unter Aspekten der Wahrung definierter, bzw. vorbestimmter Funktionalitäten, gegliedert nach Kategorien der Nutzungsverantwortung. Verantwortung zur Elektroenergiequalität am Netzanschlusspunkt des Elektroenergieabnehmers heißt in seiner Konsequenz auch einen Konsens zu den Partnern zu finden die nur bedingt in den Funktionsprozess am Produkt EE im EES eingebunden sind. Gerade das an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer hinterlegbare Merkmalpaket einer Elektroenergiequalität entspricht dem Gebot der Sicherstellung geforderter Inhalte zum Produkt EE, wirkend auf die elektrische und/oder nichtelektrische Produktions- und Prozesskette. Die Sichtweise der Verhältnismäßigkeit innerhalb dieses „Partner-Chips“ ist nicht immer im Einklang mit allen Nutzungspartnern an und um den Netzanschlusspunkt, und auch nicht 100 %-ig zwischen dem Funktionselement „Elektroenergieabnehmer“ und dem des „Elektroenergieversorgungsnetzes“ zu bringen. Gesamtheitliche Entscheidungen sind – wie die Merkmale der Spannung nach DIN VDE 50160 – ein unter Umständen schwer zu erkämpfender Kompromiss. Diese Art von qualitativem Kompromiss prägt mit Sicherheit deren aller Win-Win-Strategie im Zeichen einer energetischen Kette der EE. Anpassung heißt deshalb die Devise, denn eines muss jedem langsam klar sein:

**Qualitäten „elektrischer Energie“ beeinflussen Kosten,
und Kosten beeinflussen Wirtschaftlichkeiten.**

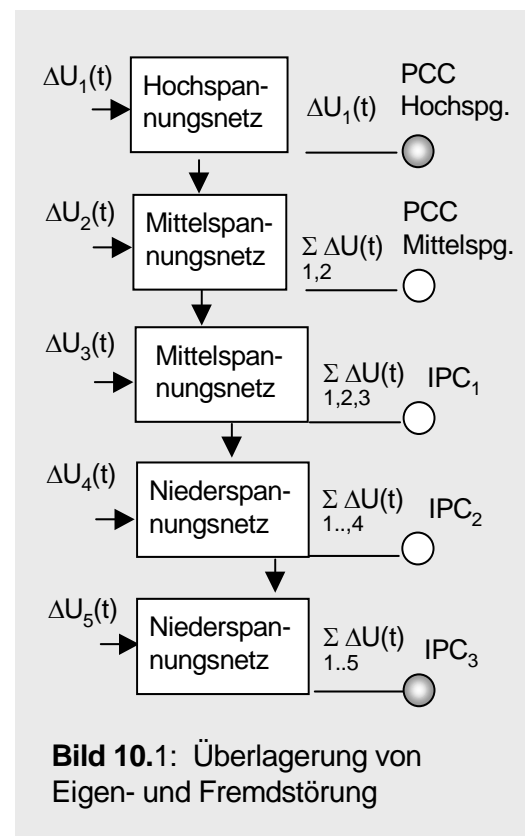
10 Schnittstelle, Operand der Belastung

10.1 Varianz der Beeinflussung

Da der Nutzungseffekt der Einzelanlage (Funktionsbildner, Abschnitt 9.2.2) gegenüber dem Nutzungseffekt der Gesamtanlage (Prozessbildner, Abschnitt 9.2.3) einer klaren Vorgabe bedarf, schafft der differenzierte Veränderungseffekt in der Spannung den zukünftigen Operanden der Umgebung. Eingeteilt beispielsweise in unterschiedlichen Zonen der Verträglichkeit ist die Gestaltung nicht mehr nur bezogen auf den Nahbereich einer Produktionseinrichtung, sondern eingebunden im Konzept der Gesamtgestaltung. Bild 10.1 zeigt am Beispiel der Glieder einer Kette den kritischen Pfad, so zu sehen von der Erzeugung am PCC Hochspannung (Hochspannungsnetz) bis zum Verbrauch am IPC Niederspannung (Niederspannungsnetz). Der kritische Pfad wird vom Autor definiert als längste Kette zusammenhängender Schritte, so zu sehen von der Quelle (Bild 10.1, PCC Hochspannung) bis zur Senke (Bild 10.1, IPC₃). Er wird bestimmt durch den Summationseffekt, Bild 10.1, als die Netzbelastung durch Elektroenergieabnehmer allgemeiner Art. Wie viel Qualitätsverlust bis zur Nutzung am Objekt durch den vor- oder nachgelagerten Prozess entsteht, hängt vom Aufbau des Netzes und vom Belastungsverhalten der Nutzer ab. Jede Teilbelastung belastet dabei den Prozess- und damit den Funktionsbildner in seiner Wirkung zum Produkt mehr und mehr. Dazu ein Beispiel aus der Praxis des Autors:

Beispiel:

Die in Abschnitt 5.3.1 und Abschnitt 9.2.2 bereits an Beispielen betrachteten Schweißmaschine mit Mehrpunktschweißung galt es im Rahmen einer Umstellungsaktion an einen neuen Standort zu verlagern. Aufgabe des Autors war die EMV-gerechte Planung der Infrastruktur unter Gesichtspunkten der Funktionalität zum



Produkt (Immunität) und die Eindämmung von Rückwirkungen gegenüber weiteren Netznutzern (Minimierung der Emissionen).

Als technisch realisierbar standen drei Versorgungsalternativen zur Auswahl. Bild 10.2 beschreibt diese mit Variante a, b und c. Bei allen drei Versorgungsvarianten galt es den kritischen Lastfaktor der Schweißmaschine an der in Bild 10.2 mit rot gekennzeichneten Station C anzuschließen. Für den sich einstellenden Spannungsfall gegenüber der Station C – ΔU_C – wird vom Autor Variante a als Vergleichswert zu Variante b und Variante c gewählt. Die Kabelimpedanzen der Versorgungskabel, in Bild 10.2 mit Z_1 , Z_2 und Z_3 bezeichnet, sind vom gleichen Typ. Hier gilt gegenüber der Einzelimpedanz Z :

$$\underline{Z}_1 = 10\underline{Z}, / \underline{Z}_2 = 8\underline{Z}, / \underline{Z}_3 = 7\underline{Z}.$$

In Variante a erfolgt die Versorgung von Station C über die Station A und B als beidseitig gespeister Ring. Bei Ausfall einer Kabelstrecke kann mit entsprechend geminderter Verbrauchslast weiter produziert werden (n-1-Prinzip). Variante b und c, Bild 10.2, nutzt die technisch einfachere Stichversorgung. Bezogen auf Variante a entstehen gegenüber der Station B und C unterschiedliche Störklimazonen. Gegenüber dem Störphänomen der

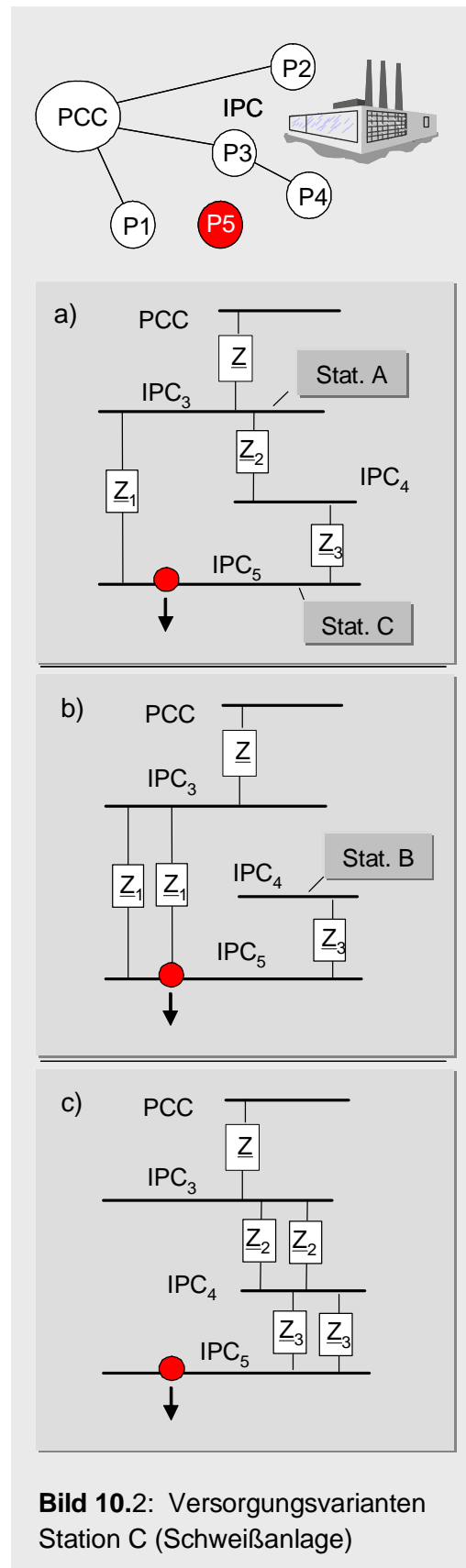


Bild 10.2: Versorgungsvarianten Station C (Schweißanlage)

schnellen Spannungsänderungen im Schweißbetrieb galt es die Versorgungsvariante herauszufinden die gegenüber dem Spannungsänderungseffekt an Station C den geringsten Spannungsänderungswert aufweist. Der zusätzliche Spannungsfall durch Elektroenergieabnehmer an Station B ist vernachlässigbar gering. Zum Zweck der Analyse setzt der Autor den in Variante a durch den Laststrom I_C der Schweißmaschine an Stat. C sich einstellenden Spannungsfall ΔU_C zu 100 %.

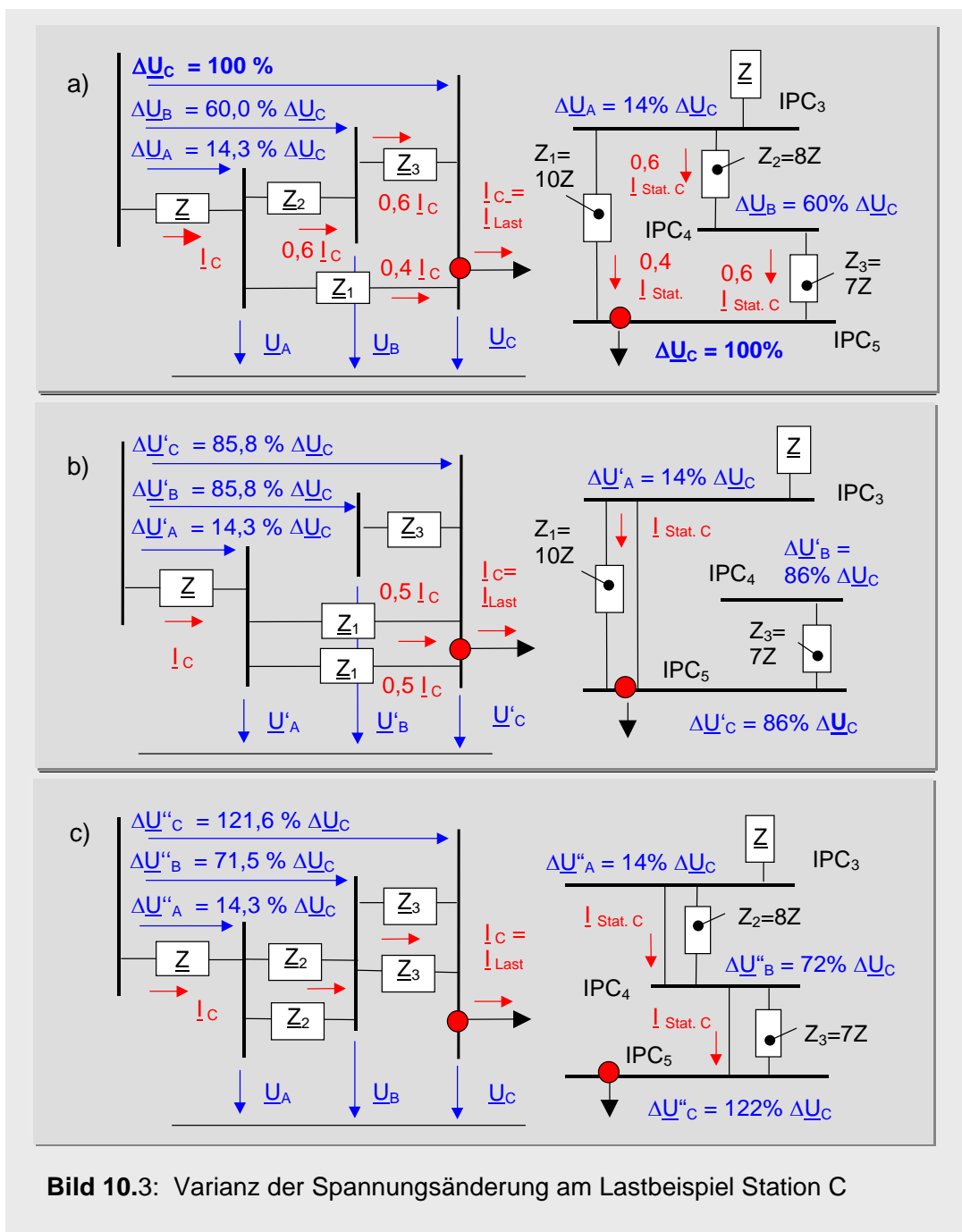


Bild 10.3: Varianz der Spannungsänderung am Lastbeispiel Station C

Ergebnis der Netzberechnung:

Das Ergebnis der Berechnungen mit den bereits benannten Impedanzverhältnissen Z, Z_1, Z_2, Z_3 zeigt, dass je nach Versorgungsvariante (Bild 10.2, 10.3, Variante a, b, c) gegenüber dem Netzknotenpunkt IPC_4 und IPC_5 bei gleicher Last an IPC_5 unterschiedliche Merkmalgrößen der Spannungssenkung als Element der Elektroenergiequalität entstehen. Differente Störklimazonen bilden sich aus, deren lokale Größe (Spannungsänderung Station C, IPC_4) von der Netzbeschaltung zur globalen Größe, d.h. der Station A und B, z.B. gesehen unter Aspekten des Zu- und Abschaltens von Kabelstrecken zu Revisionszwecken zur Station C, abhängig ist. Während an Station C (IPC_5) der Spannungsänderungseffekt ΔU_C bei Variante b gegenüber Variante a absinkt, d.h. die Elektroenergiequalität am Merkmalkriterium „Spannungseffektivwertverlauf über unterschiedliche Zeitfenster“, Tabelle 1-1, Abschnitt 1.2, zunimmt, steigt der Wert an Station B (IPC_4) an. Problematisch wird es bei Variante c, die gegenüber Variante a an beiden Netzknoten (IPC_4 und IPC_5) ein Ansteigen der Spannungsänderung, d.h. ein Absinken der Elektroenergiequalität im entsprechenden Merkmalkriterium bewirkt.

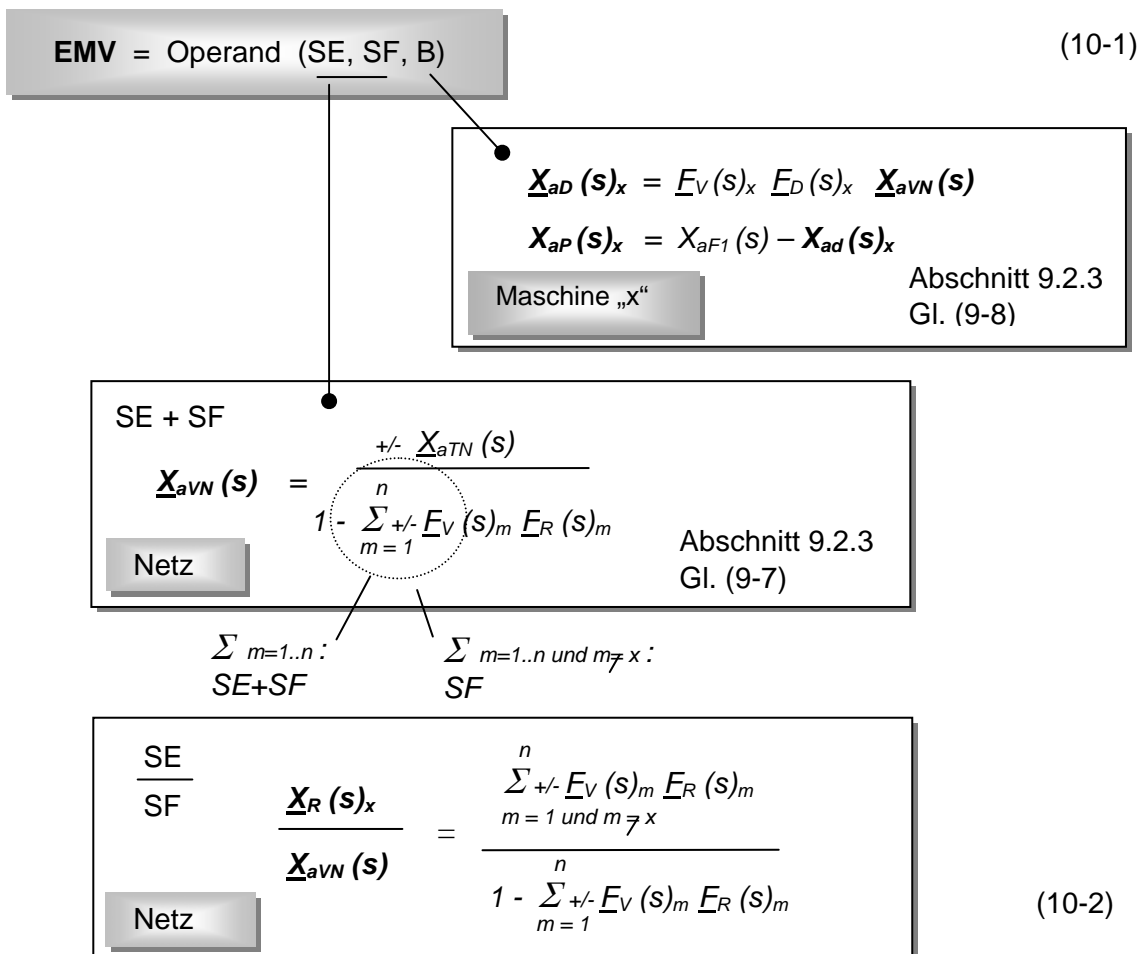
Interessant ist vor allem der Faktor der Betrachtung der direkten und indirekten Beeinflussung der Elektroenergiequalität – vom Autor interpretiert als Eigen- und Fremdstörfestigkeit – der in Bild 10.2 bzw. Bild 10.3 dargestellten Versorgungsknoten (Schnittstellen zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer: IPC_3, IPC_4, IPC_5). Im Fallbeispiel Bild 10.3, Variante b resultiert die Belastung von Station B (IPC_4) zu 100% aus Station C heraus. Vom Standpunkt der Station C gesehen, ist Station B ein nachgelagerter Lastknoten, dagegen Station A ein vorgelagerter Knotenpunkt. Auf Station B wirkt die Belastungssituation der Station C direkt, d.h. 1:1, auf Station A indirekt, d.h. gekoppelt über die Impedanz des Netzes. Je nach Impedanzverhältnis der dort vorhandenen Koppelwege zu vor- und nachgelagerten Koppelpunkten stellt sich der topologisch bedingte Belastungswert im EES ein.

Die Wahl der Ausführung fiel auf Variante b, da hier die allgemeine Minderung an Station C den leichten Anstieg an Station B, wie auch die vereinfachte Fahrweise einer Sticheinspeisung gegenüber der Ringeinspeisung überwiegt (kein gerichteter Schutz notwendig). Vor allem zeigt sich klar und deutlich, dass die ganzheitliche Betrachtung in der Analyse der elektromagnetischen Verträglichkeit den Funktionsinhalt

– vom Autor bezeichnet als Operand zur Umgebung, in vorliegendem Fall den des topologischen Aspektes – wiederzugeben vermag. Elektromagnetische Verträglichkeit am Bindeglied der Versorgung, d.h. an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer, oder erweitert gesehen als Aktion im Elektroenergieversorgungsnetz und Reaktion am Funktionsprozess des Elektroenergieabnehmers ist fassbar. Elektromagnetische Verträglichkeit ist hier gleichzusetzen mit dem Ergebnis des operativen Wirkens zwischen Schnittstelle Netz und Schnittstelle Prozess. Zusammengeführt als Funktionsschnittstelle des Mediums der EE ist die EMV gegenüber dem Grad der Beeinflussung am Nutzungselement nach Gl. 10-1 der Operand der Dualität, gesehen unter Aspekten der

- Eigenstörfestigkeit: **SE** [$X_{aR}(s) = \text{Emission} \times \text{Netz}$] und
- Fremdstörfestigkeit: **SF** [$X_{aVN}(s) = \text{Emission Dritter} \times \text{Netz}$]

B [$X_{aD}(s)$: Störabweichung als Delta,
 $X_{aP}(s)$: Störergebnis am Prozess oder Produkt].



Im Summationsglied für **SE** und **SF** ist die Eigen- und Fremdstörgröße in ihrem Beeinflussungsschwerpunkt dem Störemissions- und Störaussendungsgrad vom und zum Netz hin anzupassen. Hier bedient man sich Erfahrungswerten im Gleichzeitigkeitsverhalten, äquivalent die der Fremdstörgröße der Netzharmonischen (Gl. 7-7, Abschnitt 7.2.3). Am Beispiel der Schweißmaschine mit Mehrpunktschweißung tritt als Belastungsschwerpunkt am Netzknoten die der Spannungsänderung in den Vordergrund. Am Objekt, so zu sehen als Pegeländerungswert (dU/dt) und deren Änderungszahl über die Zeit (Anzahl dU/dt über t) ist das, in der Funktionsgleichung einwirkende Funktionsergebnis mess- und bewertbar. Im vorliegenden Fall fällt es unter den Merkmalbegriff des Flickers. Der am jeweiligen Netzanschlusspunkt sich kumulierende Effekt aus Vorwärts- und Rückwärtszweig der Einzelmaschine $X_{aRN}(s)_{Ma., X}$ wird als Flickergröße bezeichnet. Seit 1987 ist die Flickerbewertung als P_{st} -Verfahren international anerkannt. Der sich einstellende Flickerpegel ist abhängig vom vorliegenden Prozess. Ist beispielsweise $P_{st Ma.1}$, $P_{st Ma.2}$, usw. die vorliegende Flickerstärke der einzelnen, voneinander unabhängigen Anlagen, dann erhält man für den gemeinsamen Flickerpegel als Element der Stabilität der Spannung aus der Literatur /43/:

$$P_{st, ges.} = \sqrt[\alpha]{P_{st Ma.1}^\alpha + P_{st Ma.2}^\alpha + \dots}$$

$$P_{st, ges.} = \sqrt[\alpha]{\sum_{m=1..n} P_{st Teilbel., m}^\alpha}$$

- | | |
|----------------|---|
| $\alpha = 4$ | Überlagerung von Spg.schwankungen mehrer Lichtbogenöfen |
| $\alpha = 3,2$ | bei Überlagerung voneinander unabhängiger Flickererzeuger |
| $\alpha = 2$ | bei stochastischem Rauschen |

→ | „ α “ = ... produktionsspezifischer Wert (10-3)

Das in Gl. 9-8, Abschnitt 9.2.3, und Gl. 10-2 den Summationsprozess wahlweise abbildende Verknüpfungsvorzeichen kann durch Kenntnis des Primärbelasters, im vorliegendem Fall der Schweißmaschine mit Mehrpunktschweißung entsprechend zugeordnet werden. Der Einzelbelaster (Maschine 1.. n) kann am vorliegenden Beispiel durch die Kennziffer „ χ “ – äquivalent α nach Gl. 10-3 – zum Gesamtbelaster nach Schema Gl. 10-4 zusammengeführt werden. Zu diesem Zweck benutzt der Autor die Ausgangsform des Gleichungssystems Gl. 9-7, Abschnitt 9.2.3, und bildet gegenüber den maschinenspezifischen Einzel-

werten den entsprechenden Verknüpfungsbildner. Er ergänzt mit dem Gleichzeitigkeitsfaktor „ g “ die Rückbelastung des Prozesses nach Gl. 9-10, Abschnitt 9.2.3. mit dem der Wirkung zur Vorbelastung aus dem vor- und nachgelagerten Netzknoten im EES zu Gl. 10-5.

$$\text{Gesamtbelastung} = \sqrt[\chi]{\text{Vorbelastung}^\chi + g * \text{Zusatzbelastung}^\chi} \quad (10-4)$$

$$\underline{X}_{aVN}(s) = +/- \underline{X}_{aTN}(s) + \sum_{m=1}^n +/- \underline{X}_{aRN}(s)_{\text{Maschine } m}$$

$$\underline{X}_{aVN}(s) = \sqrt[\chi]{\underline{X}_{aTN}^\chi(s) + g [\sum_{m=1}^n \underline{X}_{aRN}(s)_m]^\chi}$$

χ : Netzelement g : Prozesselement

(10-5)

10.2 Differenzierung der Beeinflussung

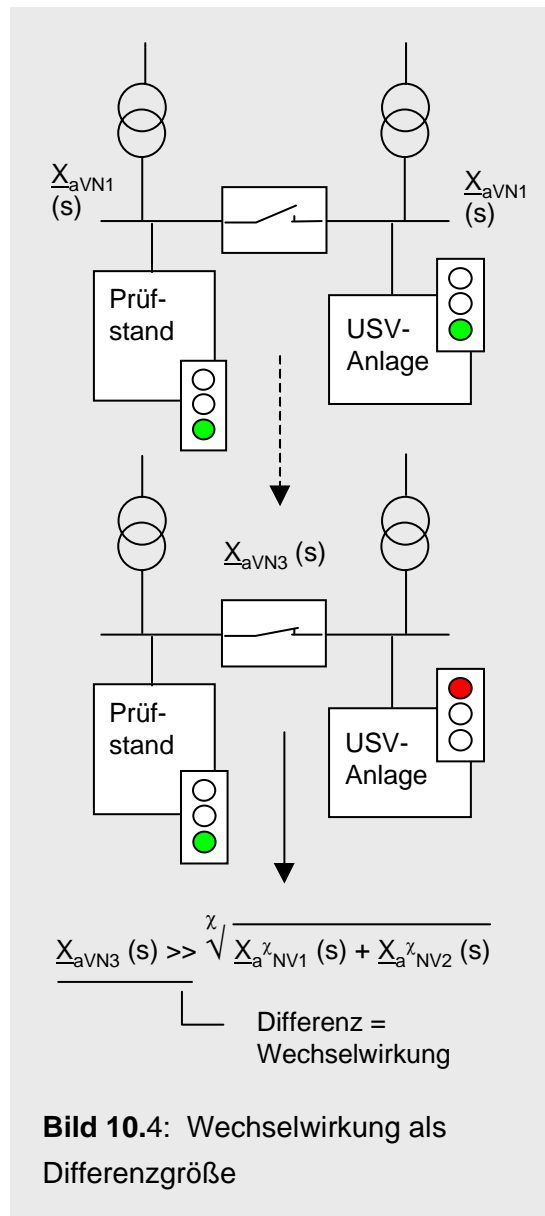
Die Dualität der Materie zwingt zur Differenzierung der Beeinflussung, beispielsweise unter Einbezug zusätzlicher Effekte welche die Wechselwirkung an und um den Schnittpunkt differenzierter als nach Gl. 10-4, Abschnitt 10.1, betrachten lässt. Fokussiert am Reaktionsverhalten des Fallbeispiels der Prüfstandsanlage zum Testen von Kenndaten von Verbrennungsmotoren, Abschnitt 6.4.1, Bild 6.6, entsteht allein durch Kopplung des 400 Volt-Prüfstandsnetzes mit dem 400 Volt-Messnetz ein für beide Elektroenergieverbraucher funktionskritischer Belastungsfall, der momentan durch das Gleichungsgebilde 10-5 nicht abgedeckt ist. Bild 10-4 kennzeichnet den Vorgang durch Gegenüberstellung der Kenndaten der Signalflusskopplung (Abschnitt 9.1.2) einer vorhandenen Ausgangsgröße $\underline{X}_{aVN}(s)_{alt}$ und einer sich neu bildenden Reaktionsgröße $\underline{X}_{aVN}(s)_{neu}$ an der Schnittstelle im Netz nach Bild 9.4, Abschnitt 9.1.2. Zur Schließung der Deckung nach Bild 10.4 gilt es weitere Koeffizienten einzuführen. Eine dritte Größe entsteht, die vom Autor mit den Kennbuchstaben δ und γ belegt wird. Aufgesetzt auf die Erkenntnisse aus dem EMV-Modell der Übertragung, Abschnitt 9.1, stellt der Faktor „ δ “ den Prozessverlauf als Kopplung zwischen der Immunität $\underline{E}_V(s)$ und der Emission $\underline{E}_{RG}(s)$ – Abschnitt 9.1.1 (Signalfussplan) – dar, Faktor „ γ “ den zwischen dem Kopplungsknoten $\underline{E}_{RG}(s)$ und $\underline{E}_{RN}(s)$.

Im Normalbetrieb (Bild 10.4, Querkupp-
lung geöffnet) bilden beide Faktoren
den Faktor 1. Im gestörten Betrieb (Bild
10.4, Querkuppung geschlossen)
kennzeichnet die Differenzgröße die
duale Beziehung der Gesamtbelastung.
Je nach Wechselwirkung vom Prozess
zum Netz (Faktor δ) und vom Netz zum
Prozess (Faktor γ) wird der dort zu hin-
terlegende Funktionswert aus dem
Messergebnis seiner Differenzbildung
generiert.

Faktor δ : Fallbeispiel USV-Anlage
Prüfstandsanlage

Am Fallbeispiel der USV-Anlage
(Abschnitt 6.4.1) beschreibt der Fak-
tor δ die Beeinflussung der Übertra-
gung $\underline{E}_U(s)$ durch den nichtkonfor-
men Betrieb. Das dort durch den
Prüfstand in das Netz eingespeistes
Schwingungspaket (Diagramm Bild
6.6, Abschnitt 6.4.1) ist gegenüber
dem Konformitätsverhalten des Prüf-
standes als unkritisch einzustufen.

Kommt es, wie in Bild 10.4 dargestellt,
zur Zusammenschaltung zwischen Prüf-
stands- und Messnetz, bewirkt das Qualitätsdefizit – im vorliegenden Fall die der
23. Netzharmonischen – im Vorwärtszweig des Stromrichters $\underline{E}_V(s)$ ein überhöhtes
Ausgangssignal. Doch das Ausgangssignal des Vorwärtszweiges konfiguriert das
Eingangssignal des Rückwärtszweiges $\underline{E}_R(s)$ und des Funktionsentscheiders $\underline{E}_D(s)$
der USV-Anlage nach Schema der Signalflusskopplung, Abschnitt 9.1.2, neu.
Äquivalent dem Beispiel der Trennmittelanlage, Abschnitt 9.2.1, geht der Steue-
rungsteil in einen unkontrollierten Betriebszustand über. Das Funktionsdefizit $\underline{E}_D(s)$
(s) führt im vorliegenden Fall zum unkontrollierten Ansteuern des Stromrichters im



Eingangsteil. Eine entsprechende Rückwirkung zum Netz entsteht. Sichtbar ist dieser Wechsel durch die Gegenüberstellung von Event 4 (gestörter Betrieb) zu Event 7 (ungestörter Betrieb, Bild 6.6, Abschnitt 6.4.1. Da entgegen dem Fallbeispiel der Trennmittelanlage kein Sicherheitsbaustein anspricht, wird das Funktionsdefizit durch den Funktionsausfall des Leistungsteils (Thermische Überlastung, dann Zerstörung) im zeitlichen Ablauf begrenzt.

Zur Bilanzierung der Differenz nach Bild 10.4 ist Gl 9-5, Abschnitt 9.2.2, entsprechend zu modifizieren. Das allgemeine Ergebnis stellt Gl. 10-6 dar. Der Wertehalt von „ δ “ ist die Qualitätsdifferenz von Schaltzustand Bild 10.3, Schalter geöffnet, zu Schaltzustand Bild 10.4, Schalter geschlossen.

$$\underline{X}_{aVN}(s) = \sqrt[\chi]{\underline{X}_{aTN}^\chi(s) + g \left[\sum_{m=1}^n \delta_m \underline{X}_{aRN}(s)_m \right]^\chi} \quad (10-6)$$

Faktor γ : Fallbeispiel Schmelztiegelofen

Am Fallbeispiel des Schmelztiegelofens, Abschnitt 6.4.2, ist der gestörte Betrieb mit Zerstörung des Anlagentransformators Schmelztiegelofen zwar auf die Unsymmetriebildung, d.h. den Faktor δ rückführbar, doch die Ursache der Unsymmetriebildung ist die Wechselwirkung zwischen Netz und Anlage, d.h. der Faktor γ . Hier kennzeichnet der Faktor γ den Effekt der Störpotentialanhebung durch die Reihenresonanz zwischen Netz und Anlage. Entgegen der objektorientierten Einbeziehung des Faktors δ , wirkt der Faktor γ gegenüber der Vor- und Zusatzbelastung gleichermaßen. Die Einordnung im Gleichungssystem nach Gl. 10-6 hat an zentraler Stelle zu erfolgen.

$$\underline{X}_{aVN}(s) = \gamma \sqrt[\chi]{\underline{X}_{aTN}^\chi(s) + g \left[\sum_{m=1}^n \delta_m \underline{X}_{aRN}(s)_m \right]^\chi} \quad (10-7)$$

Je nach dem Elektroenergiequalitätsmerkmal der Spannung an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer ist zur Differenzierung gegenüber der Umgebung die Gesamtbelastung geteilt zu betrachten. Am Beispiel des Schmelztiegelofens wirkt hier das Merkmal der Spannung der Netzharmonischen als $\underline{X}_{aVN}(s)_{Harm.}$ und die der Unsymmetrie als $\underline{X}_{aVN}(s)_{Unsym.}$. Bei beiden Betrachtungsschwerpunkten – die der Netzharmonischen, die der Unsymmetrie – gilt Gl. 10-7 gleichermaßen.

Das Störungssegment der Unsymmetrie setzt im diesbezüglichen Fallbeispiel den Faktor der Netzbelastung γ auf 1 und selektiert den Faktor δ durch die Differenzgröße zwischen ungestörtem und gestörtem Betrieb. Analog dazu umschreibt das Störungssegment der Harmonischen primär den Faktor γ . Sein sich abbildendes Resonanzverhalten entspricht dem Wertebereich als Differenzgröße (Resonanzfaktor) zwischen dem normalen und dem gestörten Verhalten.

Zusammenfassung:

Das Ergebnis der Gesamtbelastung als Differenzierung der Schnittstelle ist in seiner allgemeinen Form fassbar als:

$$\underline{X}_{aVN}(s) = \gamma \sqrt[\chi]{\underline{X}_{aTN}^\chi(s) + \mathbf{g} [\sum \delta_m \underline{X}_{aRN}(s)_m]^\chi}$$

$\gamma, \delta = 1$: Ungestörter Betrieb

$\gamma, \delta > 1$: Gestörter Betrieb, Wert in Stufen der Situation angepasst

(10-8)

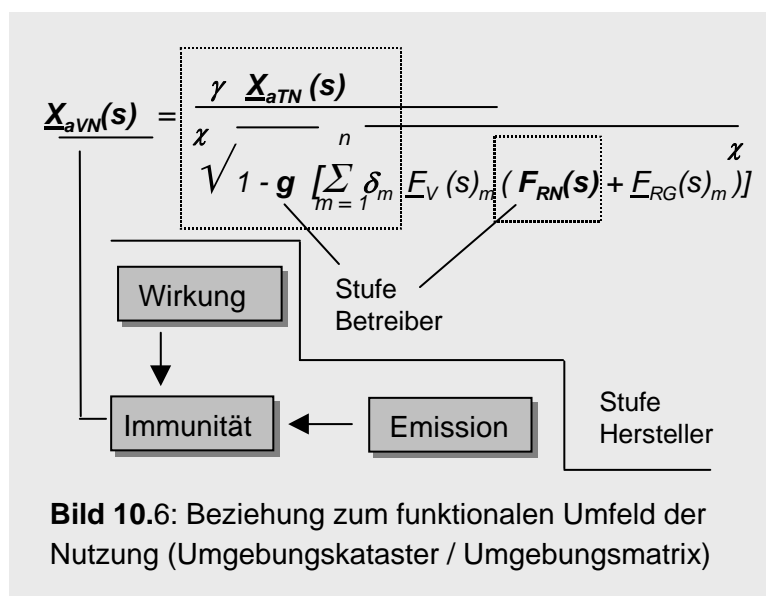
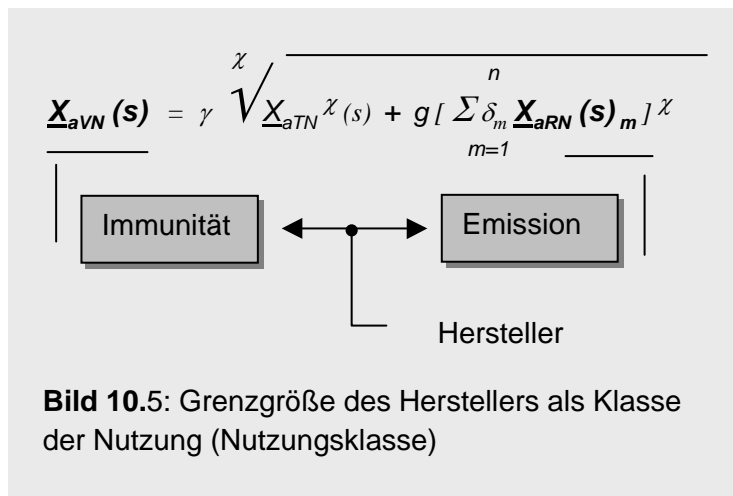
10.3 Differenzierung in der Handhabung

Die Schnittstelle als Operand der Belastung, ist gegenüber der Differenzierung ihrer Wirkung zur Umgebung um die Differenzierung in der Handhabung zu ergänzen. Als Wertelement der Eigen- und Fremdstörfestigkeit nach Gl. 10-1, Abschnitt 10.1,

entspricht die Beeinflussung am Nutzungselement einer, in der betrieblichen Praxis getrennt vollzogenen Handhabung. Je nach Standort des Betrachters (Planer oder Hersteller, Betreiber oder Nutzer) wird momentan unterschieden in:

1. Außenbeziehung: $\underline{X}_{aVN}(s)$ als Pegelwert der Belastung der Anlage gegenüber der Funktionalität (Herstellerverpflichtung: Immunität $\underline{X}_{aVN}(s)$ und Emission $\underline{X}_{aRN}(s)$, Gl. 10-6, Abschnitt 10.2.
2. Innenbeziehung: γ als Reaktion Maschine zu Netz / δ als Reaktion Netz zu Maschine / χ als Reaktion Netz zu Netz (Nutzerverpflichtung: $\underline{X}_{aVN}(s)$ als Funktion von $\underline{E}_V(s)$ und $\underline{E}_R(s)$, Gl. 10-8, Abschnitt 10.2).

Versinnbildlicht als Wirkung der Benutzung am Nutzungsort nutzt man die Umschreibung der Pässlichkeit an und um den Elektroenergieabnehmer (Maschine, Geräte, Einrichtung) zur Strukturierung der Verbindlichkeit.

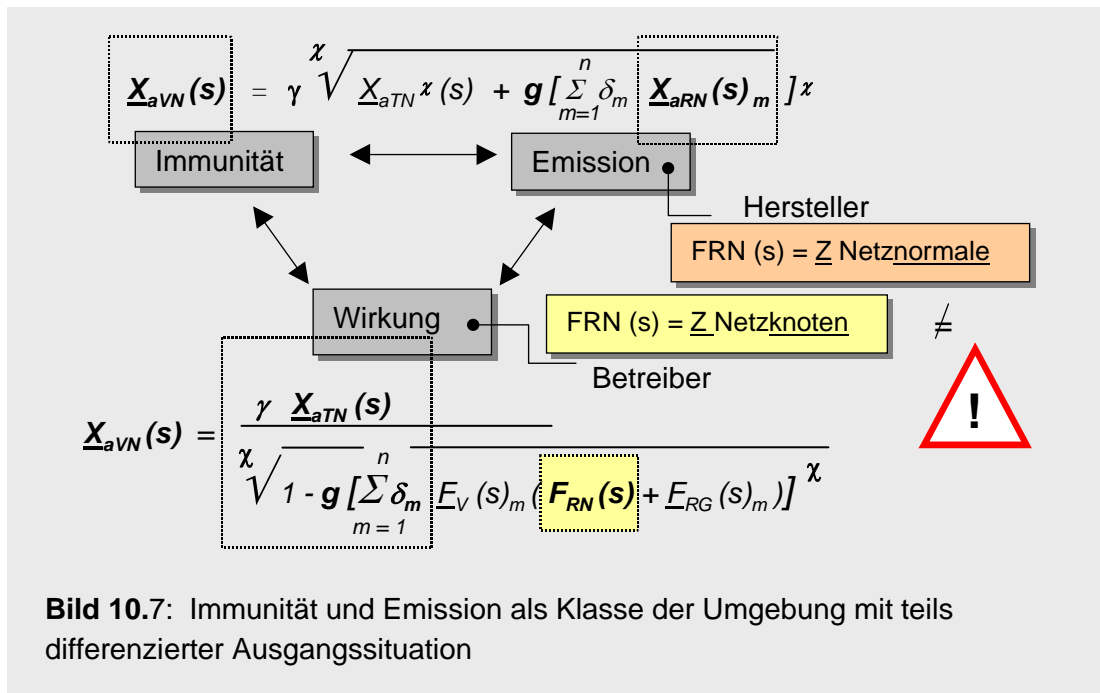


Am Beispiel der Außenbeziehung entsteht unter Aspekten der Kennzeichnung durch den HERSTELLER die Kategorie der Einteilung von Betriebsmitteln in ihrer Funktionalität und Sicherheit als Klasse der Belastung. Die Grenzgröße des Herstellers, betrachtet als Klasse der Belastung nach Bild 10.5, nutzt die Zuordnung zur Einordnung der Verträglichkeit in Nutzungsklassen. Die Zuordnung zur Umgebung entspricht der Umgebungsklasse als Raum oder Rahmen der Nutzung. Gegenüber dem Handlungsfeld als Handhabung des BENUTZERS entsteht unter Aspekten von Bild 10.6 die Beziehung zum funktionalen Umfeld.

10.3.1 Umgebungsklasse

Die Einteilung der elektromagnetischen Verträglichkeit von Elektroenergieabnehmern in Verträglichkeitsklassen nach DIN EN 61000-2-4 /21/ charakterisiert den Gebrauch der Elektroenergieabnehmer am Elektroenergieversorgungsnetz, z.B. nach der Einteilung in Klassen der Verträglichkeiten. Benutzt auch als Klasse zur Umgebung zur Deklaration der Immunität elektrotechnischer Maschinen, Geräte und/oder Anlagen verpflichten den Hersteller als Lieferant und den Nutzer als Benutzer von Elektroenergieabnehmern gleichermaßen. Hier charakterisiert der in der DIN EN 61000-2-4 jeweils für die Einzelklasse hinterlegte Grenzwert eines Merkmalkriteriums die Beziehung zum funktionalen Umfeld der Nutzung nach Sicht Bild 10.5 und Bild 10.6, Abschnitt 10.3, unter dem Gesichtspunkt folgender Einteilung:

- Klasse 1: Diese Klasse gilt für geschützte Versorgungen und besitzt Verträglichkeitspegel die kleiner als die Pegel der öffentlichen Netze sind. Sie bezieht sich auf den betrieb von Maschinen und Geräte die sehr empfindlich auf Störgrößen in der Stromversorgung reagieren.
- Klasse 2: Diese Klasse beschreibt die Versorgung über das öffentliche Elektroenergieversorgungsnetz. Zusätzlich umfasst sie die Qualitätsansprüche für industrielle und nicht öffentliche Stromversorgungsnetze. Im industriellen Sprachgebrauch wird Klasse 2 geführt als Industrieumgebung 1.
- Klasse 3: Diese Klasse umfasst anlageninterne Anschlusspunkte im industriellen Umfeld. Ihre Verträglichkeitspegel sind gegenüber der einer Klasse 2 angehoben. Ihre Bezeichnung im industriellen Umfeld, d.h. gegenüber der Elektroenergieversorgung aus dem nichtöffentlichen Netz, ist Industrieumgebung 2.



In der Regel entspricht beim Hersteller die Klasse der Immunität auch die der Emission. Hier wird das Gerät als Einzelsystem betrachtet, so dass bei Nutzung durch den Kunden stets die Eigenstörfestigkeit abgesichert ist. Dazu nutzt der Hersteller die Transformation der Übertragung $E_{RG}(s) \rightarrow E_{RN}(s)$ als $E_R(s)$ um die im Beipackzettel aufgelistete Emissionsgröße $\underline{X}_{aRN}(s)$ an der Netznormale $\underline{E}_{RNN}(s)$ zu spiegeln. Die den Emissionsprozess bestimmende Ersatzstromquelle $i(t)$ wird zur Ersatzspannungsquelle $u(t)$ und gibt die Einteilung des sich einstellenden Pegelwertes bei Nennbelastung zur Umgebungsklasse an. Die differenzierte Ausgangssituation zwischen der Sichtweise des Herstellers und der Nutzungsumgebung des Kunden, Bild 10.7, extrapoliert sich mit der Wirkung von n-Anlagen, gekoppelt über den Koeffizienten der Gleichzeitigkeit g , gespiegelt über der sich lokal einstellende Reaktionskoeffizienten zwischen Netz zu Netz zum Summennetz χ , zwischen Summennetz und Anlage δ , und zwischen Anlage und Summennetz γ . Eine Standardisierung der Sprache als Zuordnung der Fakten ist angesagt. Dieses kann in Stufen erfolgen.

- Stufe I charakterisiert die Wirkung als Grenzwirkung zwischen den jeweiligen Infrastrukturknoten eines Kunden, bezeichnet als Festlegung der Umgebungsklasse zum Umgebungskataster.
- Stufe II verfeinert den Charakterisierungsgrad zum Inhalt am Einzelknoten als Umgebungsmatrix.

10.3.2 Umgebungskataster

Das Umgebungskataster dokumentiert zu lokalisierende Bereiche im EES unter Gesichtspunkten einer operativ vorhandenen und strategisch zugelassenen Elektroenergiequalität einzelner Netzknotenpunkte (PCC, IPC) bei der Versorgung mit dem Produkt EE. Das Umgebungskataster visualisiert die Varianz von Emission und Immunität in einem topologischen Netzgebilde, z.B. dem des Elektroenergieversorgungsnetzes gegenüber einer x-beliebigen Verknüpfungsstelle (PCC, IPC), z.B. die der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer. Im Sinne von Auflagen und Vorgaben dient das Umgebungskataster in erster Linie der Strukturierung von Kernaussagen zum physikalischen Umfeld an der zu betrachtenden Schnittstelle, zu sehen unter den Aspekten aus Abschnitt 9 gegenüber dem Prozess oder dem Produkt beim Anschluss eines spezifischen Elektroenergieabnehmers.

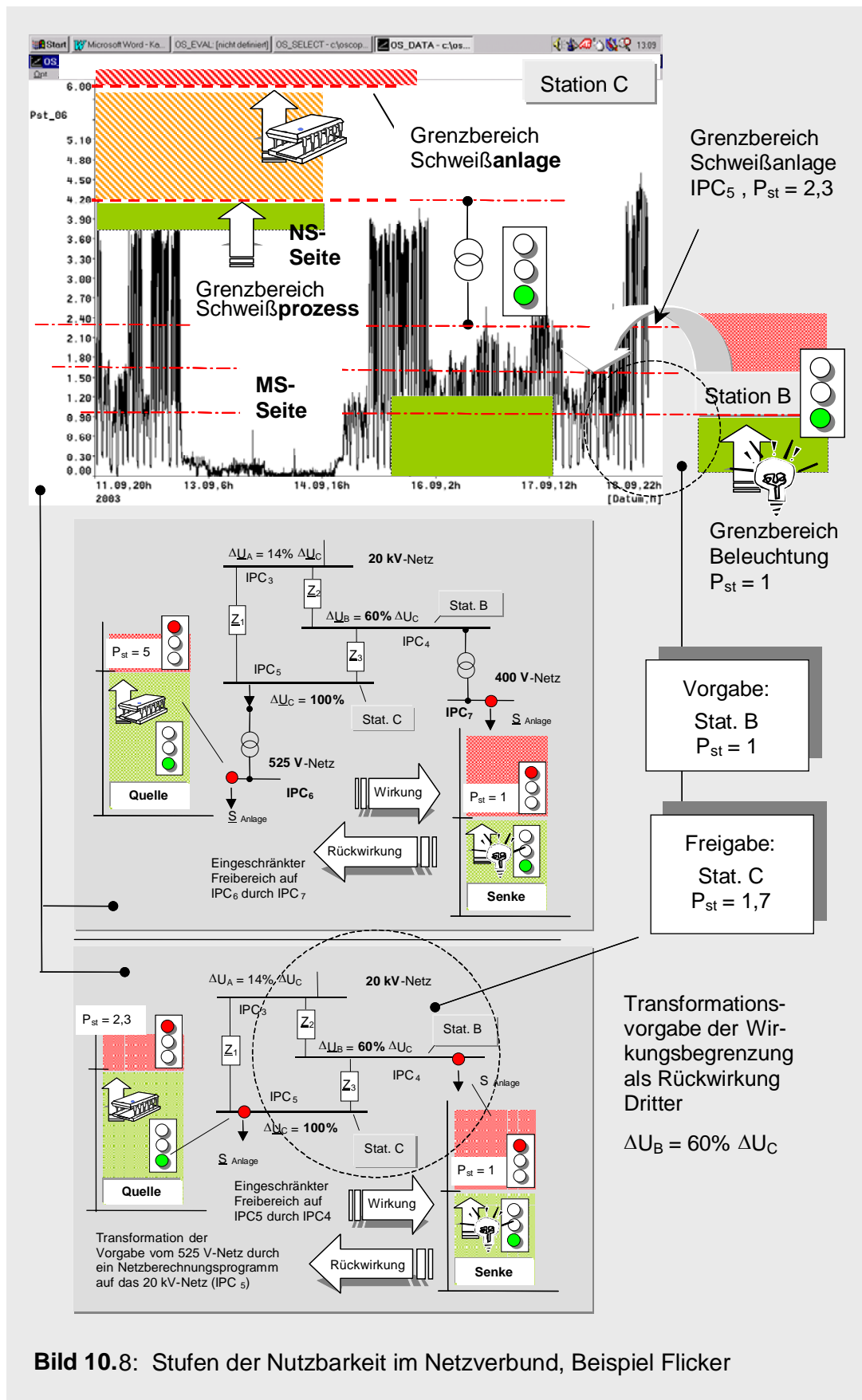
Bei Erweiterung, Umbau oder Ergänzung einer infrastrukturellen Nutzung am Elektroenergieabnehmer oder am Elektroenergieversorgungsnetz ist die sich einstellende Änderungsbeziehung zum funktionalen Umfeld einer bilateralen Wirkung mit den im Umgebungskataster hinterlegten Grenzwertbeziehungen einer Elektroenergiequalität abzugleichen. Eingebunden in die strategische Planung einer Maßnahme liefert das Umgebungskataster am Umgebungs- oder Nutzungsort – vom Autor auch als EMV-Kataster bezeichnet – stets das dort notwendige energetische Abbild zur Absicherung der elektromagnetischen Verträglichkeit. Hier gilt es vor allem die Aspekte der sich beeinflussenden Teilmerkmale, wie z.B. die der schnellen Spannungsänderung gegenüber dem sich dadurch abbildenden Flicker zu optimieren, und bei entsprechender Grenzwertüberschreitung mit entsprechenden EMV-Maßnahmen – Thema Abschnitt 2.3.4.1, Tabelle 2-9 und 2-10 – zu belegen. Die Vorgabe von Grenzmerkmalen einer Spannung im Umgebungskataster stellt im Vergleich zur Umgebungs-klasse gesehen nicht mehr nur den, unter diesem Gesichtspunkt der Sicherheit nach DIN EN 60204-1, Abschnitt 4.3.1 (Schutzziel Elektrik), fixierte Klassenkennung dar, sondern das Schutzziel zur Funktionalität. Hier zeigt sich der Unterschied zwischen Umgebungskataster und Umgebungs-klasse dahingehend, dass das Umgebungskataster gegenüber der Umgebungs-klasse nach DIN EN 61000-2-4 eine Stufe feiner sondiert. Im EMV-Kataster (Umgebungskataster) gilt nicht mehr nur die Grenzgröße der Immunität (Festigkeit) der Elektroenergieabnehmer als Konformitätsgrenze, sondern zu-

sätzlich die der Grenzgröße zur Funktionalität im Prozess und, bzw. oder am Produkt. Stets gilt der niederste Wert im Merkmalsegment der Elektroenergiequalität zur Absicherung der Konformität nach Schema Bild 9.6, Abschnitt 9.2.1, unter Qualitätssicherungs- und Qualitätsmanagementgedanken einer industriellen Fertigung bzw. Dienstleistung.

Im Fall der Schweißmaschinen mit Mehrpunktschweißung, Abschnitt 5.3.1, 9.2.2, 9.2.3 und 10.1, zeigt sich die Stufung zwischen dem Schutzziel der Umgebungsklasse und dem Funktionsziel des Umgebungskatasters bereits in der Phase der Zusammenführung von Einzelanlage zu einer Anlagengruppe. Gegenüber der Vorgabe von Immunität und Emission entsteht je nach Gleichzeitigkeit ein Summenemissionswert, der vom Planer als Beauftragter des Betreibers im Strukturgebilde des EES einzubinden ist. Hier bedingt n-fache Emission, z.B. die der Klasse 2 eine x-fache Belastung, die nicht zwangsweise am Einsatzort zur Unterschreitung der Funktionalitätsgrenze führt. In der Regel kann eine Neuanlage (Maschine, Gerät) einen gewissen Belastungsanstieg auch oberhalb der angegebenen Immunitätsgrenze verkraften. Doch die Frage stellt sich nach dem Altbedarf am Netzknoten, d.h. weiteren, dort bereits betriebenen Elektroenergieabnehmern. Hier kann durchaus ein, im gleichen Umgebungsraster eingebundene Maschine (Elektroenergieabnehmer), zum zu bildenden Funktionsinhalt gesehen, unterschiedlich stark reagieren.

Beispiel:

Die strategische Wahl des Versorgungskonzeptes der Schweißmaschine Abschnitt 10.1, Bild 10.2 und 10.3, Variante a bis c, ist so ein Fallbeispiel. Hier gilt es nicht nur den Funktionsbestand der Schweißmaschine (Flickergrenze P_{st} bis 4,2) am Schnittpunkt der Versorgung im Niederspannungsnetz der Station C zu wahren, sondern den im Mittelspannungsnetz der Elektroenergieversorgung anteilmäßig sich bildenden Flickeranteil abzuklären. Dieses hat am Beispiel zu erfolgen gegenüber dem Altbestand der Betriebsmittel an Station A und B, d.h. den zu Station C vor- und nachgelagerten Netzknoten. Sind dort am Fallbeispiel der Lagerhalle an Station B Beleuchtungseinrichtungen mit zu versorgen, so gilt es die punktuelle Belastungsgröße an der sich lokal ausbreitenden Störgröße gegenüber dem schwächsten Glied der Versorgungskette auszurichten. Der Orientierungsfall am konkreten Beispiel zeigt in dieser Beziehung eine niederspannungsseitige Grenzwertvorgabe an der Station B. Mit einer maximal möglichen Flickerbelastung von



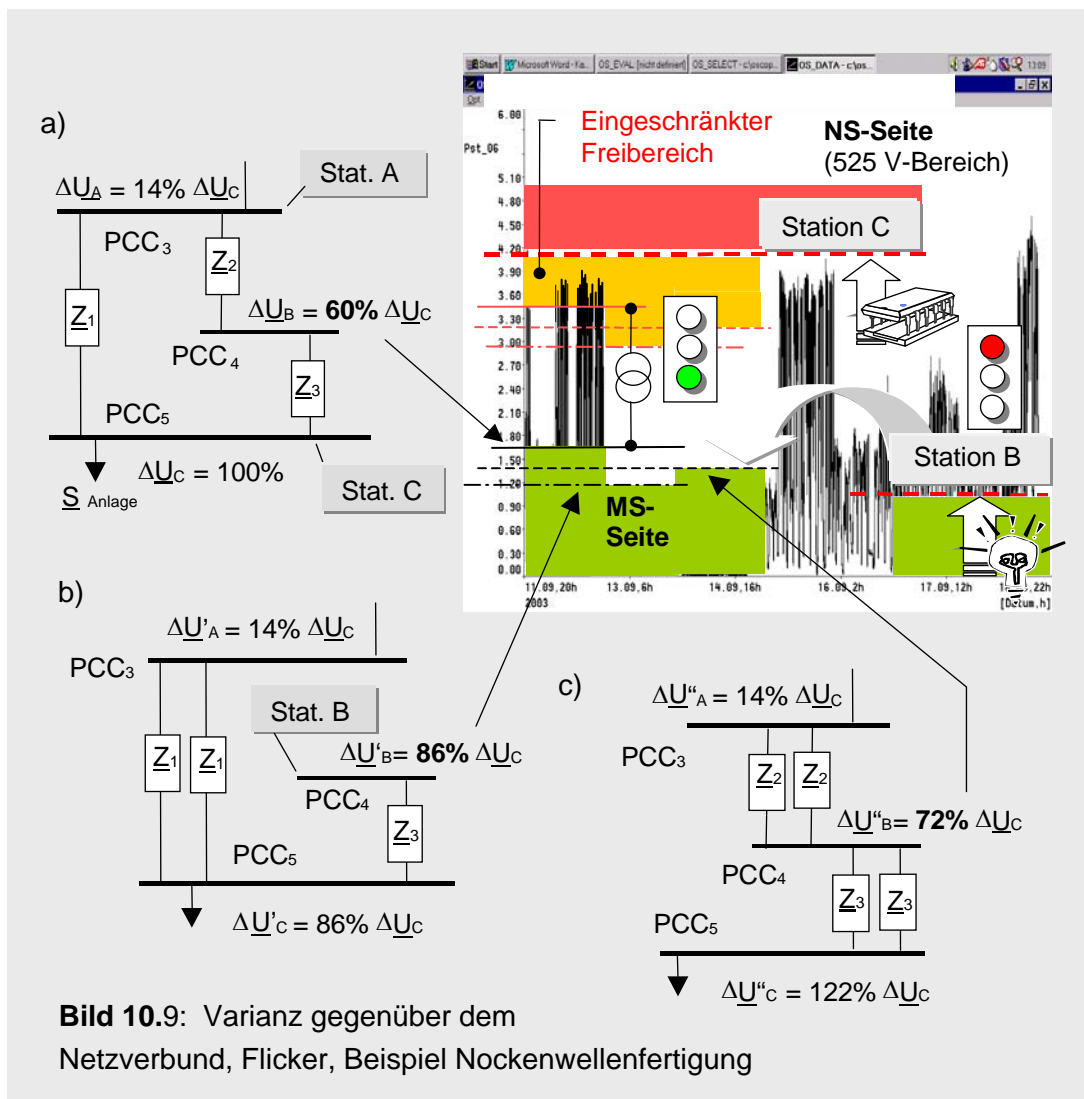
$P_{st} \leq 1$ (Beleuchtungsmittel: Lagerraumbeleuchtung) gibt sie den Ton im Umgebungskataster der Knotenpunktsbelastung vor. Ab Flickerwerten $P_{st} > 1,0$ ist zwar die Sicherheit der Beleuchtungsmittel weiterhin gewährleistet, doch die Funktionalität gegenüber der Nutzung wird durch die teils störend wirkende Leuchtdichteschwankung stark eingeschränkt, d.h. ist für den Betriebsablauf nicht tragbar.

Bild 10.8 nutzt das Fallbeispiel der Variantenbildung der Versorgung der Schweißmaschine mit Mehrpunktschweißung, Abschnitt 10.1, Bild 10.2 und 10.3, Variante a, um unter Aspekten der Nutzbarkeit im Netzverbund eine Stufung der Belastungsfähigkeit (Qualitätsminderung am Netzanschlusspunkt Station B) zu generieren. Vorgegeben durch das auf der Niederspannungsseite der Station B wirkende Beleuchtungsmittel wird für den Niederspannungsversorgungsbereich der Station B (Bild 10.8: 400 V-Netz IPC_7) im UMGEBUNGSKATASTER die Flickerstärke 1,0 als Grenzgröße festgeschrieben. Die Flächenbelastung der Quelle an Station C (Schweißmaschine mit Mehrpunktschweißung) hat gegenüber dem Umgebungskataster diesen Wert zu respektieren. Die Ausbreitung der am Niederspannungsanschlusspunkt der Schweißmaschine quantifizierbare Störgröße (stoß-artige Belastung aus Wirkleistung P und Verschiebungsblindleistung $Q_{ind.}$) ist als Flickerergebnis im Lastdiagramm, Bild 10.8, als P_{st} -Verlauf am 525 V-Versorgungsknoten IPC_6 über die Zeit dargestellt. Entsprechend der Transformatorbeschaltung zwischen Mittelspannungs- und Niederspannungsnetz der Station C ist bei der Betrachtung zur Wirkung an Station C die Transformation des Flickers vom Niederspannungsversorgungsnetz IPC_6 auf das Mittelspannungsversorgungsnetz IPC_5 , in Bild 10.8 mit dem Kennbild des Transformators im Flickerdiagramm dargestellt. Der prozessbedingte Grenzwertfall auf der Niederspannungsseite $P_{st} = 5$ spiegelt sich durch das Impedanzverhältnis des EES (Stationstransformator, topologisches Netzwerk) auf der Mittelspannungsseite der Station C (IPC_5) zu einem Wert von $P_{st} = 2,3$. Da der Niederspannungsversorgungsknoten der Station B (IPC_7) gegenüber dem Mittelspannungsnetz (IPC_4) die Senke darstellt, überträgt sich der am Mittelspannungsnetzknotten der Station B sich einstellende Störpegel der Station C auf den Niederspannungsnetzknottenpunkt 1:1 (Bild 10.8: mit Wirkung bezeichnet).

Für die Klärung des Freibereichs, so zu sehen als Grenzgröße der Nutzbarkeit von Station C gegenüber Station B erfolgt die Eingrenzung rückwirkend aus Station B heraus (Bild 10.8: mit Rückwirkung bezeichnet). Entsprechend den Bewertungen

aus Abschnitt 10.1, wirkt die Versorgungsvorgabe der Station B über die differenzierende Versorgungsalternative (Fallbeispiel a bis c) mit unterschiedlicher Grenzgrößenabzeichnung gegenüber der Station C.

Bild 10.9 kennzeichnet diesen Vorgang zum Fallbeispiel der Schweißmaschine am realen Objekt und zeigt gegenüber allen drei Versorgungsvarianten (Variante a bis c, Bild 10.2 und 10.3) die eingrenzende Wirkung die einmal mehr einmal weniger stark ausgeprägt ist (Bild 10.9 Grenzkennlinie Variante a, b, c). Im Bild 10.9 blendet der gelb hinterlegte Störgrößenbereich den im Funktionsverhalten der Schweißmaschine normalerweise nutzbaren Bereich aus. Als verschenkter, bzw. eingeschränkter Freibereich dokumentiert er den Funktionsbereich einer Störgröße, die gegenüber der Station B gesehen, dort NONKONFORMITÄT erzeugt.



Tritt der Ist-Belastungspegel an Station C (P_{st} -Belastungsdiagramm, Bild 10.9) über den vom vor- oder nachgelagerten System freigegebenen Grenzpegel (rote, strichpunktierte Grenzkennlinie der Versorgungsvariante a, b und c) muss gegenüber dem Produktionsgeschehen an der Station B in der Station C eine entsprechende Belastungseinschränkung erfolgen. Ergänzend zur Steuerungsvariante Bild 9.20, Abschnitt 9.2.3, kann dieses beispielsweise bedeuten:

- eine Eingrenzung der parallelen Freigabe im EEQ-Steuerungssystem, oder
- eine Anhebung der Kompensationsleistung, oder gar
- eine Anhebung der Kurzschlussleistung am Netzknoten, z.B. durch Parallelschaltung eines weiteren Netztransformators, wenn die maximale Netzkurzschlussleistung der Anlage dieses noch zulässt, oder
- die Splittung am Netzknoten aufgeschalteter Betriebsmittel (Gruppe von Schweißmaschinen) auf weitere Netzknoten, das einen, unter Umständen enormen finanziellen Aufwand bedeutet.

Ergebnis:

In Absprache mit der Produktion und dem Netzbetreiber des vom Autor betrachteten Industrieunternehmens entstanden drei Losgrößen.

- Losgröße „A“ besteht in der Eingrenzung der Freigabestrategie der Schweißmaschine, d.h. der Freigabesteuerung der Einzelmaschinen unter Gesichtspunkten der Wirkung von Lastüberschreitungen zum Gesamtergebnis Flicker an Station B. Geplant ist momentan die Kopplung zwischen der Freigabesystematik vom Prozess der Schweißmaschine als Rückwirkung der EEQ am MS-Knoten IPC_5 . Die Wirkung am MS-Knoten IPC_5 setzt sich zusammen als Summand aus der Eigenwirkung der Schweißmaschinen und der Belastung aus vor- und nachgelagerten Netzknoten (IPC_3 , IPC_6), abgestimmt auf die Bedürfnisse der Station B (IPC_4). Hier ist der Flicker am IPC_4 der indirekte Master der Laststeuerung am IPC_5 (Bild 10.10: hervorgehobene rot gestrichelte Linie).
- Losgröße „B“ besteht in der Korrektur der Entscheidung aus Fallbeispiel Bild 10.2, 10.3, Abschnitt 10.1, in dem statt der dort bevorzugten Versorgungsvariante – Variante b – zu Gunsten reduzierter Belastungswerte an der Station B die Versorgungsvariante a gewählt wurde. Trotz lokaler Anhebung der Reaktionsmuster

beim Betrieb der Schweißmaschinen an Stat. C (Bild 10.9: Variante a = 100% ΔU_C / Variante b = 86% ΔU_C) gewinnt diese Variante durch ihre geminderte Einschränkung aus Stat. B heraus (Bild 10.9: Variante a = 60% ΔU_C / Variante b = 86% ΔU_C). Die entsprechende Konzeptstrategie im Werksverbund dokumentiert Bild 10.10 als Ergänzung vom Konzeptmodell Bild 9.20, Abschnitt 9.2.3, jedoch erweitert um die EEQ-Informationskenngröße der Station B.

- Losgröße C besteht in der direkten Funktionskopplung zur Beleuchtungseinrichtung im Niederspannungsversorgungsnetz der Station B (Bild 10.8: IPC7) mit dem Ziel des autarken Eingriffs eines EEQ-Systems. Je nach Anforderungsprofil des schwächsten Nutzers – Hallenbeleuchtung EIN: Flicker $P_{st\ IPC7} \leq 1$ / Hallenbeleuchtung AUS: Flicker $P_{st\ IPC7} > 1$ / Bild 10.10 hervorgehobene rote Volllinie – entsteht eine autark arbeitende Funktionseinheit mit der Konzeptstrategie die den maximalen Freiraum am „Quality-Gate EE“ der Schnittstellen IPC₆ nutzt als Grenzwertkennlinie Schweißanlage, bzw. IPC₇ als Grenzkennlinie Beleuchtung.

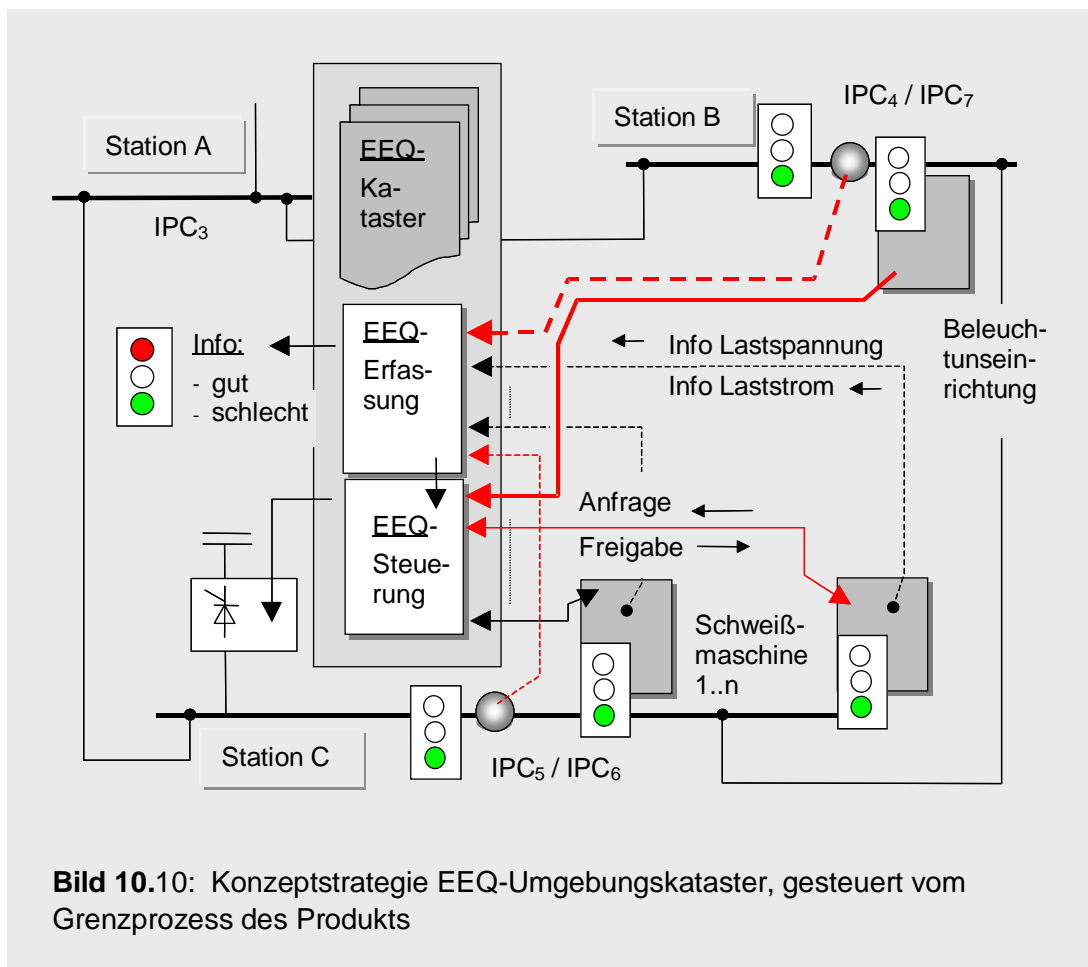


Bild 10.10: Konzeptstrategie EEQ-Umgebungskataster, gesteuert vom Grenzprozess des Produkts

10.3.3 Umgebungsmatrix

Vertieft man das Kataster als Matrix zur Umgebung, kann z.B. nach Prof. Ernst Habiger /29/ die Kombination der Belastung für jede Maschine, jedes Gerät, jeweils getrennt nach Störquelle und Störquelle in einer Umgebungsmatrix zusammengefasst werden. Der gegenseitige Abgleich der Beeinflussung im Betriebsverbund kann nach Schema Bild 10.11 durch zeilen- und spaltenweise Gegenüberstellung einer Störquelle mit einer Stör-

		Störquellen						
		A	B	C	G	U
Störquellen	A		-	+	+	-		-
	B	-		-	+	+		-
	C	-	+		+	+		+
	-	+	+		-		+
	G	+	-	+	+			
							
	U	-	-	+	+	+		

Bild 10.11: Matrix der Belastung zur Umgebung

quelle – im Grunde jeder Störquelle mit jeder Störquelle – erfolgen. Die direkte Gegenüberstellung ermöglicht die Selektion kritischer Kombinationen auch unter Aspekten der systematischen Erkennung und Aufdeckung von Beeinflussungsschwerpunkten. Im Umfeld von Maßnahmen, wie die der Projektierung, der Revision, dem Aus- und Umbau, der Erweiterung oder Modernisierung von Anlagen ist die systematische Aufdeckung von Schwachstellen, d.h. Netzkonstellationen nichtkonformer Art für das Gelingen der Gesamtmaßnahme mitentscheidend.

Heruntergebrochen auf das Funktionsmodell der Übertragung, Abschnitt 4.2, repräsentiert der Zeilenvektor den im Signalflussplan, Abschnitt 4.2.2, definierten Vorwärtszweig $\underline{E}_V(s)$, der Spaltenvektor den Rückwärtszweig $\underline{E}_R(s)$ der Übertragung. Den einzelnen Betriebselementen eines Netzknoten oder eines Netzverbunds werden freie Kennbuchstaben zugeordnet (Buchstabe A, B, C,). Der Einzelbuchstabe repräsentiert die Verbrauchergruppe, wie z.B.:

- Maschine und/oder Anlage mit gesteuertem Gleichrichter,
- Maschine und/oder Anlagen mit Pulswechselrichter,

A
B

- Industrielle Messtechnik,
- Computersystem oder Geräte mit erhöhter Anforderung, an die Versorgungssicherheit,
- Gebäudetechnik,
- Beleuchtungseinrichtung für den Arbeitsplatz,
- Sonstige Beleuchtungseinrichtung,
- Sonstige IT-Geräte oder Büromaschine,
- Elektrowerkzeug > 16 Ampere je Phase,
- Elektrowerkzeug <= 16 Ampere je Phase,
- Haushaltsgerät im Industrieinsatz,
- Unterhaltungselektronik als Multimediaanwendung.

C
D
E
F
G
H
I
J
K
L

Umgesetzt am Beispiel der Netzeinbindung der Schweißmaschinen aus Abschnitt 10.3.2 entspricht der dort am Versorgungsknoten der Station C, Bild 10.10, anzusetzende elektrotechnische Prozess dem der Verbrauchergruppe vom Typ A (Maschine mit gesteuertem Gleichrichter). Der stoßartige Prozessverlauf beim Schweißprozess (Lastzeit: 15 bis 30 Perioden) fokussiert die Matrix der Belastung auf das Qualitätsmerkmal des Flickers. Hier stellt die Schweißmaschine eine Quelle dar. Aus diesem Grund heraus wird sie in der Matrix der Belastung zur Umgebung mit einem roten Punkt auf der Seite der Störquellen markiert. Die Lagerbeleuchtung des Fallbeispiels, Bild 10.10, Abschnitt 10.3.2, Station B, entspricht der Definition des Kennbuchstaben G. Als Verbrauchergruppe der allgemeinen Beleuchtung stellt sie im Parameterbereich der Flickerbelastung einen passiven Verbraucher dar, d.h. eine Senke (Bild 10.11, roter Punkt bei Störsenke). Der schaltungstechnisch zu untersuchende Netzabschnitt (Beispiel Abschnitt 10.3.2, Bild 10.9, Versorgungsvariante a bis c) kennzeichnet die Rahmenbedingungen der Kopplung nach Abschnitt 8.2 (Kopplungsarten spezifisch) über den Kennbuchstaben „U“ für Umgebung.

Im Verlauf der EMV-Arbeit werden die einzelnen Felder der Umgebungs- bzw. Beeinflussungsmatrix entsprechend dem Grad der Beeinflussung als Quelle (Beispiel Schweißmaschine mit Mehrpunktschweißung, Kennbuchstabe „A“) gegenüber beliebigen beteiligten Komponenten der Senke (Beispiel Beleuchtungsmittel, Kennbuchstabe „G“) risikoorientiert markiert. Gegenüber der Umgebung „U“ gilt es die topologische Vorbelastung (Quelle), aber auch die der Entlastung (Senken) zu dokumentieren. Die Markierung im Raster erfolgt mit:

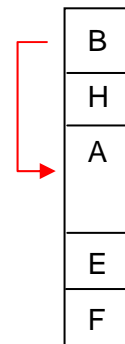
- **EINEM „+“** : Keine Beeinflussung, d.h. Verträglichkeit ist gesichert.
- **EINEM „-“** : Beeinflussungsgefahr, bzw. Verträglichkeit nicht gesichert.

Setzt sich beispielsweise eine Maschine oder ein Gerät aus unterschiedlichen Typen von Verbrauchern zusammen, und es liegt für die Gesamtanlage kein ordentliches Zonenkonzept der Verträglichkeit vor, ist die Matrix der Belastung zuerst auf das Einzelobjekt herunterzubrechen. Das Einzelergebnis als Quelle oder Senke ist in einem nachfolgenden Schritt an der Gesamtmatrix zu spiegeln.

Beispiel:

Das Technikkonzept der Prüfstandsanlage für Verbrennungsmotoren (Fallbeispiel Abschnitt 6.4.1) umfasst als Prüfstandsgerät mehrere, in sich selbst abgeschlossener Funktionseinheiten. Nach der Definition des Begriffs Gerät (EMVG, Abschnitt 4.2.2.2: Anlage, System, Apparat und Netz) überdeckt der ganzheitlich abzuarbeitende Funktionsprozess der Prüfstandsanlage mehrere, unter EMV-Aspekten different zu betrachtende Verbraucherguppen, wie:

- Antrieb mit Pulswechselrichter,
- Steuerung und Signalisierung in allgemeiner IT-Technik,
- eingesetzte industrielle Messtechnik, versorgt von einer USV-Anlage in gesteuerter Gleichrichtertechnik,
- allgemeine Gebäudetechnik zur Ver- und Entsorgung,
- Arbeitsplatzbeleuchtung.



Nicht erst bei Inbetriebnahme – Störungsbeispiel Bild 6.6, Abschnitt 6.4.1 – gilt es den Abgleich, am vorliegenden Beispiel den zwischen der Emission des Pulswechselrichters und der Immunität des gesteuerten Gleichrichters auf Emissionsspektren des Pulswechselrichters so abzugleichen, dass Konformität zu aller erst im Eigenstörverhalten (**SE**, Abschnitt 10.1) herrscht, sondern bereits im EMV-Planungsstadium der Gesamtanlage.

Am vorliegenden Beispiel NACHTRÄGLICH durch eine Modifikation der Steuer elektronik der USV-Anlage gelöst (vorgelagerter Netzfilter für die 23. Netzharmonische) wirkt das Gerät zum Produkt EE als EEQ im Netzverbund, d.h. in seiner Fremdstörfestigkeit gegenüber Dritte (**SF**, Abschnitt 10.1), als Quelle mit dem Kennbuchstaben „B“.

Eingebunden in die Systemumgebung der Kenngrößenfindung zur Absicherung der notwendigen Elektroenergiequalität bildet im Verfahren zur Bestimmung der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer das innere quadratische Feld der Beeinflussungsmatrix zur Umgebung (Bild 10.11, gelb hinterlegte Fläche) die systeminterne Beeinflussung ab, d.h. die Wirkung **NACH INNEN** (Thema: SE). Die unterste Zeile der Matrix spiegelt die der externen Beeinflussung bzw. Verträglichkeitsbeziehung (Bild 10.11, blau hinterlegte Fläche) als Wirkung **NACH AUßEN** (Thema: SF). Die rechte äußere Spalte bildet die vom System ausgehende elektromagnetische Zusatzbeeinflussung (Bild 10.11, grün hinterlegte Fläche): Wirkung **VON AUßEN**, Thema: Stationsvorbelastung). Kritische Beeinflussungen, d.h. Beeinflussungen die in der Beeinflussungs- oder Umgebungsmatrix mit „-“ gekennzeichnet sind, sind qualitativ vertieft zu untersuchen und mit entsprechenden EMV-Maßnahmen quantitativ zu belegen (Beispiel Prüfstandsanlage: Anhebung der Immunität an der USV-Anlage / Beispiel Schweißmaschine mit Mehrfachschweißung, Abschnitt 10.3.2: Absenkung der Emission durch EEQ-Erfassungs- und Steuerungssystem).

Die Zusammenführung zur EMV-Modellbildung unter Gesichtspunkten von Ernst Habiger (Beriebsmatrix) und Aspekten des Autors (Funktionsmodell der Übertragung, Methodik am Objekt und der Schnittstelle als Operand des Prozesses) bildet Bild 10.12 graphisch ab. Die Gegenüberstellung zeigt nicht nur eine Abdeckung der Sichtweisen, sondern eine Ergänzung der Funktionsinhalte.

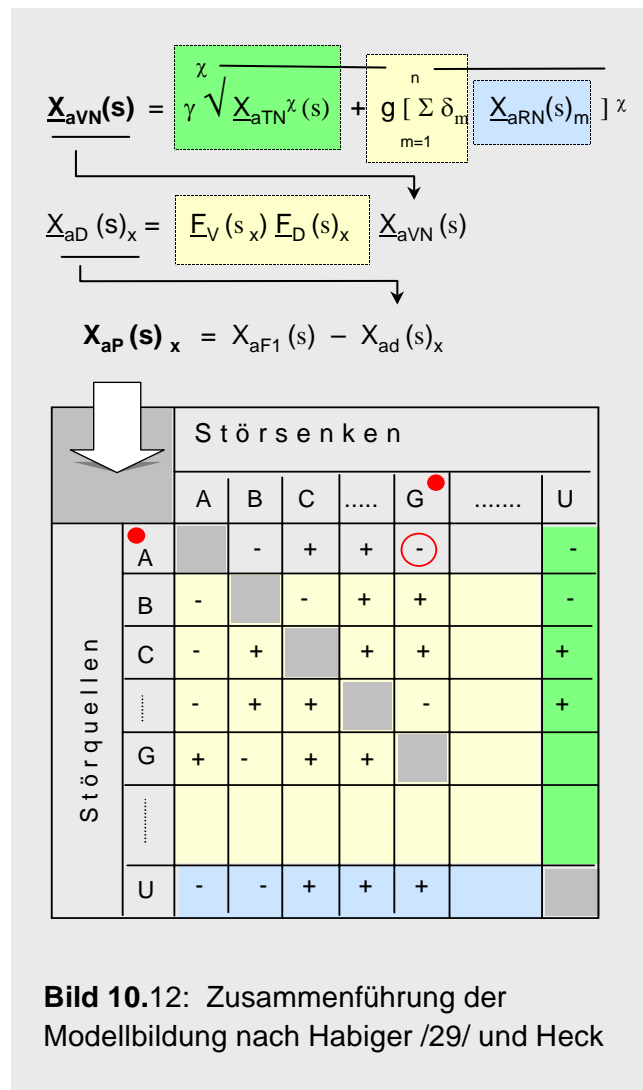


Bild 10.12: Zusammenführung der Modellbildung nach Habiger /29/ und Heck

So beschränkt sich Ernst Habiger auf den konformen Abgleich einer Verbrauchergruppe zum Netz. Der Autor vertieft das Geschehen um den Schnittpunkt zwischen Maschine und Elektroenergieversorgungsnetz mit Wertinhalten zum Netz $\underline{X}_{aVN}(s)$ (Elektroenergieversorgungsnetz) und zum Prozess $\underline{X}_{aP}(s)_x$ (Elektroenergieabnehmer).

Art und Weise notwendiger Maßnahmen, gebildet nach Schema Ernst Habiger oder die des Autors, sind gegenüber den zu festigenden physikalischen Umgebungs- und Betriebsbedingungen einer dualen Schnittstelle Netz unter dem Gesichtspunkt der Effizienz einer Gesamtmaßnahme im Vergleich zu mehreren Teilmaßnahmen zu hinterfragen. Hier gilt es den Abgleich zu wahren gegenüber:

- einer notwendigen Maßnahme im Netz (Versorgungsnetz, Erdungsnetz, etc.),
- einer notwendigen Maßnahme an der Maschine, am Gerät (Betriebsmittel).

Summe aller Kosten
=
ein Indikator für den Effizienzwert

... am Ende hat zu gelten:

Die Dualität der Verbindlichkeit zwischen Gerät und Netz, bzw. Netz und Gerät ist die Bewertung der elektromagnetischen Bedingung von und zur Umgebung. Sie spiegelt sich nicht mehr nur an Grenzwerten von Maschinen und Netzen wieder, sondern orientiert sich am Mechanismus der Beeinflussung von Teilsystemen innerhalb einer Gesamtstruktur.

Die Beeinflussung bildet den Effizienzgedanken als Effizienzwert zwischen Aufwand und Nutzen ab. Das Grenzkriterium als Optimumpunkt ist die Wahrscheinlichkeit des Risikos elektromagnetischer Nichtverträglichkeit. Der verbindende Ansatzpunkt zur Bestimmung der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer hat diesem Geschehen entsprechend Rechnung zu tragen.

11 Schnittstelle, Spiegel des Risikos

11.1 Das 4 M-Konzept an der Schnittstelle

Im konkreten Fall der Beschreibung der Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer ist die elektromagnetische Verträglichkeit ein, unter dem Aspekt des Risikos der funktionalen Störung zu betrachtender Aspekt einer Situation zwischen

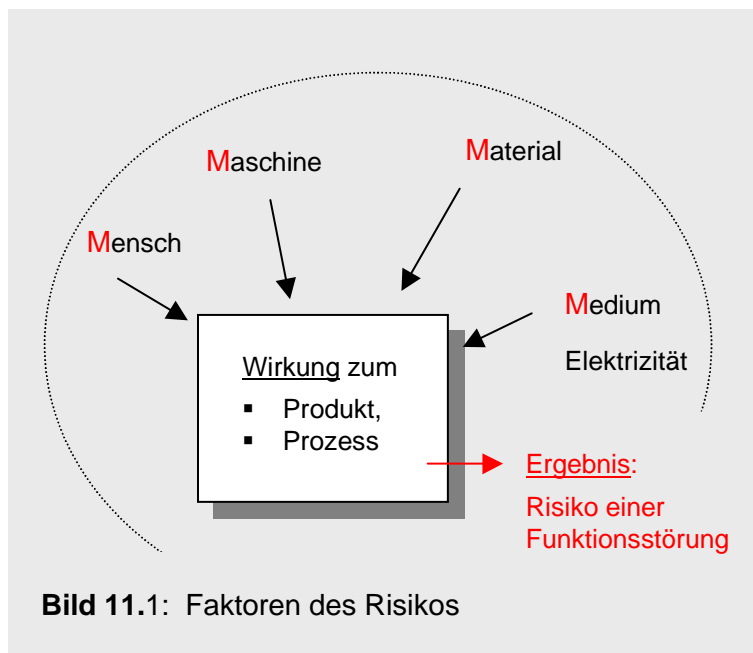
- dem Menschen (M1),
- der Maschine (M2),
- dem Material (M3),
- dem Medium (M4), gesehen am Medium EE

Die Faktoren M1 bis M3 sind feste Bestandteile innerbetrieblicher Qualitätssicherungs- (Abschnitt 5.1.3.1) und Qualitätsmanagementprozesse (Abschnitt 5.1.3.2) und sind zertifizierten Unternehmen (Abschnitt 5.1.3) nicht neu. Neu hingegen ist die Einbindung des Mediums EE in den Prozessablauf der Qualitätsabsicherung im betrieblichen Arbeitsumfeld. Hier am Beispiel der Elektroenergieabnehmer, betrieben am öffentlichen und/oder nichtöffentlichen Elektroenergieversorgungsnetz, zeigt der Autor am Handlungsfeld des betrachteten Industrieunternehmens den zu hinterfragenden Schnittstellenbereich unter dem Aspekt „Spiegel des Risikos“. Gerade der Einbezug erweiterter Aspekte, wie die der Wahrscheinlichkeit des Risikos, gesehen als funktionale Störung an/am Elektroenergieabnehmer(n) prägt eine vom Autor initiierte Sichtweise die den unternehmerischen Qualitätsstandard weiter vorantreibt. In der Betrachtung um das Medium sind auch Medienelemente, wie Wasser, Gas, Wärme oder Spezialmedien – also Leistungen im weitesten Sinne des technischen Facility Managements – verstärkt unter dem Blickwinkel eines abgesicherten Bereitstellungsmanagements zu sehen. Hier gilt es Risiken im Zusammenhang mit der Versorgung am Produkt EE über den Schnittpunkt zwischen Elektroenergieabnehmer und Elektroenergieversorgungsnetz hinweg gegenüber den Risikofaktoren aus dem Vorfeld einer Planung verstärkt zu diskutieren um deren Bindungs- und Bindungsverhalten besser zu verstehen. Gesplittet in Faktoren des Risiko, an den Beispielen betrachtet als Zelle des Risikos entstehen Kettenglieder des Risikos die als Risikoelement in der Gestaltung von Maßnahmen und Aktivitäten aus dem Vorfeld einer Maßnahme heraus die Vernetzung des Risikos zum Produkt und/oder zum Prozess innerbetrieblicher Fertigungsabläufe darzustellen vermögen.

11.1.1 Faktoren des Risikos

In vielen Unternehmen, so auch im vom Autor betrachteten Industrieunternehmen steht die Absicherung des Risikos in direkter Abhängigkeit zum technischen Produkt. Im Rahmen des betrieblichen Zertifizierungsprozesses nach DIN ISO 9001, 9002 oder folgend (Abschnitt 5.2.3) kann die auf freiwilliger Basis gehandhabte Zertifizierungsvorgabe das Medium EE nur dann einbeziehen, wenn entsprechende Faktoren einer Unverträglichkeit, d.h. eines Risikos zum Prozess oder zum Produkt bekannt sind. Elektroenergiequalität, zu sehen als Summenverhalten von Strom, Spannung, Impedanz, technologischer Prozess, Arbeitsorganisation und Betriebsmittel, ist in seinem Verhalten zum Produkt, sowie im Einfluss auf den Prozess als Produktqualität momentan nur quantitativ, kaum qualitativ bekannt. Momentan steht hier der Faktor Medium als Austauschgröße einer 50Hz-Leistung und nicht als Qualitätsindikator einer Spannung in der Betrachtung zu den restlichen 3 M's (Mensch, Maschine, Material). Als typisches Beispiel kann der unter Abschnitt 9.2.2 (Funktionsbildner) herangezogene elektrische Schweißprozess an der Schweißmaschine mit Mehrpunktschweißung betrachtet werden. Der teils auf Konstantstrom geregelte, teils unregelte Schweißvorgang (ungeregelt, das heißt dort manuelles einstellen des Steuerwinkels des geregelten Gleichrichters) wird durch Spannungsschwankungen einer Leistungsfluktuation unterzogen. Diese Art der Leistungsfluktuation verursacht am Produkt (Schweißstelle) die als Rahmenbedingung der Qualitätsgüte des Schweißgutes, Abschnitt 5.3.1, mehrfach umschriebenen Qualitätsveränderungen. Hier besteht die direkte Korrelation zwischen Produkt- und Elektroenergiequalität, betrachtet im vorliegenden Fall im Bereich der Spannungskonstanz. An Fallbeispielen Trennmittelanlage, Abschnitt 9.2.1, bewirkt die Qualitätsgüte des Mediums indirektere Verbindlichkeiten einer Korrelation zwischen Mensch, Maschine und Material.

Spannungsqualität, vom Autor gesehen als transparenter Grundbestandteil der innerbetrieblichen Produktivität, reguliert unter diesen Aspekten verstärkt das FÜR und WIEDER auch gegenüber der Standortwahl einer Prozessstätte oder gar einer Produktionsstätte. Traditionell gewachsene Nutzungsorte, sei es ein Kraftverteiler, ein Gebäude, oder ein ganzer Standort, verlieren unter dem Blickwinkel des Mediums EE auch den Bestandsschutz. Vergleicht man die wesentlichen Faktoren der dort zu hinterfragenden Merkmale in Bezug auf Form, Verlauf und Stabilität der Spannung (Spannungsqualität), gilt es die ortsgebundenen Standortfaktoren in den Ablauf der



Planung bis zum Betrieb konform, d.h. kompatibel zu den operativ vorhandenen physikalischen Umgebungs- u. Betriebsbedingungen zu halten. Zur Einbindung dieses erweiterten Themenkomplexes in die Beschreibung einer Schnittstelle nutzt man die in den Normen zur Sicherheit von Elektroenergieabnehmern eingebundenen Leitsätzen der Risikobeurteilung, z.B. nach DIN EN 1050 /13/. Dazu zählen, Zitat::

Alle Gefährdungen, Gefahrensituationen und Gefährdungsergebnisse vor dem Einsatz des Betriebsmittels (Maschine, Gerät) festzustellen und zu beseitigen.

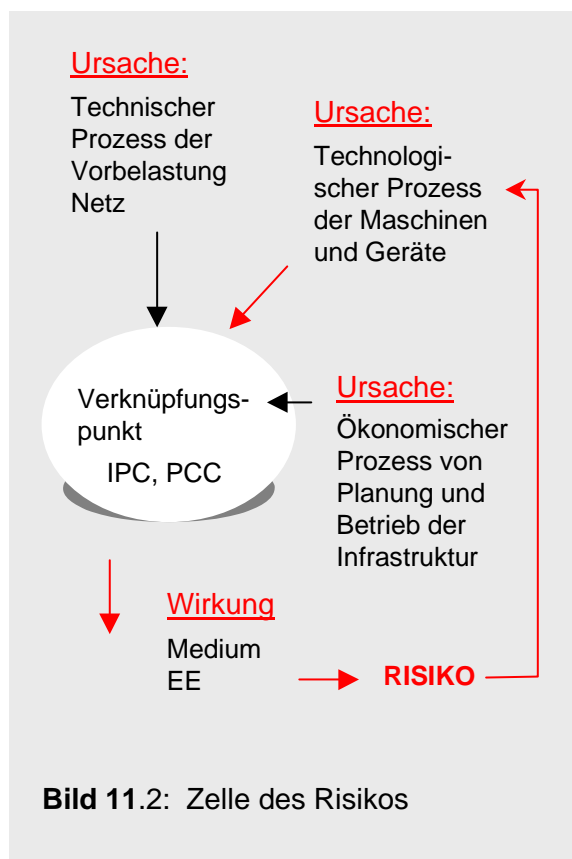
Unter dem Aspekt der Einbindung der Gefährdung, so zu sehen als Gefahrensituation gegenüber dem Betreiben von Elektroenergieabnehmern ist die Zertifizierungsvorgabe der momentan bestehenden 3 M's nach Sicht des Autors zwangsweise um das 4-te M, d.h. das Medium zu ergänzen. Vor allem gilt es, den erweiterten Einbezug der Risikobeurteilung im Bereich der Planung infrastruktureller Komponenten in die zertifizierten Ablaufprozesse eines Betriebs mit einzubinden. Hier steht vor allem der Einflussfaktor des Aufstellungsortes, d.h. das direkte physikalische Umgebungsfeld nach DIN EN 60204-1 /18/ im Blickpunkt der Betrachtung.

Bild 11.1 nutzt den Inhalt der Zitataussage der DIN EN 1050 um die Einbeziehung des MEDIUMS als vierte Komponente im Verbund der 3 M's nicht nur zu formulieren, sondern als Faktor des Risikos auch zu dokumentieren. Eingebunden z.B. in den strategischen Part des betrachteten Industrieunternehmens wird das im Zertifizierungsprogramm vorhandene 3 M-Konzept sukzessive um das Einzelmedium – Start mit Medium EE – im Rahmen eines Technologiewettbewerbes /36/ zu einem 4-M-QS-

Prozess erweitert. Mit dem Titel: PQ-Monitoring zur Erfassung der physikalischen Umgebungs- und Betriebsbedingungen am Standort des Industrieunternehmens steht hier vor allem die Betrachtung von Risikofaktoren an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieabnehmer und Elektroenergieversorgungsnetz im Fokus der Umsetzung. Ziel ist die im Umfeld des Autors initiierte Wertschöpfung durch Absicherung der Konformität am Produkt EE als Kompatibilität zum Prozess und/oder Produkt auf belastbare Werte der Elektroenergiequalität zu stützen. Gerade in der Betrachtung um die treibende Kraft innerbetrieblicher Effizienz ist das Risiko nonkonformer Betriebsweisen durch die interne und externe initiative des Autors verstärkt in den Fokus der Vorfeldplanung gerückt. Hier ist es inzwischen ein fester Bestandteil in der Absicherung der EEQ am PCC, IPC geworden und wird über die Konzeption des kalkulierten Risikos gewonnen – doch dazu mehr ab Abschnitt 11.2.

11.1.2 Zelle des Risikos

Das Risikomanagement der Zukunft muss nach Sicht des Autors die Betrachtung um die WAHRSCHEINLICHKEIT des Eintritts eines Risikos durch ein nonkonformes elektrisches Produkt an der Schnittstelle vom und zum Elektroenergieversorgungsnetz in Form des quantitativen Bewertungsinstrumentes EEQ fester einbeziehen. Festere Einbeziehung der Elektroenergiequalität heißt hier vor allem die Mitbetrachtung betriebswirtschaftlicher Kosten, welche die Kette der Funktionalität, so zu sehen von der Planung einer elektrotechnischen Maßnahme, über die Inbetriebnahme, bis zu ihrer Entsorgung (Verschrottung) als kalkulative Teilkosten der Wirtschaftlichkeit in die Konzeptstrategie nicht nur einzubeziehen, sondern zu verantworten haben. Bezeichnet als Zelle des Risikos sind nonkonforme Betriebs-



weisen an und um den Verknüpfungspunkt (PCC, IPC) zur Subsummierung ganzheitlicher Wirtschaftlichkeiten als Ursache-Wirkungs-Beziehung im Planungskonzept durch eine EMV-Planung gezielt zu manifestieren.

Bild 11.2 beschreibt charakterisierend für die jeweilige Schnittstelle – dort eingetragen als Verknüpfungsstellen am IPC und PCC – die Einbeziehung von Faktoren aus dem technischen, technologischen und ökonomischen Umfeld innerbetrieblicher Aktivität. Der aus der Kombination der Einzelquellen sich abzeichnende Wirkungshorizont wird vom Autor als primäre und als sekundäre Ursachen-Wirkungs-Beziehungen definiert. Die im Bild 11.2 rot eingetragenen Vernetzungspfeile kennzeichnen die primäre Beziehung als Aktiva, d.h. als Quelle der Veränderung zur Ursache an der Qualität des Produkts EE. Sekundäre Beziehungen (Bild 11.2, schwarze Prozessvernetzung) stellen dagegen die Passivas der Ursachen-Wirkungs-Kette bereit. Aktiva und Passiva verstärken oder schwächen das Resultat gegenüber dem Risiko und binden operative und strategische Themen gleichermaßen.

11.1.3 Kettenglieder des Risikos

Bild 11.3 nutzt den Vergleich zu Gliedern einer Kette, in dem es das abzubildende Risiko der Störung finaler Funktionalität im Prozess oder am Produkt bereits weit vor der eigentlichen Nutzung des Elektroenergieabnehmers am Elektroenergieversor-

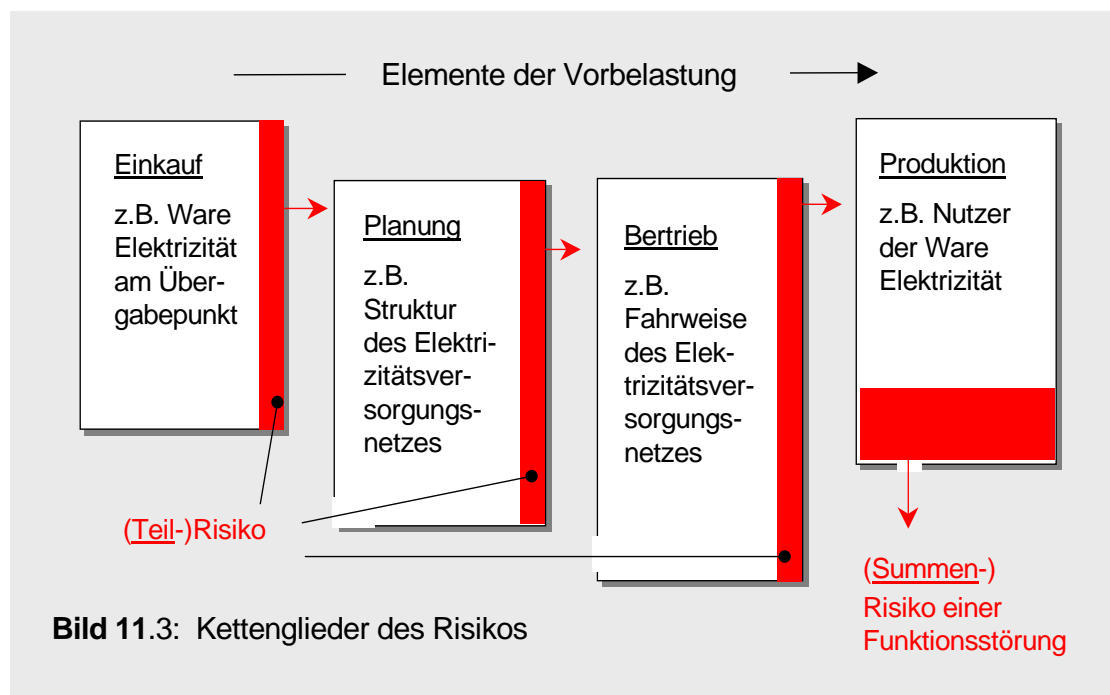


Bild 11.3: Kettenglieder des Risikos

gungsnetz den einzelnen technisch-technologischen Zellen zuordnet. Ein Pfad des Risikos entsteht, bei dem die Weichen operativer Ziele bereits im strategischen Feld der Planung und Beschaffung gesetzt werden. Das vielerorts in einzelne, jeweils aus in sich abgeschlossenen Teileinheiten gebildete Endresultat funktionaler Technologie repräsentiert ein Gebilde das gegenüber elektromagnetischer Verträglichkeit unter momentaner Handhabung nur schwer zu homogenisieren, d.h. konform zum Funktionalitätsgebilde abzugleichen ist. Hier reglementiert sich das Risiko gegenüber der finalen Funktionsstörung als Summrisiko aus den einzelnen Teilrisiken, beispielsweise beim Einkauf, bei der Planung, dem Betrieb und der Nutzung im Produktionsprozess, um nur einige der einige der wesentlichsten Teilpartner eines Projektes zu benennen heraus. Die als Element der Vorbelastung – Bild 11.3, Pfeil von links nach rechts – das einzelne Risiko propagierende Risikogröße z.B. gegenüber dem Leistungsprodukt EE zielt in diesem Part nicht auf den technischen Inhalt der Nutzung, sondern auf dessen organisatorische Bündelung, bestehend als dem Anforderungsprofil einer Schnittstelle zu vor- und nachgelagerten Aktivitäten innerbetrieblicher Organisation.

Vom Autor bezeichnet als Kettenglieder des Risikos gilt es nicht im Kettenelement selbst Ordnung zu schaffen, d.h. an der Verbindlichkeit zwischen anstehender und abgeforderter Elektroenergiequalität, sondern an deren Verkettung als Verknüpfung einzelner Phasen eines Projektes von und zueinander. Jeweils für sich dargestellt als Teil eines Risikos, bildet sich das Summenrisiko funktionaler Störungen am Prozess oder am Produkt vor allem durch das Zusammenwirken aller Beteiligten ab. Ein solch in sich technisch, technologisch und auch organisatorisch abzeichnendes Risiko ist in seinem Risikopotential stets dem Gesamtrisiko gegenüberzustellen, d.h. dem geplanten betrieblichen Alltag als Projektziel. Zu den dann auftretenden Kostenrelevanzen zur Erzielung betrieblicher Prozess- und/oder Produktinhalte zählen insbesondere die Kostensituationen, die durch Inkonsistenzen bei der Nutzung des Produkts EE auftreten. Vor allem Kosten durch Nichtverfügbarkeit des Elektroenergieabnehmers selbst infolge spontanen, leitungsgebundenen spezifischen Störphänomenen und/oder Langzeiteffekten durch Störphänomene allgemeiner Art (Thema: verfrühte Alterung) gilt es den interdisziplinären Aufwendungen gegenüberzustellen. Zur Minderung von Spätfolgen ist bereits innerhalb der Vorfeldplanung der Maßnahme den EMV-Aspekt so einzubeziehen, dass gegenüber den zahlreichen Projektschnittstellen bei Umbau, Neubau oder Erweiterung z.B. einer Produktionsstätte mit Elektroenergieabnehmern die Einzelschnittstelle durch eine entsprechende Vereinbarung in Form von EMV-

relevanten Grenzparametern abzugrenzen und mit Indikatoren der Elektroenergiequalität zu dokumentieren. Ergeben sich innerhalb der Zeitachse eines Projektes so genannte Barrieren in der Akzeptanz, d.h. Defizite in den Standortfaktoren, wie z.B. Arbeitskosten, Materialkosten, allgemeine Kosten, Qualifikation Mitarbeiter, Produktqualität, Machbarkeit, kulturelles / soziales Umfeld, etc., sind entsprechend vertiefende Vereinbarungen zu treffen, und mit entsprechenden Maßnahmen zu belegen.

Ein Pfad des Risikos entsteht, bei dem eine stufenweise Beplanung der Primärenergie das Endergebnis mit repräsentiert. Das am Ende sich einstellende Nutzungsabbild entscheidet stets über spätere Zusatzaufwendungen und Zusatzkosten mit, und spiegelt am Schluss das Resultat gegenüber dem Erfolg oder dem Misserfolg, auch dem des Unternehmens selbst über die Nutzungsjahre des Elektroenergieabnehmers hinweg.

Es gilt: Das Wirken im Einzelelement (Einkauf, Planung, Betrieb, Produktion, etc.) ist im Vergleich zur Wirkung aller Einzelelemente unter dem Aspekt des Wirkungsverbundes elektromagnetischer Verträglichkeit als Elektroenergiequalität dem funktionalen Optimum der Gesamteinheit dem zu erzielenden Produkt und/oder Prozess gegenüber ins Verhältnis zu setzen.

11.1.4 Risiko, Element der Gestaltung

Nutzt man die neue Verbindlichkeit des 4-M-QS-Prozesses als Kalkulationsgrundlage gegenüber dem sich einstellenden innerbetrieblichen Risiko aus Vor- und Zusatzbelastung im technischen, technologischen und ökonomischen Sinn, so können Parallelen zu den EU-Rahmenrichtlinien für Geräte (Abschnitt 4.2) und Maschinen (Abschnitt 4.3) im Sinne deren Rechtsvorschrift zum Betrieb, bzw. zum Betreiben gezogen werden. Bild 11.4 quantifiziert beispielsweise daraus das Risiko als Element der Gestaltung. Hier wirkt vor allem das Abbild des Umfelds, d.h. das nach DIN EN 60204-1 /18/ sich bildende physikalische Umgebungs- und Betriebsfeld als funktionaler Umgebungsentscheider mit. Vor allem in der Industrie hat hier das strategische Element einer EMV-gerechten Risikoplanung als operative Vorfeldplanung den Gesamtprozess der Nutzung am Objekt mit zu führen.

Die Arbeit des Autors zeigt jedoch mehr und mehr, dass die bis dato in der Dissertation beschriebenen EMV-Konzepte in ihrer Tiefenwirkung zum Prozess, respektive

zum Produkt so noch nicht, oder noch nicht weit genug bekannt sind. Die Identifizierung gegenüber dem sich einstellenden Störpotential befindet sich bei den meisten industriellen Partnern des Elektroenergiegeschäftes noch im Anfangsstadium. Hier gilt es Wege aufzuzeigen, die bereits im Vorfeld meist unbewusst eingearbeitete Störungsrisiken richtig deutet und ihre Wirkung mit Rückwirkung (Ursachen-Wirkungs-Beziehung) innerhalb der Risikokette den einzelnen Risikogliedern korrekt zuordnet. Dieses fällt den Unternehmen momentan schwerer als vermutet. Gerade in (Groß-)Betrieben

spielen oft mentale Themen einzelner Strukturen im Unternehmen, die meist mit verbalen Aussagen einhergehen, wie – machen wir schon immer so / meine Budgetsituation und damit meine technische Vorgabe liegt mir näher als – eine vermeintlich gewichtigere Rolle in der Verdrängung von EMV-Themen als die der strategischen Gewinnung im Sinne einer Gesamtlösung. Die Verträglichkeit eine Verbindlichkeit, so zu sehen als Minderung des Risikos, vor allem in den übergreifenden Phasen des Projektes, wird für ein weit blickend handelndes Unternehmen immer interessanter. Gerade die übergreifende Abstimmung von (Teil-)Elementen unterschiedlichster Partner eines Partnerchips bindet die einzelne Risikogruppe unterschiedlich stark ab. Der Begriff des „Partner-Chips“ ist zunehmend dort zu sehen, wo in der Verknüpfung unterschiedlichster Akteure in ihren jeweils objekt- und prozessspezifischen Aktivitäten, differente Interessen wirken. Hier gilt es z.B. Themen zu implementieren, wie:

- die kaufmännische Verpflichtung des Kunden;
- der technische Einbau im Prozess;
- die technologische Nutzung am Produkt.

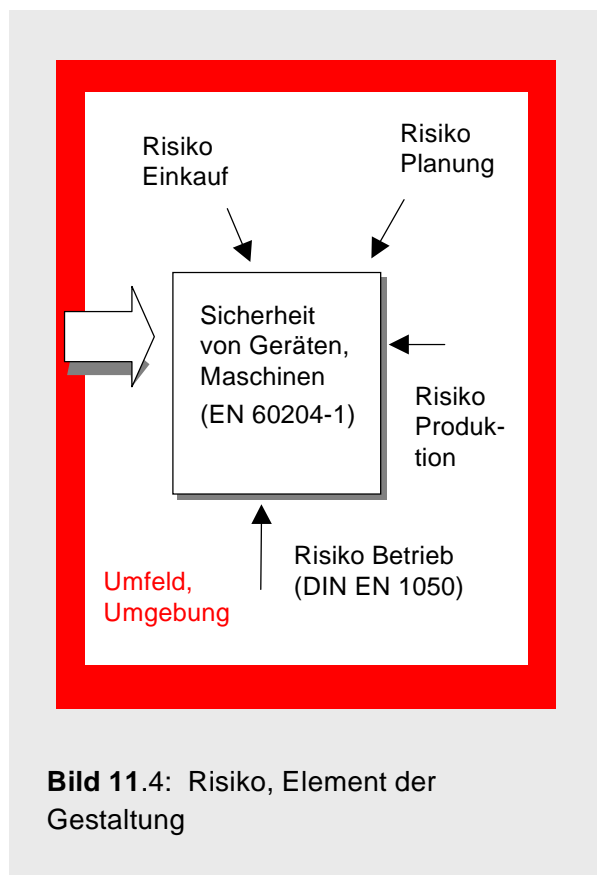


Bild 11.4: Risiko, Element der Gestaltung

11.1.5 Vernetzung des Risikos

Die Vernetzung des Risikos, in Bild 11.5 als Wirkungskreis des Risikos bezeichnet, nutzt der Autor um die Aussagen aus Abschnitt 11.1.1 bis 11.1.4 mit einer Handlungsvorgabe zu konkretisieren. Über die Zeitachse eines Projektes gesehen, konkretisiert der Autor dort den Wirkungskreis des Risikos aus dem Schwerpunkt der Teilsequenz des sich einstellenden Risikos, so zu sehen gegenüber einem nichtqualitativen Medium EE, vorzugsweise wirkend an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer. Wo und wie viel Risiko man über der Zeitachse eines Projektes, eines Prozesses oder eines Produktes bereit ist einzugehen, oder schon eingegangen ist, hängt vom Fokus der Aufgabe und von der Bereitschaft Risiken zu manifestieren ab. In der Ausführung Bild 11.5 zeigt sich, dass das Teilrisiko das Gesamtrisiko nicht nur steuert, sondern auch Aktivitäten zur Minderung des Risikos zu vor- und nachgelagerten Teilrisiken als Funktionskette bindet. Bei der Quantifizierung eines entsprechenden Deltas gilt es – wie unter Abschnitt 11.1.3. bereits angesprochen – den dort zu hinterlegenden technischen Arbeitsanteil gegenüber dem dazu notwendigen finanziellen Aufwand abzugleichen und das Optimum innerhalb der Kette des Risikos zu finden. Hierbei bedingt es EMV-gerechte Strategien zur Gestaltung und Minimierung des Risikos funktioneller aber auch sicherheitsrelevanter Störungen bereits in der Vorfeldstrategie direkt und/oder indirekt wirkend um-

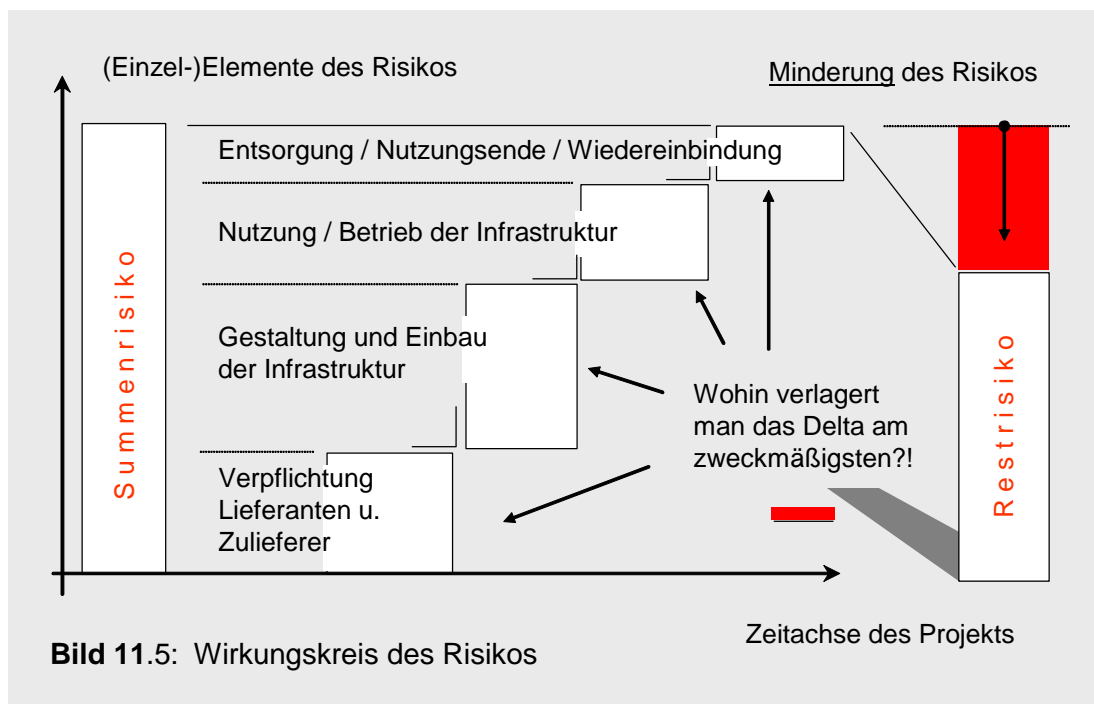


Bild 11.5: Wirkungskreis des Risikos

zusetzen. Die bereits im Vorfeld von Aktivitäten diesbezüglich einzuleitenden Aktivitäten sind bindend in den Vordergrund der Bemühungen zur allseitigen Darstellung EMV-gerechter Konformitäten, im Elektroenergieversorgungsnetz und beim Elektroenergieabnehmer gleichermaßen ausgeprägt, zu stellen. Vor allem die darzustellende Verbindlichkeit zu vor- und nachgeschalteten organisatorischen Strukturen innerhalb der Gesamteinheit UNTERNEHMEN ist vom lokalen in das global strategische Geschäftsfeld der EMV-Thematik überzuführen. Hierzu gilt es Strategien zu finden, und im jeweiligen Projektabschnitt die technische, technologische und organisatorische Maßnahme gezielt, d.h. wirtschaftlich einzubinden.

Fokussiert am Beispiel der Beeinflussung gegenüber Elemente, wie die der bilateralen Verpflichtung zwischen Lieferant und Zulieferer, der Gestaltung und dem Einbau der Infrastruktur, entsteht die gesuchte EMV-relevante Befindlichkeit. Bild 11.6 bringt diesen Faktor dahingehend zum Ausdruck, dass gegenüber der Vernetzung zwischen den arbeitstechnischen Modulen (Bild 11.6 – schwarz gekennzeichnete Verbindungen) auch die als Querverbindungen indirekt abhängigen Verbindlichkeiten

(Bild 11.6 – rot gekennzeichnete Linien) mit in das Portfolio einer Projektstrategie einzubeziehen ist. Vom Autor interpretiert als ganzheitliches Denken, bildet das abzustimmende Ganze (Summe aller abzustimmenden Maßnahmen) an ihren Schnittstellen die konkret darzustellende Konformität, z.B. die nach EMVG gegenüber der Beschreibung der Elektroenergiequalität an der Schnittstelle prägend ab. In der diesbezüglich wir-

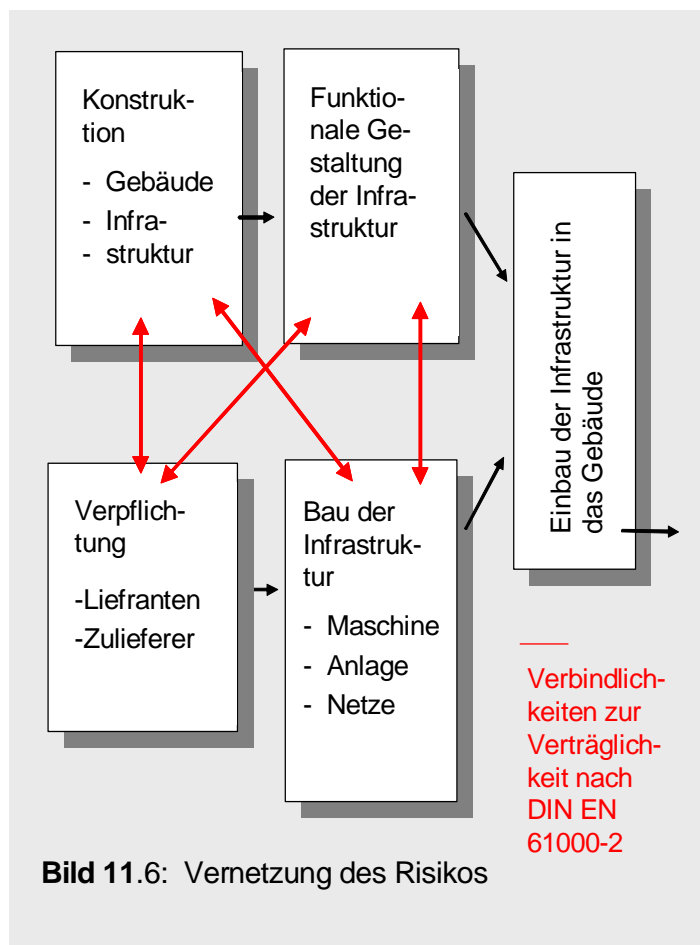


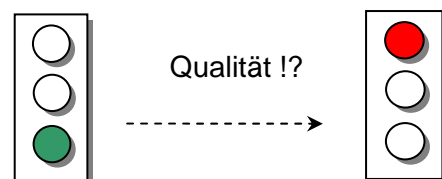
Bild 11.6: Vernetzung des Risikos

kenden Innen- und Außenbeziehung spricht man hier vom längsten Weg zusammenhängender Schritte, oder bezogen auf das sich dadurch abzeichnende Risiko vom kritischen Pfad.

Fazit: Die Betrachtung des Risikos am Produkt EE **IST GLEICH**
Managementaufgabe mit Weitblick!

..... denn elektromagnetische Verträglichkeit als Kenngröße der „elektrischen Energie“ ist das Risiko zum Prozess, zum Produkt und zur Organisation. Risikomin-
derung entspricht die der Identifikation der schwächsten Stelle des Systems und Risi-
k**minimierung** die Setzung von Prämissen im technischen, technologischen, wie
auch organisatorischen Bereich.

„Elektrische Energie“ ist weder gelb, rot oder blau, wie von so manchem Elektrizitätskonzern in seinen Werbeaktivitäten zur Produktware EE versichert wird. „Elektrische Energie“ ist letztendlich – **DER** – Prozessfaktor, der als energetische Kraft Maschinen, Anlagen und Geräte betreibt. Schon allein aus diesem Grund darf der Leistungskampf in der Vernetzung am Produkt EE von und zum Elektroenergieabnehmer nicht zu Lasten des Preiskampfes einzelner Akteure des Vernetzungsprozesses ausgetragen werden. Hier gilt: von Grün nach Rot im Bereich der Qualität des Produkts EE ist es nicht weit. Das Wörtchen gut, akzeptiert – fällt halt mal was aus – hilft in dieser Situation keinem der am Netzanschlusspunkt agierendem Netzpartner. Genau so wenig hilft auch dessen Feststellung, dass es bei unseren außereuropäischen Partnern ähnlich um die Qualität des Produktes EE gestellt ist. Handlungen in Form von Veränderungen, Veränderungen im Zeichen von Einzelinteressen, werden sicherlich den Trend vom derzeit vielerorts noch hohen Qualitätsstandards am Qualitätsprodukt „elektrischer Energie“ zu Pegeln im Bereich der „low-class“ nicht verhindern, nur verlangsamen. Wie und in welcher Form dieses als Risiko am Produkt oder Prozess im industriellen Unternehmen – äquivalent dem bereits angesprochenen Schreiben des VIK an die DKE /1/ bemerkbar wird, hängt von der/den EMV-Aktivität(en) des/der Einzelnutzer(s) eines liberalisierten Elektroenergiemarktes ab.

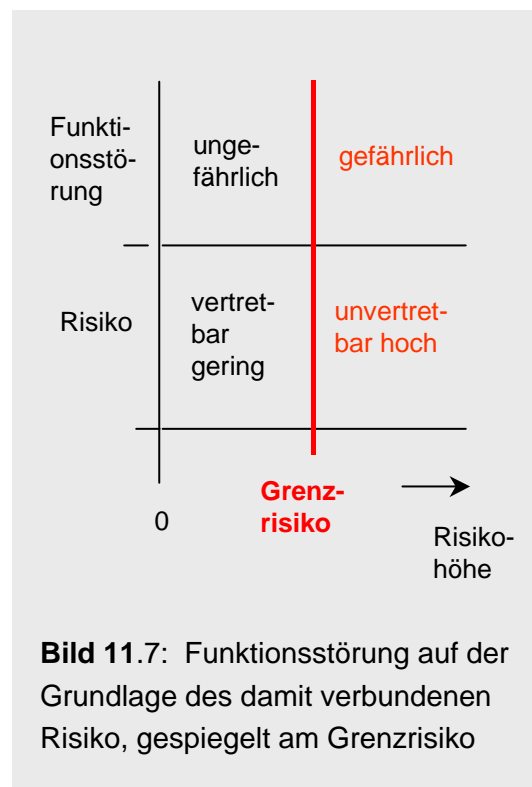


11.2 Grenzrisiko EE

Abhängig vom industriellen Umfeld am Aufstellungsort eines Elektroenergieabnehmers charakterisiert das Risiko nicht konformer „elektrischer Energie“ das funktionelle Zusammenspiel der elektrischen Ausrüstung als Grenzrisiko gegenüber einer vom Nutzer definierten Grenzkennlinie. Ausgerichtet am Elektroenergieabnehmer spiegelt das Grenzrisiko am Produkt EE den strategischen Planwert zum operativen Betriebswert unter dem Fokus des Freiraums von Konditionen bei Merkmalen der Elektroenergiequalität nach Abschnitt 6.2 wieder. Als Detailgröße der Last, Abschnitt 6.3, entsteht je nach Pegelwert von Plan- und Betriebswert ein positiver oder negativer Differenzwert. Für den Nutzer von Elektroenergieabnehmern am Elektroenergieversorgungsnetz gilt hierbei im Allgemeinen:

- Planwert > Betriebswert: Der Elektroenergieabnehmer ist funktional gesichert, d.h. ohne Risiko. Alle funktionsrelevanten Merkmale einer Merkmalkette in der Spannung (Spannungsqualität) weisen eine positive Differenzgröße auf.
- Betriebswert < Planwert: Der Elektroenergieabnehmer birgt ein gewisses Risiko gegenüber der funktionalen Störung zum Prozess und/oder zum Produkt. Eine negative Differenzgröße ist an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer am Merkmal einer Spannung wirkend.

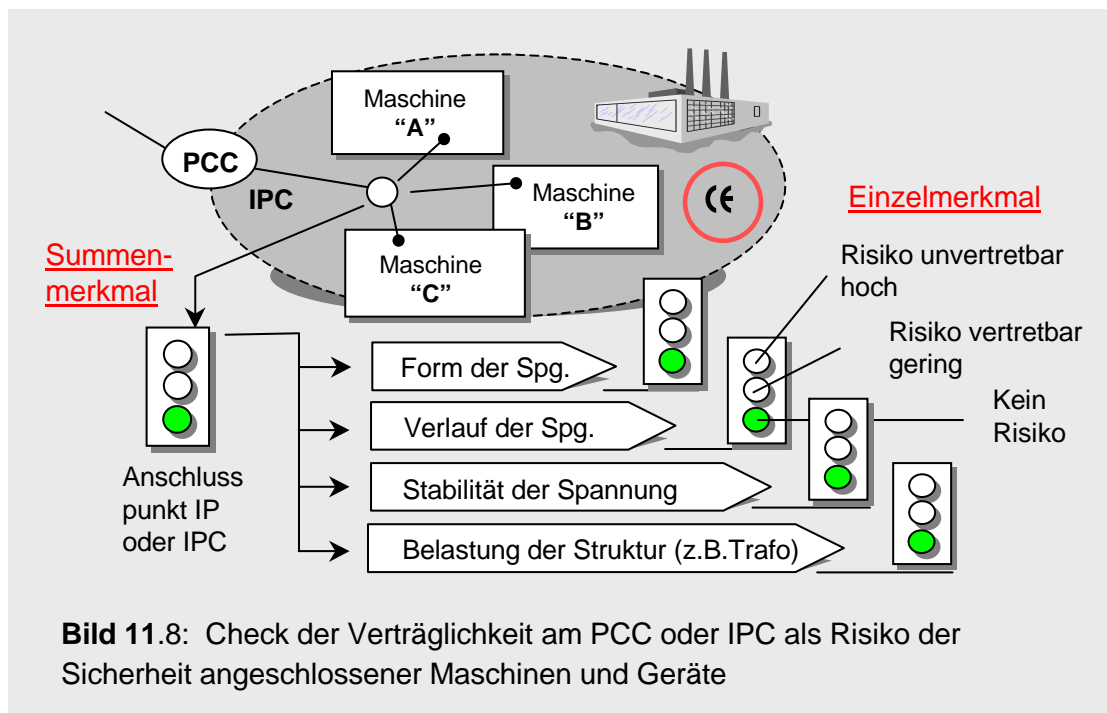
Je größer die Negativdifferenz anwächst, desto höher wird die Wahrscheinlichkeit, dass das Risiko funktionale Störungen hervorruft. Ab einer gewissen Risikohöhe erreicht jede Anlage ihr Grenzrisiko. Unter Grenzrisiko wird vom Autor der Belastungsfall bezeichnet, bei dem die Anlage sicherheitsrelevante Mängel nach DIN EN 292-1/-2 /11/ aufweist. Gegenüber der Funktionalität eines Elektroenergieabnehmers (Elektroenergie-wandler) entsteht eine Matrix nach Bild 11.7 die ungefährliche und gefährliche



Passagen über das Grenzkrisiko einer Pegelhöhe (Risikohöhe) voneinander trennt. Ob es sich bei der Funktionsstörung um eine ungefährliche oder gar gefährliche Funktionsbeeinflussung handelt, unterliegt der Einschätzung des Lieferanten in Abstimmung mit dem Kunden. Eingebunden am Netzanschlusspunkt (PCC, IPC) übernimmt der Nutzer die volle Handlungsverpflichtung zur Kennzeichnung des Risikos gegenüber allen funktionalen Risiken, die z.B. mit der Nutzung des Produkts EE in Einklang stehen. Hier zeigt sich das zu analysierende Risiko als punktuelle Folge einer Vielzahl von Faktoren die in die Sorgfallspflicht des Projektanten eines Objektes (Beispiel Elektroenergieabnehmer am Elektroenergieversorgungsnetz) mit einzugehen haben. Nur er allein hat die technische und technologische Kompetenz im Projektauftrag dafür zu sorgen, dass die bereits unter Abschnitt 11.1.1 bis 11.1.5 ins Bild gesetzten Risiken in allen Stufen des Projekts, wie:

- Definition des Projektes als Studie;
- Projektierung der Ausführungsunterlagen;
- Projektbegleitung und Ausführung;
- Inbetriebnahme und Nachweis der Funktionalität;
- Sicherstellung des Betriebs mit einbezogen, d.h. bekannt sind.

Für die Einbeziehung von Funktionsstörungen auf der Grundlage des damit verbundenen Risikos nutzt Bild 11.8 die Subsummierung des elektrischen Versorgungsnetzes um alle energetischen Phänomene – in der vorliegenden Dissertation die der leitungsgebundenen Größen – entsprechend dem Verhältnis zu der am Anschlusspunkt wirkenden Impedanz des Netzes mit abzubilden. Mal mehr, mal weniger stark ausgeprägt in die Elektroenergiequalität in der Wirkung zum Elektroenergieabnehmer vom Indikator der Spannung (Bild 11.8: Form, Verlauf und Stabilität) in Kombination mit dem der Leistung (Bild 11.8: Belastung) geprägt, und dadurch bestens geeignet die auf die Funktion DES Elektroenergieabnehmers auswirkenden Anomalien bei der Elektroenergie wandlung (Bild 11.8 dargestellt als Maschine „A“ bis „C“) gegenüber DRITTEN zu dokumentieren. Durch die Einbeziehung bilateral fixierter Kenngrößen zwischen Lieferant und Kunde eines dual wirkenden Verbundes von Netz und Maschine kann die Einflussnahme gegenüber dem abzubildenden Risiko gezielt visualisiert werden. Die Höhe des tatsächlich wirkenden Risikos, so zu sehen als summarischer Effekt der Einzelrisiken – beispielsweise die der Merkmale in der Spannung – signalisiert das dort in Bild 11.8 hinterlegte Ampelbild in seiner Anzeige GRÜN (konformer Betrieb) bis ROT (nicht konformer Betrieb).



Genutzt als Verfahren, das allen Partnern eines elektroenergetischen Anschlusspunktes eine kontinuierliche Ist-Soll-Sicht ermöglicht, kann bei entsprechender Einbindung eines Aufzeichnungssystems der Qualitätsparameter am Produkt EE – vom Autor als EEQ-Monitoring bezeichnet – ein für alle Partner der Schnittstelle am PCC und/oder IPC verbindliches Dokument der Konformität entstehen. Die jeweilige Wahl des SICHERHEITSVORHALTS gegenüber dem Prozess oder dem Produkt wird im Anfangsstadium eines Projektes für alle Projektpartner bindend vereinbart. Hier liegt die Chance das Risiko funktionaler Qualitätsdefizite nicht nur operativ zu bekämpfen, sondern strategisch so auszurichten, dass ökonomische Effizienzen über technische und technologische Abläufe entstehen. Das sich einstellende Delta des Risikos, so zu sehen als SICHERHEITSSTRECKE gegenüber Funktion und Nichtfunktion der Maschine, des Gerätes, gibt das gesuchte Wertelement einer Kette von Merkmalen (Elektroenergiequalitätsparameter) automatisch vor.



Restrisiko als Kennung der Qualität „elektrischer Energie“ – ein neuer Maßstab ?!

Wer diese Frage mit NEIN beantwortet geht den Weg des wissentlich Unwissenden, doch die Verpflichtung zur Konformität zwingt förmlich den Unternehmer zum risikoorientierten Management zum Medium EE.

Risikoorientiertes Management aus Sicht der Qualität am Produkt EE zeichnet sich grundsätzlich nach zwei Seiten aus. Seite 1 ist die der Fixierung von Verbindlichkeiten gegenüber dem Lieferanten aus strategischer Sicht. Seite 2 stellt die Sicherstellung der Immunitäts- und Emissionsanforderungen gegenüber dem Elektroenergieabnehmer im operativen Umfeld sicher. Das folgende Beispiel zeigt in einem kurzen Abriss über die diesbezüglich gehandhabte Einbeziehung des Lieferanten in den innerbetrieblichen Prozessablauf bei vom Autor betrachteten Industrieunternehmen. Am Fallbeispiel eines Prüfstandes für Verbrennungsmotoren zeigt das nachfolgend aufgeführte Abstimmungs- oder Konformitätsschreiben der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und -abnehmer den momentanen Stand der diesbezüglichen Aktivitäten zur Absicherung des Risikos. Hier gilt vor allem die Quantifizierung der Risikodifferenzierung zwischen Planwert (Störfestigkeits- oder Immunitätspegel) des Elektroenergieabnehmers und den am Netzanschlusspunkt noch freien Emissionspegeln für den Elektroenergieabnehmer in den Merkmalen einer Spannung (Spannungsqualität). Der dazu als Emission in der Tabelle 11-1 angegebene Belastungswerte in der Spannung ist gleichzusetzen mit dem unter Abschnitt 6.2, Bild 6.3 und 6.4, definierten Freiraum einer Durchleiter-Kunden-Beziehung. Im Gegensatz zu Bild 6.3, Abschnitt 6.3, spiegelt im vorliegenden Fall der Durchleiter den internen Netzbetreiber (Betreiber des nichtöffentlichen Elektroenergieversorgungsnetzes) wieder. Seine Aufgabe ist es den zwischen Betriebs- und Planungspegel vorhandenen positiven Delta-Betrag in für den Lieferanten einer Anlage verfügbare, bzw. freigegebene Emissions-Portionen zu zerteilen. Die Größe der zu wählenden Teilstücke unterliegt der Eigenverantwortung des Netzbetreibers. Bindend ist diese Strukturierung in jedem Fall für den Lieferanten der den Anteil seiner zur Emission freigegebenen Stromquelle aus dem verfügbaren Quellenabbild der Spannung am Netzknoten über die Impedanz-Kennwerte des Netzknotenpunktes (Tabelle 11-2) zu bilden hat.

/40/ Textvorlage des betrachteten Industrieunternehmens, eingebunden im Lastenheft des Lieferanten, generiert vom Autor am konkreten Fallbeispiel:

**Abstimmung der physikalischen Umgebungs- und Betriebsbedingungen,
Motorenprüfstand Werkteil B**

Zur Sicherstellung der Konformität (§3 des Gesetzes zur Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMVG) vom Sept. 1998), ist der Lieferant von Maschinen bzw. Geräten verpflichtet, die am Aufstellungsort anzutreffenden physikalischen Umge-

bungs- und Betriebsbedingungen in seine Konstruktions- und Auslegungsleitsätze (DIN EN 60204-1: Sicherheit von Maschinen / Elektrische Ausrüstung von Maschinen) im Vorfeld der Planung mit dem Auftraggeber abzuklären, diese zu berücksichtigen und somit einen rechtmäßigen Betrieb sicherzustellen.

Der zuständige Planer bzw. Betreiber von Maschinen bzw. Geräten beim Auftraggeber stellt dem Auftragnehmer (Lieferanten, Hersteller und/oder Inbetriebnehmer) die physikalischen Umgebungs- und Betriebsbedingungen am Aufstellungsort (Anschlusspunkt bzw. Netzknoten) zur Verfügung. Für die Auslegung der elektrischen Ausrüstung der Maschine(n) bzw. Geräte(n) kommen gemäß Punkt 4.3 der DIN EN 60204-1 die nachfolgend aufgeführten Grenzparameter mit Bezug auf den Niederspannungsenergieanschluss der Maschine, des Gerätes zum Tragen:

Merkmale der Spannung	Immunität	Emission
Oberschwingung THD	8% (Kl. 2)	1,5%
Oberschwingung Einzelwert Spannung (Netz- und Zwischenharmonische)	<= 2,5 kHz Kl. 2 > 2,5 kHz <u>0,2 % U_N</u>	<= 2,5 kHz 10% von Kl.2 > 2,5 kHz Gleich NULL
Kommutierungseinbr. Tiefe	Keine vorhanden	Keine zugelassen
Kommutierungseinbruch Gesamtfläche		
Transiente Überspannung	<= 300 Volt U _{peak}	Keine zugelassen
Trans. Spannungseinbruch	>10% bis <=100 % Us max: 2 ms	Anlagenseitig keine zugelassen
Kurze Spannungseinbrüche (Voltage Dips)	Netzseitig keine vorhanden	Anlagenseitig keine zugelassen
Schnelle Spannungsänderungen (<= 20 ms)	Mind. 5% U _N	< 1% U _N
Spg.änderungen und –schwankungen (< 1 min)	+/- 10% von U _N	U _N Leiter-Leiter: 400 Volt
Spg.änderungen und –schwankungen (>=1min)	+/- 10% von U _N	U _N Leiter-Leiter: 400 Volt
Kurze Unterbrechungen der Versorgungsspannung	Keine vorhanden	Keine zugelassen

Signalspannung auf der Versorgungsspannung	Wertvorgabe nach Klasse 2	Keine zugelassen
Spannungsunsymmetrie	2 % U_N	Keine zugelassen
Frequenzänderung	+/- 1% f_N f_N : 50 Hz	
Flicker	P_{st} 1,0	

Tabelle 11-1 :Parameter Anlage

Netzkurzschlussleistung S_k NS-Seite = Netzanschlusspunkt	48,5 MVA
R/X-Verhältnis	0,35

Tabelle 11-2 :Parameter Netz

Auf Basis dieser Parameter sind die von der Maschine bzw. dem Gerät einzuhaltenen Grenzwerte hinsichtlich Immunität bzw. Emission zu spezifizieren. Ist aus technischem Gesichtspunkt des Auftragnehmers eine Abweichung notwendig, muss dieses mit korrigiertem Wertinhalt dem Auftraggeber (Käufer, Nutzer der Anlage) im Rahmen der Angebotserstellung schriftlich zur Kenntnis gebracht werden.

Äquivalent dazu gelten die in Abschnitt 2.3.2 Tabelle 2-2 bis 2-8 bzw. Bild 2.3, 2.5 und 2.6, vom Autor hinterlegten Betrachtungstabellen und Werte spezifischer Störphänomene. Je nach Anwendungsfall werden sie in der Tabelle 11-1 hinterlegt um für den werkspezifischen Netzanschlusspunkt ein entsprechendes Grenzgrößenfeld des vertretbaren Risikos zu generieren. Unter Aspekten von Qualität und Kosten, als „Quality-Gate EE sind entsprechende Merkmale in der Spannung nach Tabelle 11-1 nicht nur mit einem Wert, sondern mit einem auf Konsens zwischen Planung und Betrieb gefassten Wertinhalt bei Immunität und Emission zu versehen. Nicht Fremd-, nicht Eigenbelastung darf die Diskussion um das gemeinschaftlich zu verantwortende Produkt EE leiten, sondern deren Verantwortung im Zeichen von Kosten und Customer Value.

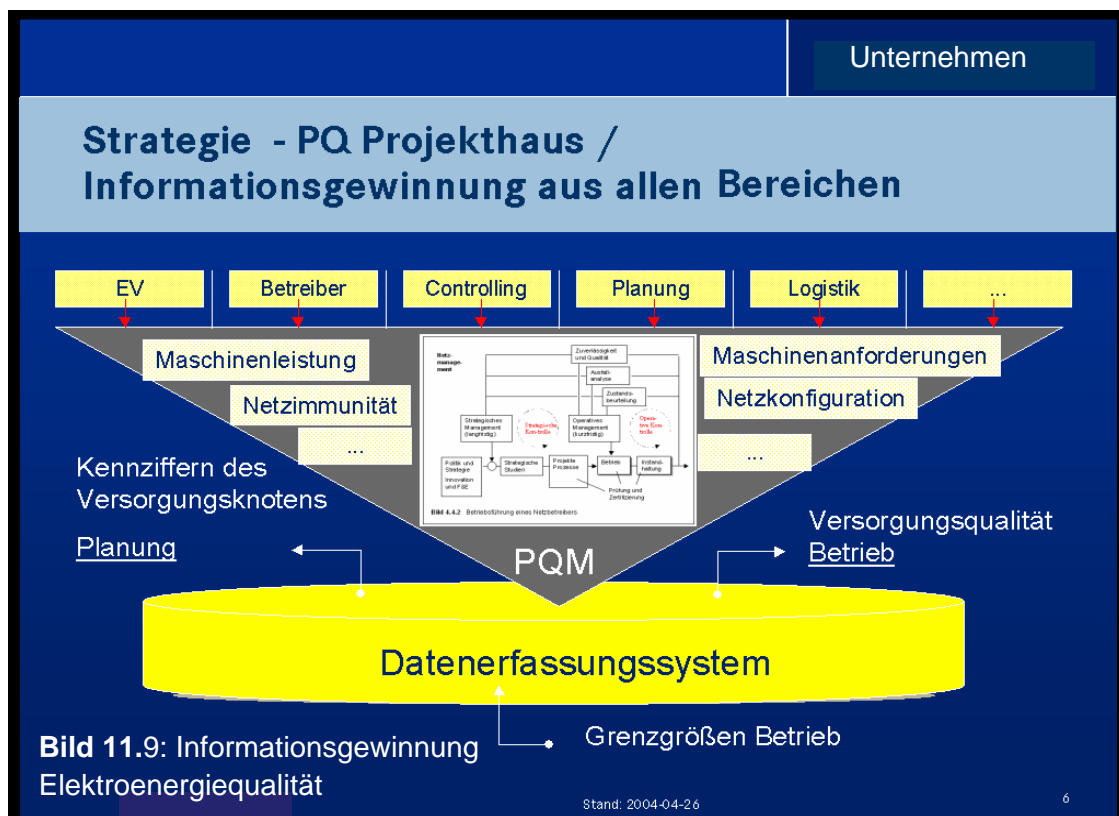
Große Worte – doch Verantwortung im Zeichen von Kosten und Customer Value beinhaltet auch deren Verantwortung in Fragen Qualität und Kosten am Qualitätsprodukt EE im Sinne einer gemeinschaftlichen Kosten-Nutzen-Deckung gegenüber dem Elektroenergieabnehmer im EES.

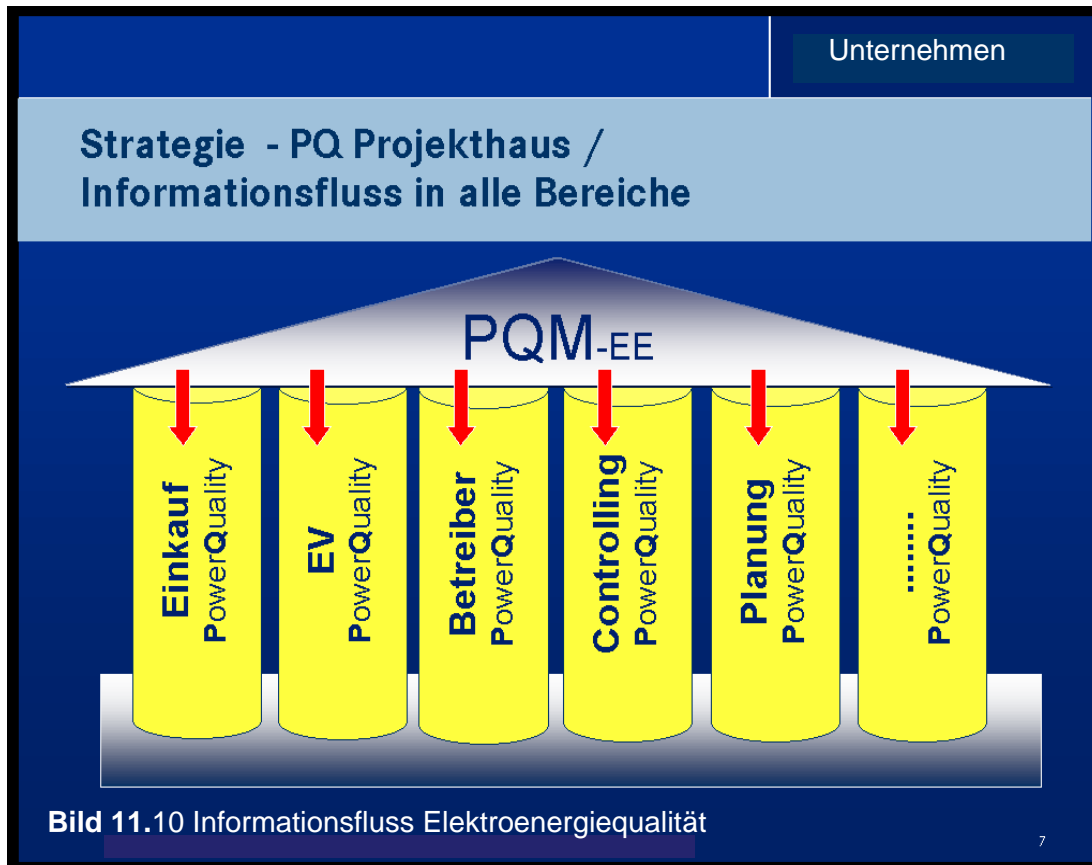
11.3 Umsetzung der Zielstellung

Die Umsetzung am Objekt erfolgt für alle Partner (Elektroenergieversorgungsnetz, Elektroenergieabnehmer) unter den im Lastenheft, Tabelle 11-1, Abschnitt 11.2, hinterlegten Zielen. Genutzt als Zielvereinbarung für Planer und Betreiber infrastruktureller Objekte ist die Qualität der Schnittstelle, d.h. deren Elektroenergiequalität unter Aspekten eines „Quality-Gate EE“ als gemeinschaftliches Ziel einer differenzierten Tätigkeit. Hier kann die Vereinbarung von Zielvorstellungen, wie die der elektromagnetischen Verträglichkeit als eine Kompatibilitätsvorgabe zum Produkt und/oder Prozess differenziert, d.h. einmal lokal, ein andermal global gefasst sein. Die Tiefe der Abstimmung hängt von der am Aufstellungsort vorhandenen und/oder vorgegebenen Rahmenbedingung zur Gewährleistung von Funktionalität und Sicherheit des Elektroenergieabnehmers ab. Das Ergebnis ist:

- die Entscheidungsgrundlage wird sicherer;
- der Gesamtprozess (Planung, Betrieb) wird transparenter.

Das vom Autor dafür entwickelte Kataster steht noch am Anfang. Vorgesehen ist die Subsummierung von Informationen aus allen Bereichen einer Bindung zur „elektrischen Energie“, Bild 11.9, heraus.





Unternehmen

Umsetzung - Datenblatt am IPC / strategischer und operativer Wert

Parameter Anlage – Leitungsgebunden	Immunität (min)	Emission (max)
Oberschwingung THD Spannung		
Oberschwingung Einzelwert		
Spannung (Netz- u. Zwischenharmonisch)	0..2 kHz	
	2..9 kHz	
Kommutierungseinbruch	Tiefe	
	Fläche	
Transiente Überspannung		
Zeitweilig netzfrequente Überspannung		
Transienter Spannungseinbruch		
Kurze Spannungseinbrüche (Voltage Dip)	Anzahl	
	Dauer	
	Tiefe	
Schnelle Spannungsänderungen (<=20ms)		
Spannungsänderungen und –schwankungen (< 1min)		
Spannungsänderungen und –schwankungen (>= 1min)		
Kurze Unterbrechungen der Versorgungsspannung	Anzahl	
	Dauer	
Signalspannung auf der Versorgungsspannung		
Spannungssymmetrie / Unsymmetriegrad		
Frequenzänderung		
Flicker	Pst.	Pst.
	Plt.	Plt.

Netz

Maschine

Bild 11.11: Elektroenergiequalität als strategischer und operativer Wert 12

Die Informationsgewinnung als Informationsfluss über die einzelnen Bereiche hinweg kennzeichnet Bild 11.10, die der Handhabung im Projekt Bild 7.2, Abschnitt 7.2.2. Zeichnen sich am Netzanschlusspunkt (PCC, IPC) eine negative Elektroenergiequalität im Merkmalkriterium beispielsweise einer Spannung ab, d.h. ein Defizit in der Spannungsqualität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer gilt es den Verursacher am Informationsinhalt des Versorgungsknotens zu spiegeln. Hierzu benutzt der Autor die im Lastenheft der Firmen hinterlegten Immunitäts- und Emissionswerte der Elektroenergieabnehmer vom und zum Elektroenergieversorgungsnetz nach Tabelle 11-1 und 11-2, Abschnitt 11.2. Entsprechende negative Abweichungen vom vereinbarten Qualitätskonstrukt, Bild 11.11, d.h. geminderte Elektroenergiequalität über den vertraglich vereinbarten Rahmen hinaus, wird in Euro und Cent vom Schnittstellenverantwortlichen – am Beispiel des betrachteten Industrieunternehmens der Betreiber des Elektroenergieversorgungsnetzes – geahndet. Analog der gelegentlich beim Kauf von Transformatoren zwischen Kunde und Lieferant vereinbarten Kupfer- und Eisenverluste, erfolgt bei Nichteinhaltung von Grenzwerten ein entsprechender Abschlag gegenüber dem Kaufpreis des Elektroenergieabnehmers zur Kompensation von Zusatzaufwendungen auf der Netzseite (Elektroenergieversorgungsnetz).

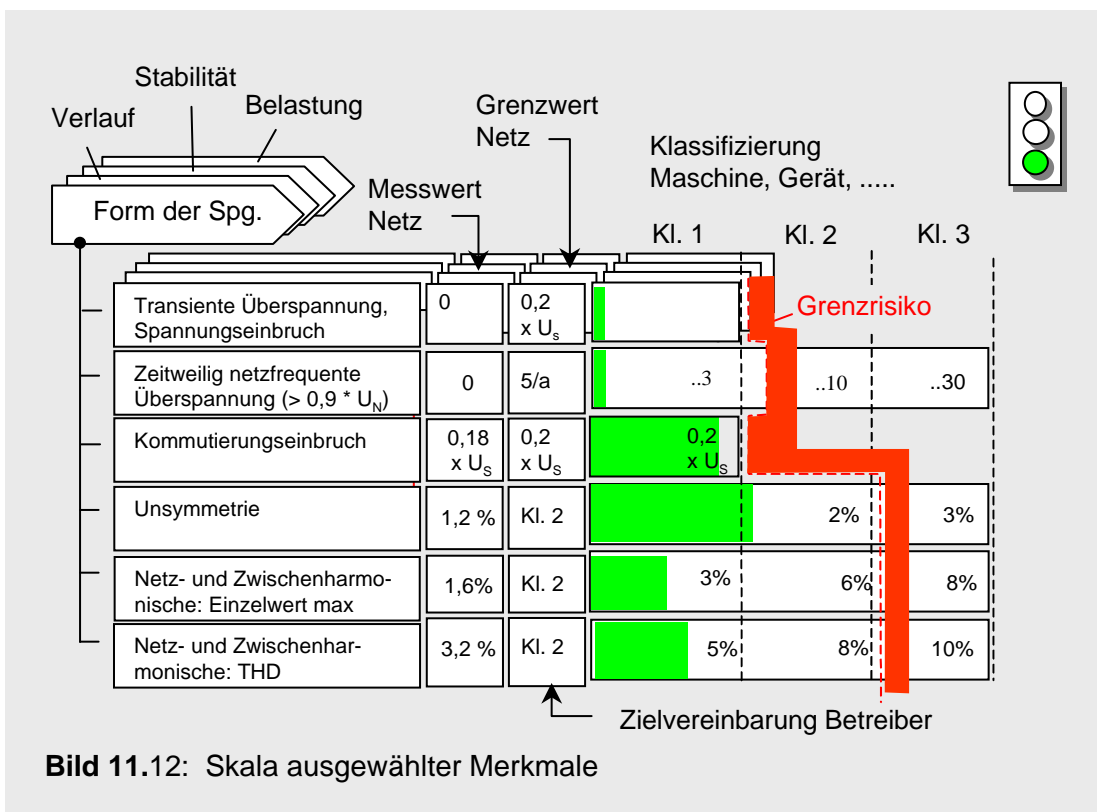


Bild 11.12: Skala ausgewählter Merkmale

Abgeleitet aus Bild 11.8, Abschnitt 11.2, kann das entstehende Zertifikat als Dokument nach Bild 11.12 als positives (Bild 11.12: Ampel grün) oder negatives Delta (Bild 11.12. Bild: Ampel gelb oder rot) gegenüber dem Betreiber des Elektroenergieversorgungsnetzes oder dem Betreiber der Elektroenergieabnehmer (Maschine, Gerät) – auch Lieferant – zur Anzeige gebracht werden. Als Skale der Merkmale bündelt man das netzpunktbezogene Teilergebnis in Form eines topologischen Katasters ab. Im werkinternen und –externen Netzgebilde des Elektroenergieversorgungsnetzes entsteht dafür eine zentral fahrbare Skala zwischen vereinbarten (Bild 11.12, Wert unterhalb der Grenzlinie) und momentan wirkenden Bedingungen am Nutzungsort (Bild 11.12, Wert Balken grün). Die in Bild 11.12 sich abzeichnende Varianz in der Abstimmung kennzeichnet die Individualität des Vorganges. Angepasst auf die physikalischen Umgebungs- und Betriebsbedingungen am Nutzungsort zeigt hier der Autor eine Strategie auf, welche die Stärke der Verbindlichkeit unter Aspekten des „Quality-Gate EE“, Abschnitt 5.3.3, abdeckt. Wie und was vom Nutzer am Nutzungsort vorgegeben wird (Beispiel Abschnitt 11.2) ist frei wählbar. Stets hat zu gelten: Vorbelastung (Emission Netz) und Zusatzbelastung (Emission Maschine, Gerät) darf die Grenzbelastung der Infrastruktur (Immunität Maschine, Gerät, Betriebsmittel) nicht überschreiten. Wie sie eingesetzt oder genutzt wird, obliegt am Ende der **Verantwortung des Nutzers**. Stets gilt es dort den Abgleich zwischen dem als vertretbar eingeschätzten, gegenüber dem bereits als unzulässig hoch deklarierten Risiko der Nutzung des Produkts EE als Verantwortung für die Freigabe zum Betrieb (Abschnitt 4.4.2.1, Regeln der Umsetzung) konform zur EMV zu wahren. Die Verantwortung zur Freigabe ist Check und Dokument zugleich.

Die Frage stellt sich: ist das bereits alles?**NEIN**, denn die Charakterisierung des Risikos nutzt noch zusätzliche Reglementarien zur Wahl und damit zur Zuordnung kalkulierbaren Risikos. Da die Vereinbarung bilateraler Ziele stark von der Häufung des Auftretens einzelner Merkmale geprägt ist, kann unter Umständen das auftreten mehrerer Merkmale in gewisser Höhe trotz Überschreitung einzelner Teilgrößen nach Bild 11.12 erst den Ausfall oder die Störung der Funktion provozieren. Gerade hier zeigt die Praxis, dass stets der Energieinhalt einer Grenzwertüberschreitung, d.h. die Häufung und dessen Pegel der Grad der Funktionsbeeinträchtigung dieses mit bestimmt. Aus diesem Grund ist die Art und Weise der Beeinträchtigung, d.h. deren Portfolio – besser bekannt als Quantil der Belastung – in den Betrachtungszyklus der Grenzgrößenanalyse aufzunehmen.

11.3.1 Klassierung von Einzelmerkmalen

Als Klassierung von Einzelmerkmalen umschreibt Bild 11.13 das Feld der Umsetzung. Zielstellung ist hier die Darstellung des Risikos (Grad des Risikos) unter Aspekten der Belastung (Quantil der Belastung). Vom Autor propagiert als Kaskadierung des Netzanschlusspunktes nutzt die Bildardarstellung der Belastungscharakteristik, z.B. die eines Wochenintervalls (Betrachtung: Woche, Monat, Jahr je nach Gegebenheit), um den Belastungsinhalt gegenüber dem zu betrachtenden Elektroenergieabnehmer, jeweils getrennt als Einzelmerkmal abzugleichen. Die aus äußeren Gegebenheiten (Rahmenbedingung der Vorbelastung) um innere Lasten ergänzte Wertgröße wird

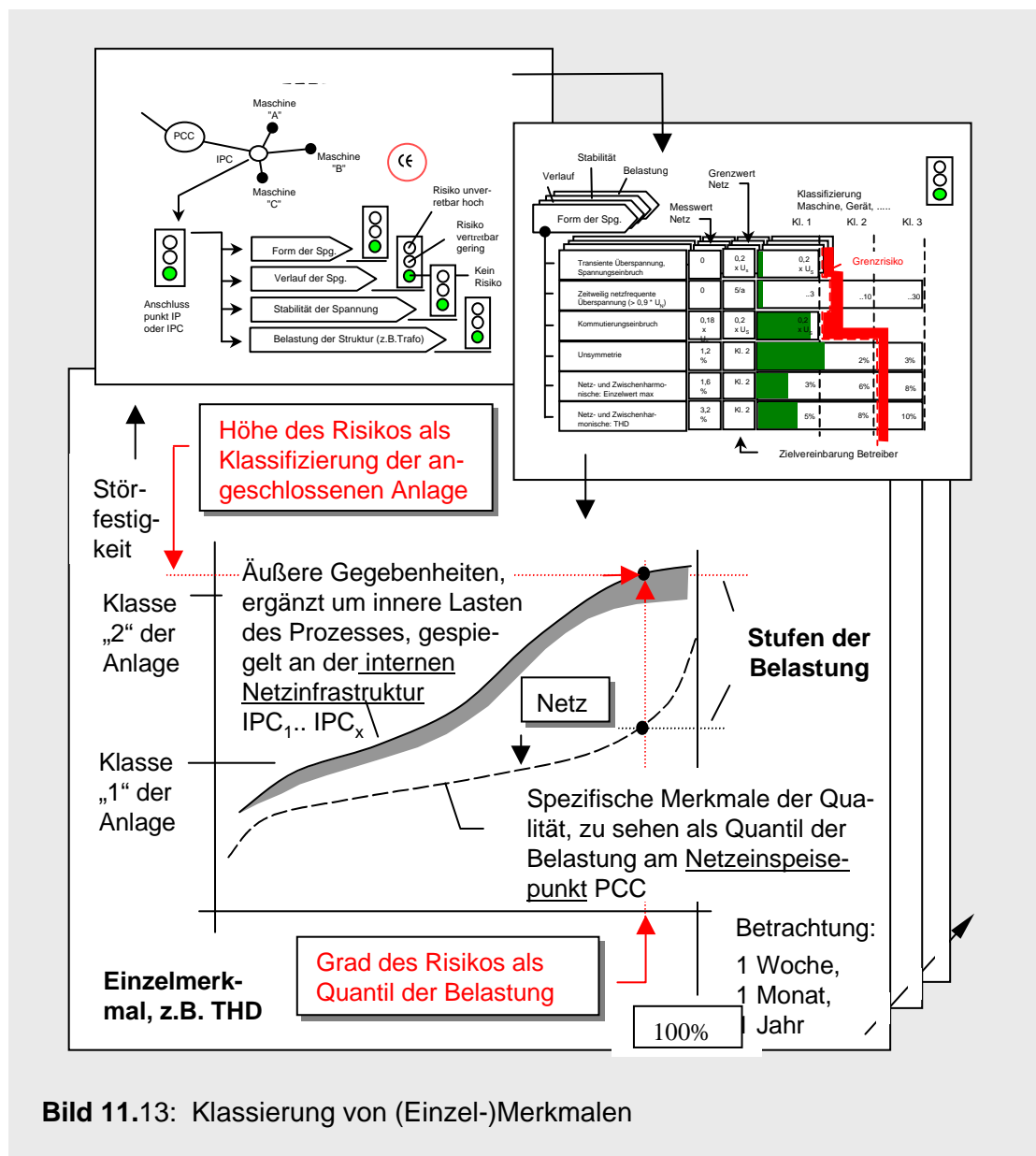


Bild 11.13: Klassierung von (Einzel-)Merkmalen

vom Autor als Schichtung oder Stufung der Belastung bezeichnet. Bild 11.13 thematisiert diese Schichtung als Kennfelder mehrerer Teilbelastungen deren zeitliche Überlagerung die Betriebsbelastung stellt. Am Beispiel Bild 11.13 ist hier die Teilbelastung als Vorbelastung aus dem vorgelagerten Netzpunkt in Form der Häufigkeitsverteilung der Belastungsamplitude über den Messzeitraum (Quantil der Belastung) als gestrichelte Kurve graphisch aufgetragen. Der in Bild 11.13 eingetragene Werteverlauf entspricht am Beispiel dem Messwert des Netzkunden am PCC. Der den Anschlusspunkt des Betriebsmittels (Maschine, Gerät) repräsentierende Messpunkt (IPC) charakterisiert das stochastisch kumulative Ergebnis aus Vor- und Zusatzbelastung. Bild 11.13 benennt dieses als die Grenzkurve der Belastung, bestehend aus äußeren Gegebenheiten (Netz des Versorgers), ergänzt um innere Lasten des Systems (Netz des Netzkunden). Je nach Verknüpfungspunkt des Elektroenergieversorgungsnetzes, z.B. die des Netzkunden, entsteht das topologische Belastungsverhalten der werkeigenen VERBRAUCHER als Differenzgröße zwischen der Vorbelastung (Bild 11.13 gestrichelte Linie der Netzbelastung am Übergabepunkt PCC) und dem jeweiligen Messwert am Messpunkt (Bild 5-13, rot durchgezogene Belastungslinie am IPC_1 bis IPC_x). Zurückkommend auf die in Abschnitt 11.1 angezogenen Kettenglieder des Risikos, charakterisiert am Beispiel Bild 11.3

- die Grenzkennlinie der Belastung am Übergabepunkt das kaufmännisch ausgehandelte Risiko des Elektroenergiebezugs, dort bezeichnet als Einkaufsrisiko zum Medium EE;
- die Differenzbildung zwischen der Grenzkennlinie und dem technischen und technologischen Gebilde des Elektroenergieabnehmers den dort hinterlegten Part der Planung und des Betriebs.

Im Part der Planung gilt es vor allem den Neu- und den Altbestand so miteinander zu kombinieren, das auf Basis der Güte, d.h. deren Kombination im Verhalten zur eigen- und fremderzeugten Störung der einzelnen Elektroenergieabnehmer kein negativer Gesamteffekt gegenüber dem Part der Produktion, Bild 11.3, Abschnitt 11.1.4, entstehen kann. Gerade hier bildet die Einzelemission im Verhalten zur Summenemission, gespiegelt am Netzknotenpunkt gegenüber älteren und neueren Elektroenergieabnehmern, ein nicht ganz einfach handzuhabendes Gesamtgebilde, zumal ältere und neuere Elektroenergieabnehmer gegenüber den sich am Netzknoten einstellenden Störpegel unterschiedlichst reagieren.

11.3.2 Fokus der Befindlichkeit

Fokussierung auf das Wesentliche heißt deshalb die Devise, Fokussierung auf den Part der Verträglichkeit elektromagnetischer Kennziffern die im Bereich leitungsgebundener Störgrößen einen kritischen Faktor darzustellen vermögen. So zu sehen ist der Fokus der Veränderung auch ein Beitrag zur Bestimmung der Befindlichkeit gegenüber Phänomenen die praxisnahe, d.h. nutzungsorientiert zu erfolgen haben. Sinnvolle Werte für Phänomene – Abschnitt 2.3.2.1 bis 2.3.2.8, Tabelle 2-2 bis 2-8, sind vorzubesetzen und an kritischen Belastungssituationen der Objekte zu spiegeln. Am Praxisbeispiel aus Abschnitt 6.4.1 (USV-Anlage) ist dieses die Oberschwingung, am Fallbeispiel Schmelztiegelofen, Abschnitt 6.4.2 die der Oberschwingung und der Spannungsunsymmetrie, am Beispiel Schweißmaschine mit Mehrfachschweißung, Abschnitt 10.1, und 10.3.2, die des Flickers.

Die entsprechende Positionierung ist vom EMV-Sachverständigen so zu wählen, dass die zu betrachtenden Informationsinhalte im Einzelmerkmal der Merkmalkette abdeckt sind, die für die Ursachen-Wirkungs-Beziehung am Einsatzort mit entscheiden. Dem gegenüber sind Phänomene zu vernachlässigen, bzw. in ihrer Wertigkeit herabzustufen, die den spezifischen Prozessablauf und die daran gekoppelte (Prozess-)Sicherheit nur indirekt belasten. Der Nutzer, Betreiber oder Planer als Pfleger des Katasters der Elektroenergiequalität muss in der Lage sein Schwerpunkte an der Belastungsschnittstelle (Netzanschlussknoten) zu bilden und Risiken gegeneinander abzuwägen. Wie in den angesprochenen Beispielen mehrfach hinterlegt, haben differierende Prozesse differenzierte Befindlichkeiten zur Folge. Kommt es in einer gewissen Entfernung an einem gemeinsamen Verknüpfungspunkt, z.B. die der Schweißmaschine und die der Hallenbeleuchtung, Abschnitt 10.3.2, zu einem lokalen Problemen (Station B: Flicker in der Hallenbeleuchtung und Hallenbeleuchtung ist die Senke) mit globaler Ursache (Station C: Flicker an den Schweißmaschine und Schweißmaschine ist die Quelle), ist eine entsprechende Grenzwertreduzierung als Grenzkennlinie des Systems – im vorliegenden Fallbeispiel die der Schweißmaschine an Station C gegenüber die der Beleuchtung an Station B – vorzunehmen.

11.4 Grad der Umsetzung

11.4.1 Risikoabsicherung standardisiert

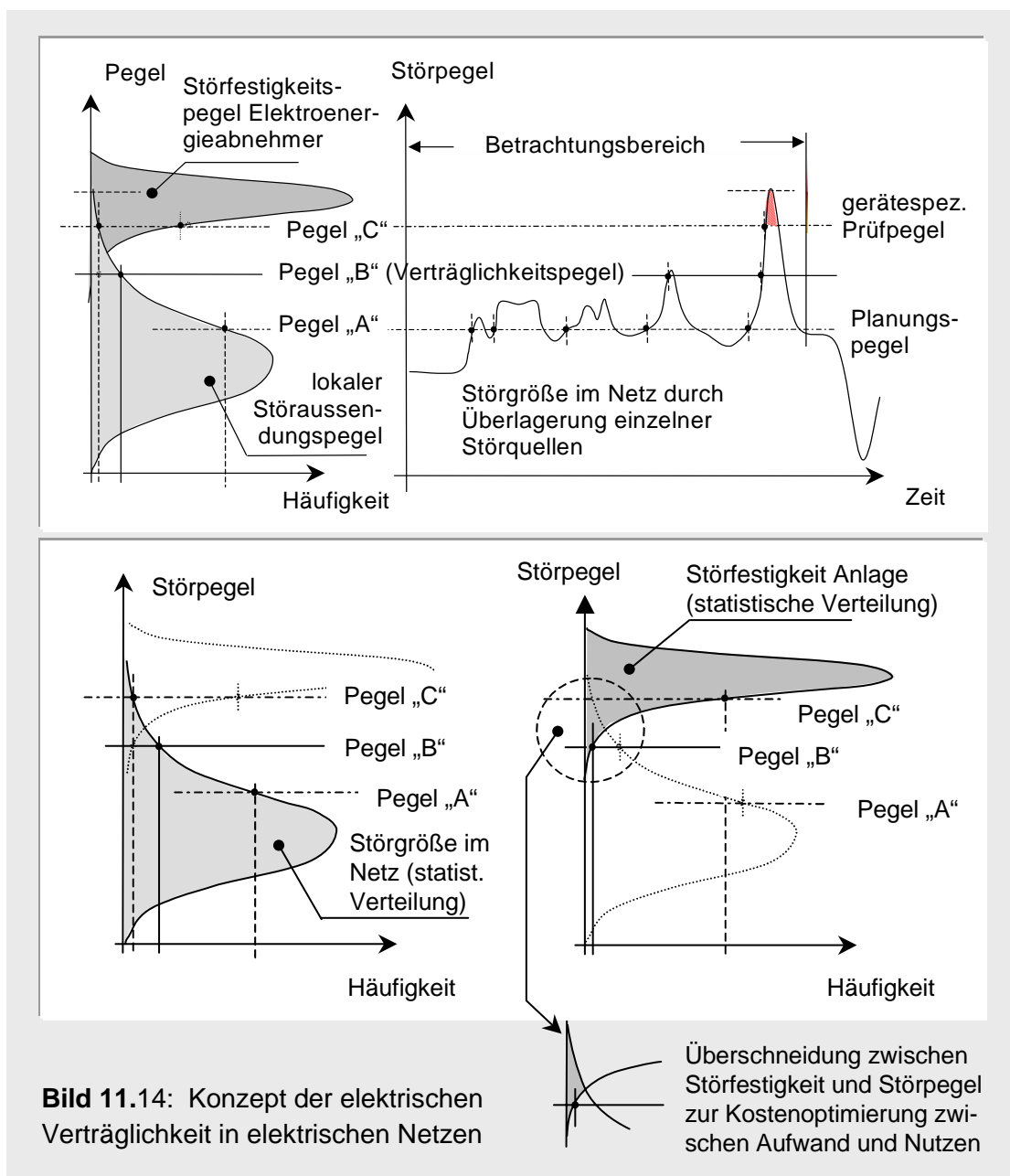
Risikoabsicherungen sind Sicherheitsgrößen die einer Betrachtung des Betrachtungsobjekts (Elektroenergieabnehmer) über den gesamten Betrachtungsfall hinweg – Bild 11.13, 1 Woche, 1 Monat, 1 Jahr – bedürfen. Der momentan im Elektroenergieversorgungsnetz dort gesetzte Betrachtungsrahmen eines 95%-Quantils im Wochenintervall der Merkmale im Merkmalkriterium der Spannung (DIN EN 50160 /15/), ist bei der Betrachtung von Elektroenergieabnehmern nicht relevant. Hier gilt es unter Aspekten einer DIN EN 61000-2-4 /21/ den Verträglichkeitsaspekt im gesamten Betrachtungsbereich – **100%-Quantil** – zu Grunde zu legen. So umgesetzt beim vom Autor betrachteten Industrieunternehmen steht für das Feld der aktiven Sicherheit ein Informationssensor je Merkmalelement bereit, der in einem entsprechend quantifizierbaren Monitoring die Rahmenbedingungen zur Qualitätssicherung beim Medium EE abdeckt. Generell gilt bei der Abklärung von Qualitätsfaktoren sich die Frage zu stellen, ob und ab wann welcher Merkmalpunkt in der Merkmalkette der Qualität am Produkt EE störend und damit qualitätsverschlechternd wirkt.

Das in Bild 11.13, Abschnitt 11.3, dargestellte Risiko gegenüber Einzelmerkmalen stellt die Grenzkennlinie des Netzes als Belastungskennlinie am Betrachtungspunkt, dort zugeordnet als zeitliche Verteilung einzelner Belastungspegel (Klassierung der Belastung / x-Achse) und der Notwendigkeit der dort betriebenen bzw. angeschlossenen Infrastruktur (Klassifizierung der Elektroenergieabnehmer / y-Achse) dar. Hier zeigt sich, dass das Risiko eines nichtkonformen Betriebs in direkter Abhängigkeit zu der Gegebenheit im Netz (Elektroenergieversorgungsnetz) und der Notwendigkeit der Infrastruktur (Elektroenergieabnehmer) im Einzelmerkmal als x-y-Funktion der Grenzkurve der Belastung steht. Ein Grad des Risikos als Risikoabsicherung entsteht, der den Veränderungsprozess als Kenngröße, z.B. in Form der Ampeldarstellung von GRÜN auf ROT setzt. Die anzusetzende Belastungsgrenze zwischen der Qualitätsaussage grün „Qualität i.O.“, und rot „Qualität nicht i.O.“ ist in Grenzen zum Produkt hin ausgerichtet frei zu wählen. Momentan sind dort zwei ECKELEMENTE wirksam.

- ECKELEMENT x-Achse: Betrachtung des 100%-Quantils einer Belastung im Wochenintervall. Am Beispiel der DIN EN 61000-2-4 prägt es das Geschehen an und um den Netzanschlusspunkt (PCC, IPC) für den nichtöffentlichen Bereich.

- Eckelement y-Achse: Mindest-Verträglichkeit der am Netzknoten in Betrieb befindlicher Elektroenergieabnehmer. Sie entspricht der Güte (Qualität) der dort zum Einsatz kommenden Bauteile und Komponenten.

Am Beispiel eingebunden in der Risikobetrachtung der Immunitätsanforderung der Elektroenergieabnehmer am nichtöffentlichen Netz nach DIN EN 61000-2-4, Klasse 2, Industrieumgebung 1 – ist gleich der Belastungsklasse im öffentlichen Netz, DIN EN 61000-2-2 – entsteht am 100%-Quantil des Betrachtungsbereichs ein Schnittpunkt der vom Autor als funktionales Grundrisiko bezeichnet wird.



Es gilt:

- Liegt der lokale Störaussendungspegel nach Bild 11.14 im Merkmalkriterium der Spannungsharmonischen oberhalb dem, als gerätespezifischer Prüfpegel bezeichneten Grenzpegel (Pegel „C“), ist eine Störung der Funktionalität am zu betrachtenden Elektroenergieabnehmer vorprogrammiert. Die Anzahl der Störungen am Elektroenergieverbraucher entspricht der Anzahl der Überschreitungen im Zeitbereich. Die Wahrscheinlichkeit des Störeintritts im Belastungsbereich, d.h. der Grad des Risikos nach Bild 11.13, Abschnitt 11.3 kennzeichnet das über den Betrachtungsbereich gebildete Quantil der Belastung.
- Liegt der lokale Störaussendungspegel in seiner Häufung unterhalb der Grenzkennlinie des Elektroenergieabnehmers, so geht das statistische Ausfallrisiko der Elektroenergieabnehmer, je weiter man sich im Bild 11.14 vom Pegel C in Richtung Pegel „A“ bewegt, immer weiter gegen Null. Dieses kennzeichnet auch Bild 11.13, Abschnitt 11.3, in der Darstellung dahingehend, dass die als Verträglichkeit – Bild 11.14 Pegel B – dargestellte Grenzkennlinie im Bereich der Höhe des Risikos größer bis gleich der lokalen Belastungskennlinie am zu betrachtenden Schnittpunkt ist.

Gerade das Ausfallrisiko gegenüber Störpegeln unterliegt im Allgemeinen einer statistischen Verteilung. In der Praxis ist es sehr schwer, oft unmöglich den selten auftretenden, tatsächlichen höchsten Störpegel zu bestimmen. Im Allgemeinen wäre es ebenfalls nicht wirtschaftlich den Verträglichkeitspegel für diesen höchsten Wert zu definieren, dem die meisten Geräte die meiste Zeit nicht ausgesetzt werden. Aus diesem Grund erscheint es praxisgerecht den Verträglichkeitspegel nicht am „Höchstwert“ einer Störgröße zu definieren, sondern als den Störpegel, der nur bei kleiner oder einer vergleichsweise geringen Anzahl von Vorgängen (Bild 11.14, Punkt „B“) überschritten wird. Dieses entspricht bei betrachteten Industrieunternehmen dem Basisquantil eines funktionalen Standardrisikos, bei dem das 100%-Quantil der Belastung den Verträglichkeitspegel nach DIN EN 61000-2-4, Klasse 2, so gesehen als Grenzwert nach Bild 11.13, Abschnitt 11.3, gerade schneidet. Wird der Verträglichkeitspegel durch den lokalen Störaussendungspegel überschritten, verschiebt sich der Schnittpunkt nach Bild 11.3, Abschnitt 11.3, nach links und erhöht dadurch den Grad des Risikos funktionaler Störungen gegenüber dem am Elektroenergieversorgungsnetz betriebenen Elektroenergieabnehmer.

Eine Skala des Risikos nach Bild 11.15 entsteht, die je nach Schnittpunktverschiebung zum Bezugspunkt, vorzugsweise dem des 100%-Quantil der Belastung des lokalen Störfestigkeitsparts am Elektroenergieabnehmer, zunehmend häufig (Grad des Risikos), und zunehmend hoch (Höhe des Risikos) negativ beeinflusst. Natürlich ist die Wahl des Bezugspunktes zur Bildung des standardisierten Risikos der Nutzung von Elektroenergieversorgern nicht vorgegeben. Bild 11.16 zeigt als Ergänzungsbeispiel dargestellt die Wahl des vom Nutzer definierten Grundrisikos bezogen auf das 95%-Quantil. Bei der freien Wahl des Grundrisikos sollte stets darauf geachtet werden, dass die Störmempfindlichkeitsschwelle nach Bild 11.14 ebenfalls eine statistische Verteilung darstellen vermag, die in der Betrachtung vom Einzelmerkmal (Störphänomen nach Abschnitt 2.3.2) zum Summenmerkmal in seiner Reaktion zur Funktionalität eines Elektroenergieabnehmers zusätzlich variieren kann. Ein im Einzelfall gemessener Störfestigkeitspegel kann bei entsprechender Zusammenschaltung einzelner Funktionseinheiten (einzelner Elektroenergieabnehmer) zu einer Summenfunktionseinheit (Gruppe von Elektroenergieabnehmern) ein, gegenüber den Einzelmerkmalen der beteiligten Elektroenergieabnehmer differentes Störfestigkeitsverhalten aufweisen, das gelegentlich auch unterhalb der Störfestigkeit der schwächsten Einzelkomponente liegt.

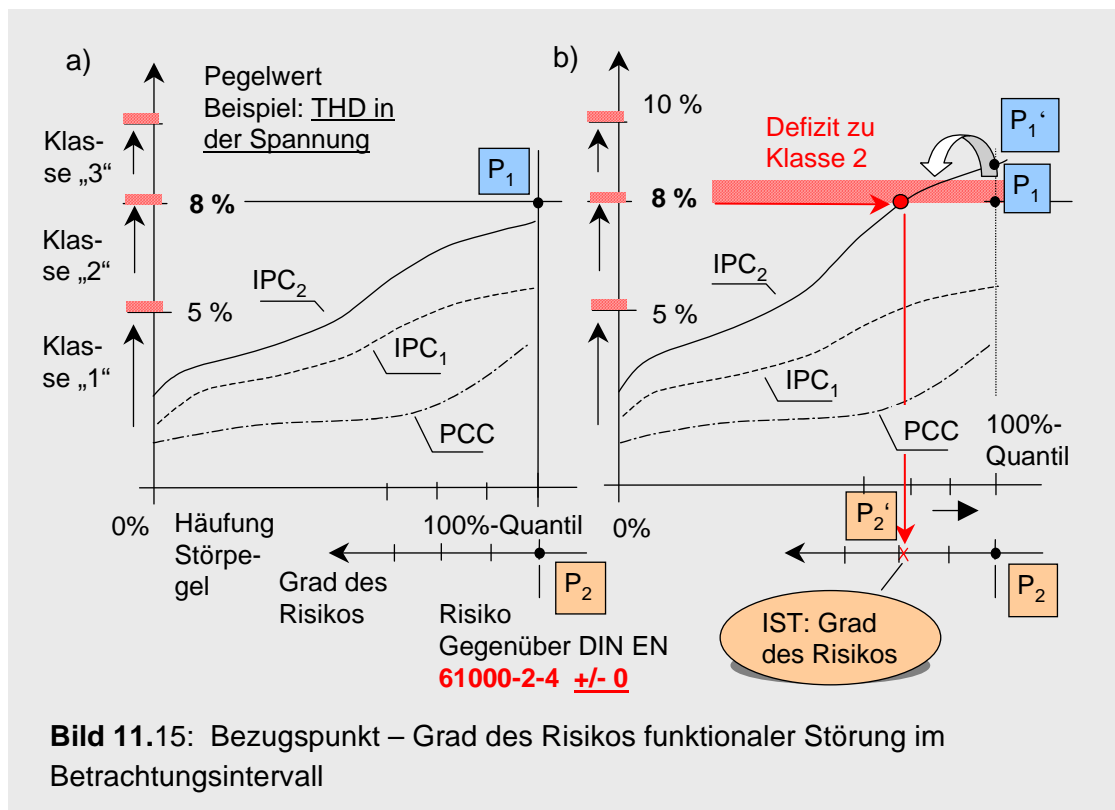


Bild 11.15: Bezugspunkt – Grad des Risikos funktionaler Störung im Betrachtungsintervall

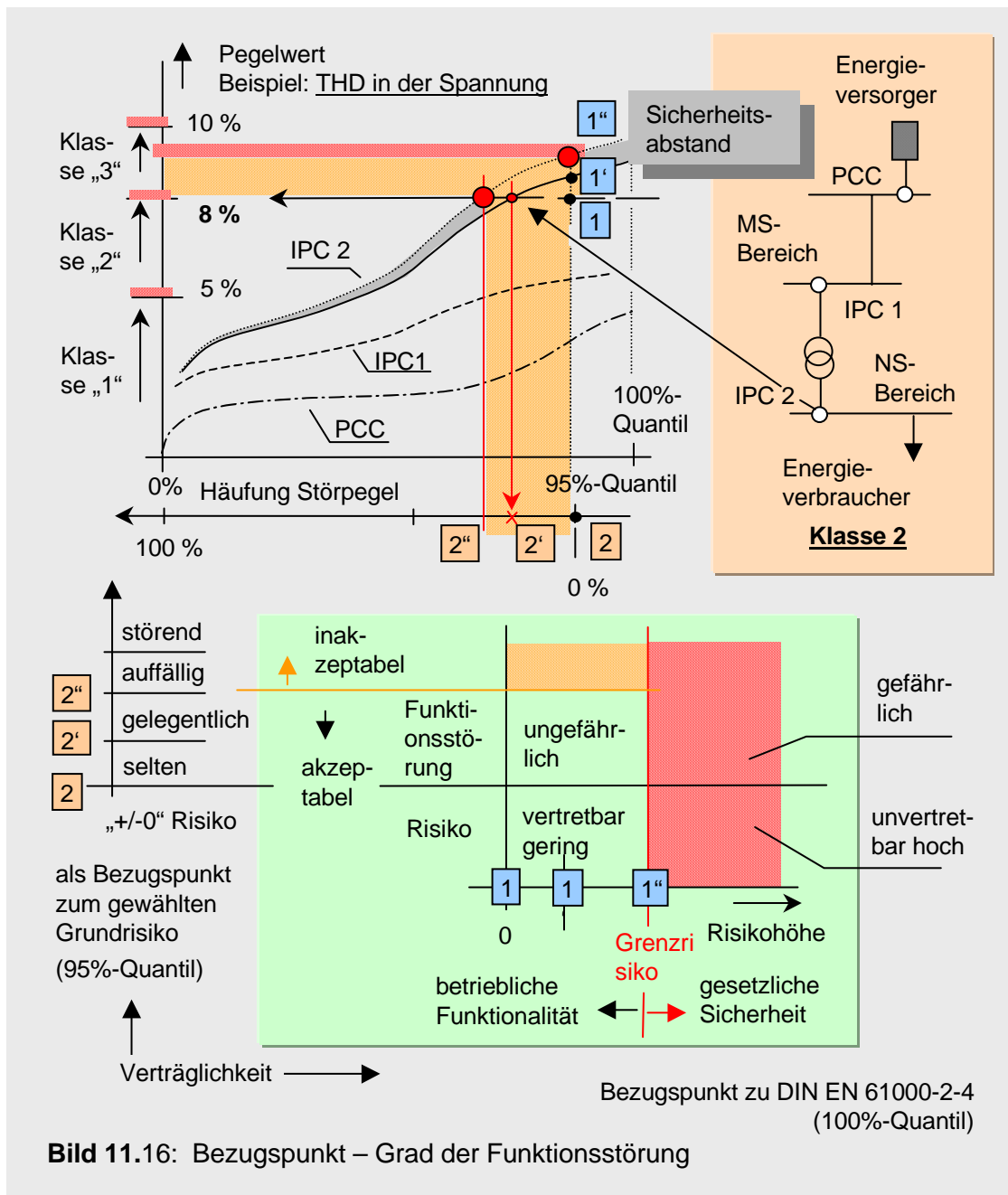
Definition:

Der Ausdruck der Störgröße ist als die Summe aller Störgrößen an einem Netzknotenpunkt (IPC, PCC) anzusehen. Er ist diejenige elektrische Größe, die in einer elektrischen Einrichtung (Maschine, Anlage, etc.) eine unerwünschte Beeinflussung hervorrufen kann. Diese Größe wird auch dann als Störgröße benannt, wenn sie nicht zu einer Störung bzw. unerwünschten Beeinflussung führt. Die Art und Weise der Beeinflussung charakterisieren die beiden nachfolgenden Fallbeispiele.

- Fallbeispiel 1, Bild 11.15, Diagramm a: Der Schnittpunktbildung zwischen der Grenzbetrachtung des Elektroversorgungsnetzes als 100%-Quantil einer Wochenbelastung und der Grenzbetrachtung des Elektroenergieabnehmers, dort gesetzt als Klasse 2 nach DIN EN 61000-2-4 – bezeichnet als P1 – liegt oberhalb der gemessenen Häufigkeitsverteilung des lokalen Störaussendungspegels (Betriebspegel). Ein konformer Betrieb liegt vor. Der als Standardrisiko bezeichnete Grad des Risikos funktionaler Störungen am Elektroenergieversorger ist gleich Null (Bild 5.11 – Darstellung als +/- 0).
- Fallbeispiel 2, Bild 11.15, Diagramm b: Der Schnittpunkt zwischen der Grenzbetrachtung des Elektroenergieversorgungsnetzes und des Elektroenergieabnehmers – P2 – liegt unterhalb der Häufigkeitsverteilung des am Netzanschlusspunkt vorherrschenden Betriebspegels. Ein nichtkonformer Betrieb entsteht, der das funktionale Standardrisiko des Nutzers, gesehen zu einem Bezugspunkt der x-Achse ansteigen lässt. Der dort vom Nutzer eines Elektroenergieabnehmers als Bezugspunkt gewählte Belastungspegel – nach Bild 11.15 das 100%-Quantil des lokalen Störaussendungspegels, nach Bild 11.16 das beispielhaft dort gesetzte 95%-Quantil – ist frei. Je nach Perspektive der Betrachtung zum zu setzenden Grundrisiko einer Störung am Prozess und/oder Produkt, entspricht dort eine Verschiebung, ein Ansteigen (Verschiebung nach links), oder ein Abfallen (Verschiebung nach rechts bis zum 100%-Quantil) des als Standard- oder Grundrisiko gesetzten technisch- und technologischen Inhaltes eines Elektroenergieabnehmers.

Die Skala des Risikos steigt in Richtung Ursprung der x-Achse. Entsprechen der linearen Skalierung der Häufigkeit von Störbelastungspegeln im Netz ist der vom Autor bezeichnete Häufigkeitsanstieg am Risiko – Grad des Risikos – als diesbezügliches Äquivalent zum jeweiligen Pegelwert gegenüber dem Störfestigkeitspegel am Merkmalkriterium (Bild 11.15: Einzelmerkmal THD-U) zu sehen.

Eingebunden in die Matrixaussage nach Bild 11.7, Abschnitt 11.2, kann nach Bild 11.16 die bis dato gewonnene Aussage zum Grad des Risikos auch an dem dort hinterlegten Funktionsinhalt, von ungefährlich bis gefährlich, gesetzlich und/oder betrieblich abgesichert gespiegelt werden. Der dadurch erzielbare Informationsinhalt zu Betriebsweisen mit akzeptablem oder gar inakzeptablem Risiko steht dann als Dokument zur Bestimmung der Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer der dort zu wählenden Konformität nach EMVG voran.



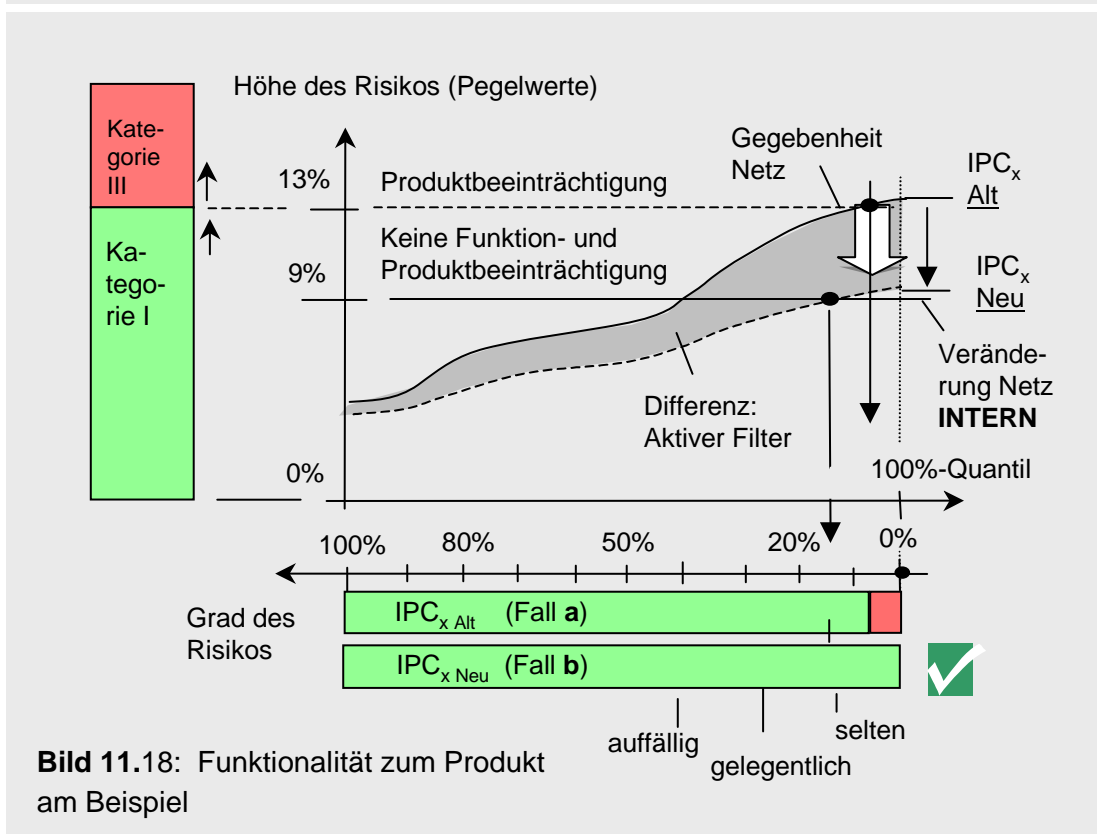
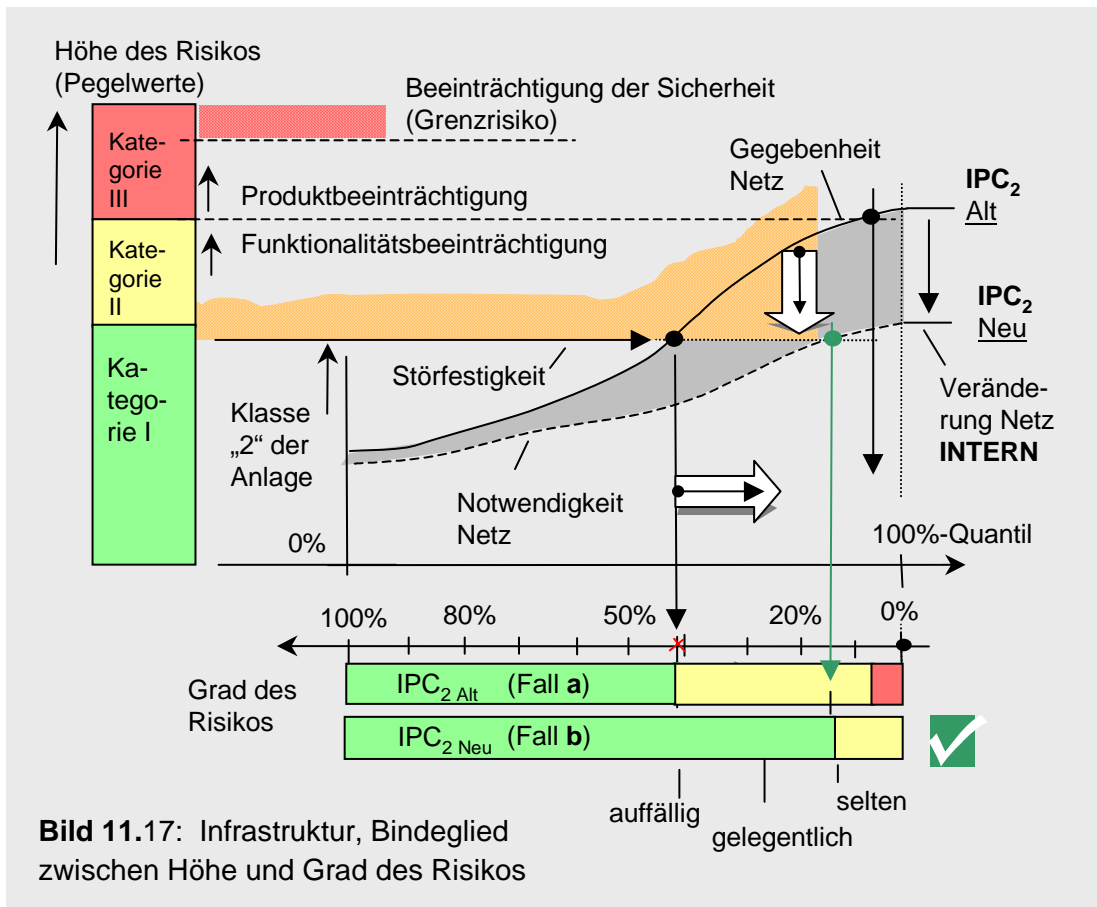
11.4.2 Risikoabsicherung erweitert

Der als global anzusehende Handlungsspielraum am IPC oder PCC zwingt ein Unternehmen nicht mehr nur zur Darstellung funktionaler Risiken im Sinne mehr oder minder störender funktionaler Beeinträchtigungen, sondern zur Quantifizierung der Beeinträchtigung unter Aspekten der Risikohöhe. Hier gilt es die in Bild 9.5, Abschnitt 9.6, ausgewiesene Methodiken der Zuweisung von Kategorien einer Störung in das Qualifizierungsprogramm einer Schnittstelle einzubinden. Ein entsprechendes Funktionsraster ist so zu generieren, dass z.B. die in einem Lastenheft zwischen Lieferant und Kunde vereinbarte Funktionalität in einer vordefinierten Betriebssituation den daraus sich bildenden Risikobereich als Risikoabsicherung abzudecken vermag. Bild 11.17 nutzt die Kennzeichnung des Risikos am Beispiel des dort dargestellten Merkmalkriteriums THD der Spannung, um den Korridor zwischen vertretbarer und nicht-vertretbarer Funktionalitäten als eine Art Risikoabsicherung des Kunden gegenüber dem Lieferanten der Maschine und dem Produkt EE abzusichern. Der dort als Null-Marge des Risikos (Grundrisiko) zu wählende Qualitätsanspruch splittet sich grundsätzlich in zwei Ebenen:

- Ebene 1 beschreibt den Grad der funktionalen Störungen, d.h. die Höhe des Risikos unter dem Aspekt:
 - der Störfestigkeitsgrenze der gewählten Maschine- oder Anlagenklasse nach DIN EN 61000-2-4 (Elektroenergieabnehmer im nicht öffentlichen Netz / Industrieumgebung);
 - der Grenze zwischen Funktions- und Produktbeeinträchtigung. Die Differenzierung zwischen Funktions- und Produktbeeinträchtigung ist entscheidend. Während unter der Funktionsbeeinträchtigung eine spontan auftretende Störung der Prozesskette zu verstehen ist, das Produkt in seiner Produktqualität jedoch nicht beeinträchtigt, wirkt die nächst tiefere Störgröße auf die Produkt-erstellung. Darunter fällt z.B. die, in unter Abschnitt 5.3.1, Bild 5.8, dargestellte Unter- oder Überschreitung eines unter Qualitätsaspekten eines Produktes einzuhaltenden Toleranzbandes beim Schweißgut einer Schweißmaschine, bezeichnet als einzuhaltenden Schweißleistungstoleranz die ein Kleben oder Durchbrennen der Schweißgutverbindung verhindert;
 - die Grenze der Überschreitung sicherheitsrelevanter Pegel der Elektroenergiequalität am Elektroenergieanschlusspunkt des Elektroenergieabnehmers.

- Ebene 2 nutzt den in Abschnitt 11.4.1 eingeführten Grad des Risikos als Anzeige der Häufung funktionaler Störungen, heruntergebrochen auf die unter Ebene 1 aufgelisteten Aspekte.

Mit dem Ziel des Abgleichs von Anforderungen und Gegebenheiten eines Netzan-schlusspunktes zur Skalierung einer allgemeine Akzeptanz gegenüber allen Hand-lungspartnern am Beispiel Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer, bildet die Kombination beider Betrachtungsebenen – Höhe des Risikos, Grad des Risikos – die erweiterte Kernaussage ab. Vom Autor wird sie definiert als erweitertes Risiko. Gesehen am Beispiel des Merkmalkriteriums THD-U, Bild 11.17, entsteht nach Fallbeispiel a, Bild 11.17 ein, vom Betreiber einer Anlage nicht akzeptabler Fall dann, wenn die Funktionsbeeinträchtigung in eine Produktbeeinträchtigung übergeht. In diesem Fall gilt es durch geeignete Netzgegenmaßnah-men, dargestellt in Fallbeispiel b, Bild 11.17, durch Minderung der lokalen Störgröße das Potential so weit zu senken, bis der Grad des Risikos von auffällig, über ge-legendlich nach selten wandert. Konkret umsetzbar durch Einsatz eines aktiven Filters am zu betrachtenden Netzknotenpunkt (PCC, IPC) ist die Absenkung der Hüllkurve einer Störbelastung so weit vorzunehmen, dass auch ein gewisser Spielraum im E-lektroenergieversorgungsnetz gegenüber dem Grenzkriterium des Elektroener-gieabnehmers entsteht. Der im Beispiel Bild 11.18 angesetzte Vorgang ergänzt den in Bild 11.17 dargestellten Vorgang unter Aspekten der Störung am Produkt, wobei nicht zwangsläufig davon ausgegangen werden kann, dass vor einer Produktstörung stets eine Funktionalitätsstörung an der Maschine entsteht. Dieses hat seinen Grund in der Tatsache, dass im betrieblichen Alltag nicht der starr nach DIN EN anzuset-zende Störfestigkeitswert einer Klasse zählt, sondern die bilaterale Abstimmung der Verträglichkeit der/aller am Netzknoten arbeitenden Elektroenergieabnehmer das Profil des Risikos unter prozess- und produktrelevanten Gesichtspunkten angibt. Aus diesem Grund heraus wurde in der Darstellung Bild 11.17, gegenüber der Darstellung Bild 11.18, auf die Skaleneinteilung nach Klassen der Festigkeit (DIN EN 61000-2-4) verzichtet. Das Schlecht-Gut-Spektrum am Fallbeispiel des THD-U (13% SCHLECHT: Prozessproblem / 9% GUT: volle Funktionalität trotz Überschreitung z.B. zur Störfestigkeitsklasse 2) gibt dem Prozessbeobachter die Chance eines freien Spiels der Verträglichkeiten. Hier zeigt sich die Parallelität zum Vorgehen am Netz-übergabepunkt (PCC), gekennzeichnet durch das Festschreiben von Konditionspake-ten, Abschnitt 6.2, eines bilateralen Freiraums elektroenergetischer Nutzung.



11.5 Fazit

Die Verantwortung für die Qualität am Produkt EE, zu aller erst gesehen als Beschreibung der Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer, heißt in seiner Konsequenz vor allem einen Konsens zu den Faktoren des Risiko zu finden, die für die funktionale Störung im Prozess und/oder im Produkt verantwortlich sind. Während die Befähigung der Mitarbeiter, die Leistungsfähigkeit (Qualität und Quantität) des Maschinen- und Anlagenparks und die Qualität der eingesetzten Materialien als qualitätsbeeinflussende Größe in einem Unternehmen als solche gesehen werden, differenziert das Medium das qualitative Bewusstsein zum Produktionsprozess (Produktqualität) von Unternehmen zu Unternehmen und Branche zu Branche. Akzeptiert wird, dass ein Dampfdruck oder eine bestimmte Wasserqualität direkt proportional auf einen Produktionsprozess wirkt, hingegen wird der Einfluß der „elektrischen Energie“ als direkte Risikohöhe einer Eingangsgröße in einen Produktionsprozess nur selten, und stets unzureichend wahrgenommen.

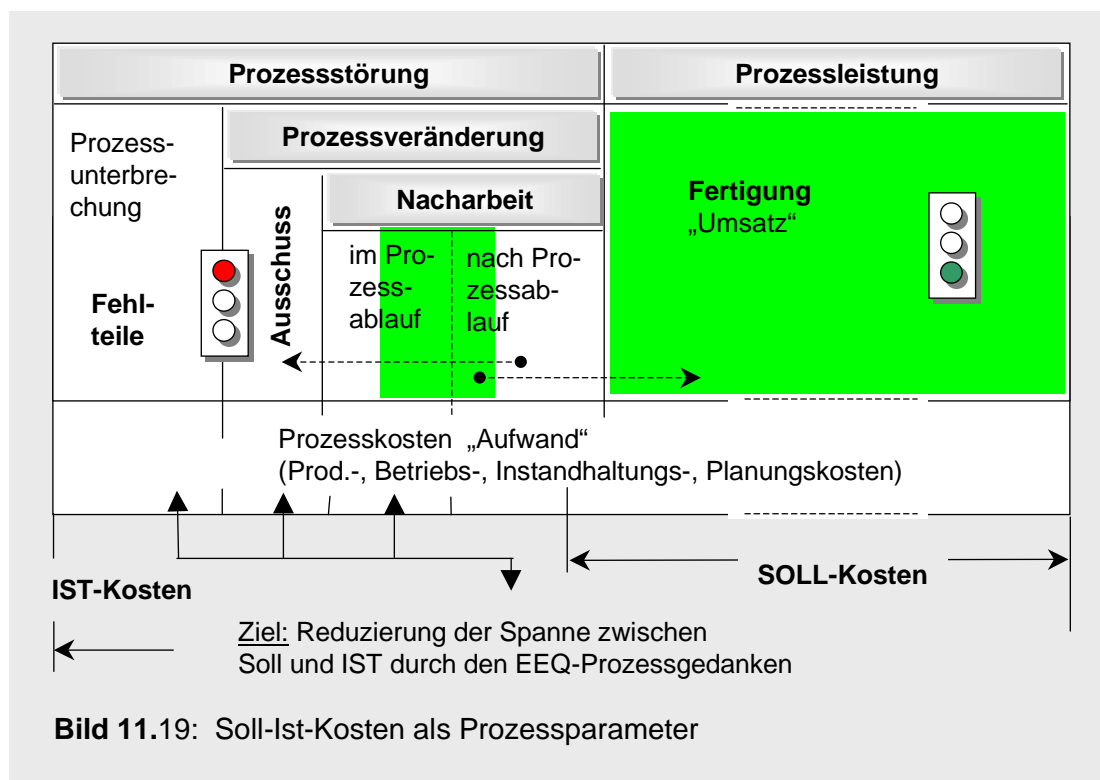
Durch sich immer mehr häufende, teils rekapitulierbar auftretende Korrelationen zwischen Produktqualität / Stabilität der Produktion / Konformität / Arbeitsschutz etc. versus Produkteigenschaften der elektrischen Spannung, als Medium EE, fokussieren sich Prozessbetrachtungen in zunehmendem Maße auch auf Wechselwirkungen zwischen Produktion / Produkt und „elektrische Energie“. Damit wird zumindest beim betrachteten Industrieunternehmen der Übergang von der 3M Betrachtung (Mensch, Maschine, Material) zur 4M Betrachtung (Mensch, Maschine, Material und Medium) mit aller Konsequenz vollzogen. Vorrangig am Gegenstand des MEDIUMS EE lässt sich dieser Implementierungsprozess durch die Betrachtung weiterer Medien (Gas, Wasser, Wärme, Druckluft, etc.) verstärken. So ist es denkbar, und wird im betrachteten Unternehmen bereits diskutiert, diese Betrachtung ganzheitlich vorzunehmen. Hierzu zählen vor allem die Punkte, die das Kostenrisiko im Verantwortungsbereich um die Qualität als Kosten eines „Quality-Gate Medium“ – Beispiel: „Quality-Gate EE“ – den Konsens aller Beteiligten einer energetischen Kette – idealisierbar als Kettenglieder des Risikos, Abschnitt 11.1.3 – bedarf. Die Verantwortung im Zeichen von Kosten und „customer value“ globaler Zusammenhänge rückt näher. Gerade im Zeichen von Kosten-Nutzen-Relevanzen unterschiedlichster Interessenslagen vielfältigster Partner und Partnerschaften können dieses mit Sicherheit nicht so einfach in Zah-

lenwerten für Benchmarks gefasst werden. Die Erkenntnis muss reifen, dass erst eine ganzheitliche Kosten-Nutzen-Bewertung ein Maß für deren Effizienz wiedergibt. Vereinbarte, verhandelte Begrenzungen örtlicher Nutzungspegel, angepasst an die netz- und kundenorientierte Globalisierungsstrategie ist dessen signifikante These zur Absicherung funktionalen Wirkens. Bewertbare, vor allem aber überwachbare Parameter, nach Konditionen ein- bzw. aufgeteilte, nach Konformitäten betrachtet und verhandelt, gekennzeichnet und dokumentiert am Beispiel der Qualität des Produkts EE, fixiert als Klassen der Verträglichkeit der Elektroenergieabnehmer, ist deren Resultat im Zeichen funktionalen Wirkens innerbetrieblicher Produktivität.

Unabhängig von der konkreten industriellen Branche wird die Produktqualität und damit indirekt die Kosten-Gewinnstruktur des Unternehmens von den Qualitätsparametern der Eingangsgrößen der Produktionsprozesse mitbestimmt. Im Wechselspiel der Verpflichtungen gegenüber der Elektroenergiequalität hat deshalb nicht nur das in Abschnitt 11.3 und 11.4 dargestellte momentane Funktionsrisiko im Vordergrund der Betrachtungen zu stehen, sondern auch derjenige Defizitanteil, der funktionale Risiken erst über einen gewissen Zeitraum hinweg summiert, bevor ein Funktionsdefizit im Produktionsprozess relevant wird. Bezeichnet unter anderem vom Autor als vorgezogene oder verfrühte Alterung der elektrischen Bauteile und Komponenten kennzeichnet die dort zu wahrende Prozessgröße den Prozessinhalt zusätzlich. Als Faktor der Langzeitnutzung, d.h. über die Lebensdauer des Elektroenergieabnehmers hinweg, bildet die Elektroenergiequalität auch die Beschreibung einer interdisziplinären Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer unter betriebswirtschaftlichen Aspekten ab. In der Betrachtung um die Korrelation zwischen Störgröße und Störauswirkung ist deshalb verstärkt auch der Anteil der Permanentbelastung von Störgrößen gegenüber einer momentan unkritischen funktionalen Größe zu sehen. Am Beispiel des Netzanpasstransformators, Schmelztiegelofen, Abschnitt 6.4.2, zeigt sich hier der Störfall auch erst nach einer gewissen Betriebsbelastung heraus. Hier bildet die thermische Zerstörung den Langzeiteffekt von Verzerrungs- und Unsymmetriblindleistung, als Detailgröße der Last im EES, Abschnitt 6.3, einer Bezugsgröße der Elektroenergiequalität am Elektroenergieanschlusspunkt als thermische Alterung ab.

Kurz gestreift sei hier die Verantwortung als Konsequenz aus Verpflichtung, Fürsorge und Zwangsnotwendigkeit gegenüber einem Produkt, einer Anlage, einer Einrichtung,

das die Risikobreite auch als ergänzende Prozesskosten wiederzuspiegeln vermag. Die Prozessstörung, auch strukturierbar in Prozessunterbrechung und Prozessveränderung, charakterisiert hier ein Delta in der Prozessleistung, das eine Reduzierung der Spanne zwischen Soll- und Ist-Kosten hervorzurufen im Stande ist. Zuzuordnen zum Produkt und/oder Prozess reduziert momentan vor allem der Bereich der Stillstandszeiten eines Elektroenergieabnehmers den Profit eines Unternehmens maßgebend. Gerade die Stillstandszeiten, d.h. die Zeitinhalte die eine Prozessanlage unfreiwillig durch Defekte an Produktionsmittel (Elektroenergieabnehmer) steht, ist Ausgangspunkt einer vertiefenden Projektion der Elektroenergiequalität zum Kostensegment beim Betrieb, beim Betreiben des Elektroenergieabnehmers selbst. Projiziert auf ein allgemeines Fallbeispiel zeigt die nachfolgende Darstellung den Zusammenhang der Prozesskosten am Prozessobjekt. Vor allem die dort hinterlegten Teilfaktoren einer Wirkungs- und Reaktionskette, meist nur dokumentiert als Ausschuss (Unterschreitung von Fertigungstoleranzen) oder Nacharbeit (nicht Erreichung der Fertigungsgüte), nutzt den Part der Elektroenergiequalität um über die daraus ableitbaren mechanischen und/oder elektrischen Probleme, direkter und/oder indirekter Art, den Risikoanteil des Mediums EE am Fertigungsprozess über das Ist-Soll-Kostenprofil noch gezielter vorzugeben.



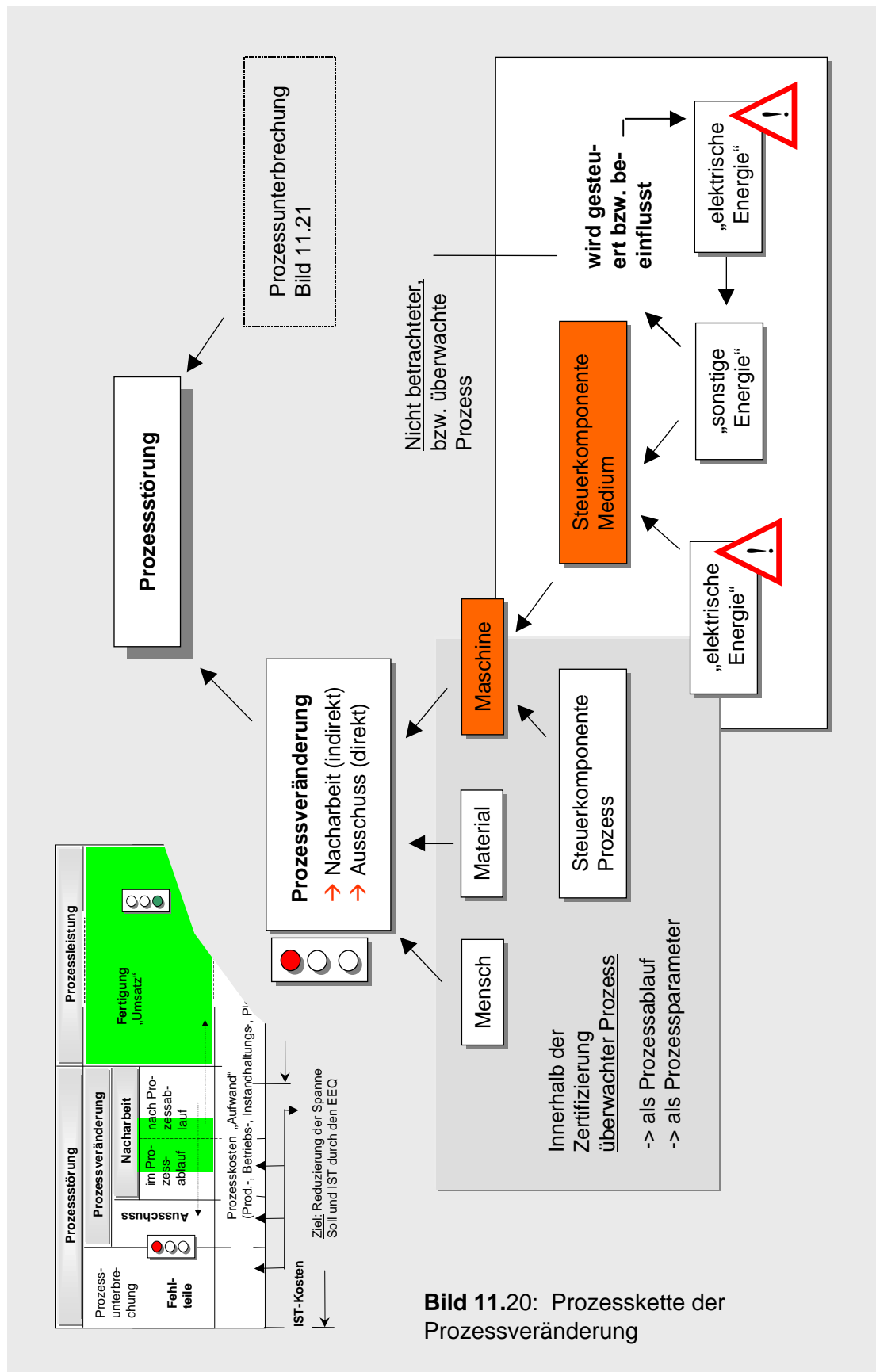


Bild 11.20: Prozesskette der Prozessveränderung

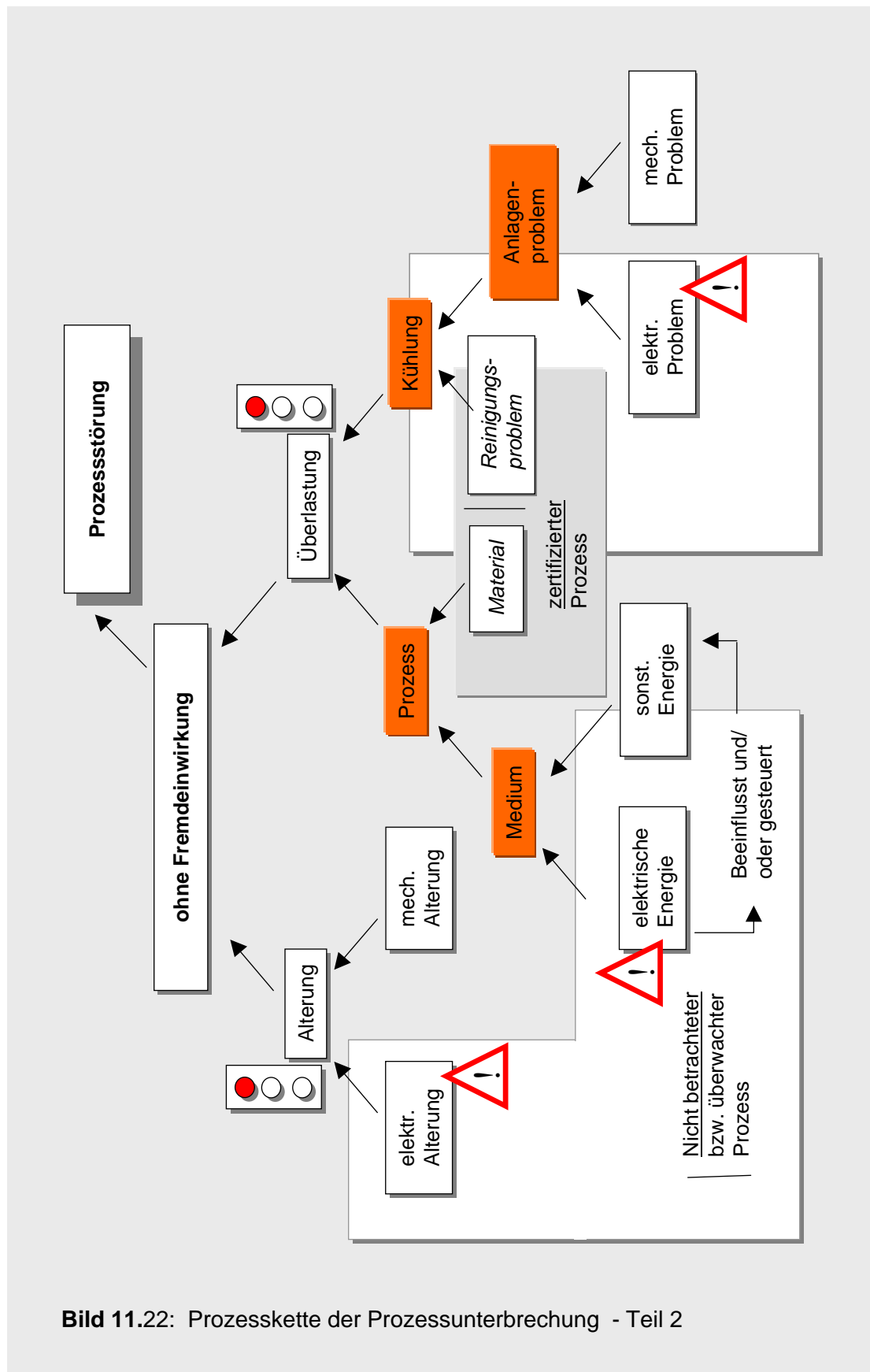


Bild 11.22: Prozesskette der Prozessunterbrechung - Teil 2

Zumindest beim vom Autor betrachteten Industrieunternehmen steht die Erkenntnis zum Vorteil des Kunden:

Qualität und Kosten, als „Quality-Gate EE“ sind Themenkomplexe deren Verantwortlichkeiten den Konsens aller Beteiligten eines elektroenergetischen Prozesses bedarf. Hier steht der Gemeinschaftsprozess, so zu sehen von der Energiebereitstellung (externes / internes Elektroenergieversorgungsnetz) bis zur energetischen Wandlung am Elektroenergieabnehmer. Nicht Fremd-, nicht Eigenproblem darf hier die Diskussion um das gemeinschaftlich zu verantwortende Produkt EE leiten, sondern deren Verantwortung im Zeichen von Kosten und „customer value“. Starke Worte – doch Verantwortung im Zeichen von Kosten und „customer value“ beinhaltet auch deren Verantwortung in Fragen Qualität und Kosten, so zu sehen als eine gemeinschaftliche Kosten-Nutzen-Deckung gegenüber dem zu schaffenden, bzw. herzustellenden Produkt.

Es gibt noch viel zu tun – packen wir es an, muss die Devise lauten, denn was nutzt die best organisierteste, wie auch die preislich günstigste Elektroenergiebereitstellung, wenn der Elektroenergieabnehmer diesen Qualitätsprodukt auf Grund seines Produktcharakters nicht, oder nur bedingt nutzen kann. Billig ist noch lange nicht preiswert, denn preiswert ist von vielen Faktoren abhängig. Diesbezügliche Aktivitäten dürfen auf keinen Fall verbal abgeleitet, bzw. verschoben werden. Hier gilt nicht die Fragestellung:

- hat der interne und/oder externe Netzbetreiber des Elektroenergieversorgungsnetzes es versäumt, dieses in seinen Netzanschlussbedingungen – Qualitätsanforderungen am PCC und/oder IPC – ganzheitlich zu definieren, besser zu regulieren?
- hat der externe und/oder interne Betreiber des Elektroenergieversorgungsnetzes (Dienstleister, Serviceprovider, etc.) etwa unter dem Kostendruck durch verminderten oder eingeschränkten Netzausbau dieses mancherorts verstärkt?
- hat der Netzkunde als Planer und/oder Betreiber eines Elektroenergieabnehmers durch ein nicht abgestimmtes Verhalten seiner Aufschaltaktivitäten von Elektroenergieabnehmern am Elektroenergieversorgungsnetz dieses, mancherorts vorhandene Defizit zwischen Soll- und Ist-Qualität durch unüberlegte Netzbelastung und/oder übergebührliche Netzurückspeisung selbst produziert?

- Hat der Lieferant von Elektroenergieabnehmern Störgrößendefizite gegenüber der Elektroenergieversorgung bewusst verschwiegen und damit das Risiko funktionaler Störungen erst ermöglicht?

Hier gilt die Konditionierung der Prozesskette auch – und vor allem – als Ziel der Reduzierung der Ist-Soll-Spanne der Prozesskosten durch den Prozessgedanken der Elektroenergiequalität.

Deshalb:

Die Konditionierung der Schnittstellen ist zu sehen als Nahtstelle zwischen dem/den Netznutzer(n), dokumentiert nicht nur als Verbindlichkeit, respektive Vereinbarung, sondern als Verpflichtung zum partnerschaftlichen Wirken. Neu vor allem ist die Grundvoraussetzung zum eigenverantwortlichen Handeln zwischen bilateralen Partnern eines gemeinschaftlichen Produktes, und zwar der Elektroenergiequalität, gekennzeichnet und dokumentiert primär an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer.

Diese Art der qualitativen Konditionierung als Beschreibung der Elektroenergiequalität „elektrischer Energie“ prägt mit Sicherheit nicht nur deren „quick-win’s“ im operativen Geschäft, sondern deren „win-win“ Strategie im strategischen Segment. Dieses ist zu sehen unter Aspekten der Produktware EE die im Verbund unterschiedlichster Partner eine energetische Kette über die Nutzungsjahre hinweg diese differenzial bindet. Eine technologische Kette energetischer Bilanzen hat zu entstehen, die mit allen Netzteilnehmern abgestimmt ist, und den schwächsten Partner, so gesehen im industriellen Nutzungsbereich den Elektroenergieabnehmer in den Vordergrund der Bemühungen um die elektromagnetische Verträglichkeit zum physikalischen Umfeld stellt. Am Ende ist die Schnittstelle im Konformitäts- und Risikosegment elektroenergetischer Wandler durch die Vorgaben zur Sicherstellung der Sicherheit von Elektroenergieabnehmern nach DIN EN 60204-1, DIN EN 61000-2-2 bzw. DIN EN 61000-2-4 ein fester Bestandteil einer Energiepolitik der Zukunft, dessen Zukunft durch das EMVG bereits begonnen hat.

12 EEQ-Monitoring

12.1 Messung

Um Investitionsentscheidungen zur Sicherstellung von Sicherheit und Funktionalität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer mittel- und langfristig abzusichern ist ein Monitoring der Elektroenergiequalität – bezeichnet vom Autor als EEQ-Monitoring – notwendig und sinnvoll. Durch das qualitätsorientierte EEQ-Monitoring sichert z.B. der Autor am Standort des betrachteten Industrieunternehmens den Part der risikoorientierten Funktionsbetrachtung unter Einsatz der 4 M-Methode (Abschnitt 11) operativ und strategisch ab. Hier wird vom EEQ-Monitoring nicht nur der „Status Quo“ einer lokalen EEQ-Größe nach Abschnitt 2 betrachtet, sondern vor allem die globale Auswirkung von Maßnahmen erfasst, welche die Versorgungsqualität im EES beeinflussen. Für ein optimales Monitoring ist neben der Messung des Elektroenergiequalitätsparameters auch deren Wichtung als Gewichtung mehr und weniger relevanter Elektroenergiequalitätsparameter notwendig. Die Messung selbst unterscheidet sich in:

- „kurzfristige, anlassbedingte“ Messung und
- „fix installierte“ Dauermessung.

12.1.2 Kurzfristige, anlassbedingte Messung

Tritt im Werknetz des Industrieunternehmens ein Problem auf, das nicht auf die Methodikkomponente von Mensch und Material, Abschnitt 11.1, rückführbar ist, muss unter dem Aspekt der Maschine-Medium-Kombination mit Qualitätsdefiziten aus dem Bereich der Elektroenergiequalität gerechnet werden. Hier gilt es das quantifizierbare Qualitätsprodukt einer Messung seiner Qualitätskenngrößen (Elektroenergiequalität) am lokalen Schnittpunkt (IPC_x) zu unterziehen. Vor allem gilt es zur Absicherung der Konformität nach Abschnitt 4.2 die zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer vereinbarten EEQ-Parameter in ihrer Merkmalrelevanz zwischen der strategisch eingeplanten, und der operativ vorhandenen Pegelgröße zu vergleichen. Bei entsprechender Differenzabweichung zwischen dem als operativem Wert bezeichnete Betriebspegel und der als strategischer Wert zu betrachtendem Planungspegel ist eine Korrektur der Differenzgröße durch eine entsprechende Maßnahme (Kompensation des Störphänomens, Abschnitt 2.3.4.1) vorzunehmen. Der Messort der EEQ-Betrachtung ist in diesem Fall meist der Netzanschlusspunkt der

betroffenen Kundenanlage im internen (IPC) oder externen (PCC) Elektroenergieversorgungsnetz.

Neben der Messung der Elektroenergiequalität als Spannungs- und Stromsignal kann die Registrierung von Begleitinformationen wie Lastgang, Lastverhalten oder sonstige physikalische Umgebungs- und Betriebsbedingungen, z.B. elektromagnetische Felder für die Ermittlung der Ursache des Problems hilfreich sein. Sinnvoll ist vor allem die verstärkte Messung der Elektroenergiequalität an potentiellen Störquellen, wobei auch hier zusätzliche Messgrößen, die Informationen über den Betriebszustand liefern, mit registriert werden sollten. Neben der Betrachtung der Parameter der reinen Elektroenergiequalität als Element der Versorgungsqualität mit Qualitätseinbindung der Spannungsqualität nach Abschnitt 2.3.4.2, ist oft angezeigt, die unter Abschnitt 6 eingeführte „Balance der Last“ in das merkmalsorientierte Betrachtungsportfolio am internen und/oder externen Netzknoten (PCC, IPC) mit aufzunehmen.

12.1.2 Dauermessung

Dauermessungen dienen der langfristigen Beobachtung der Elektroenergiequalität (EEQ) und etwaiger Entwicklungstendenzen. Weiter können aus flächendeckenden Dauermessungen erweiterte Kennwerte, welche die Elektroenergiequalität eines Netzes mit charakterisieren, gewonnen werden. Während bei kurzfristigen Messungen die Daten meist lokal gespeichert sind und nach Beendigung der Messung ausgewertet werden, muss bei der Dauermessung die Datenübertragung an den dezentralen und/oder zentralen Messdatenserver erfolgen. Die Übertragung kann über Festnetz- oder GSM-Modems oder Netzwerkverbindungen (LAN) erfolgen. Da die Elektroenergiequalität definitionsgemäß nur für jeweils einen bestimmten Punkt im Netz bestimmt werden kann, müssen für die Erfassung der Elektroenergiequalität ganzer Netze eine Vielzahl von Verknüpfungspunkten eine EEQ-Messung unterzogen werden. Diese Forderung ist aber wegen des Geräteeinsatzes und des Abwicklungsaufwandes als unrealistisch anzusehen. Die Aufgabe muss dahingehend gestellt werden: wie kann mit minimalem Ressourcenaufwand auf der Hardware- und Personal-seite die maximale Information zur Ermittlung der Kennwerte von Elektroenergieversorgungsnetzen gewonnen werden? Es stellt sich weiter die Frage: wie ist das Monitoring zur Gewinnung von EEQ-Parametern zu optimieren?

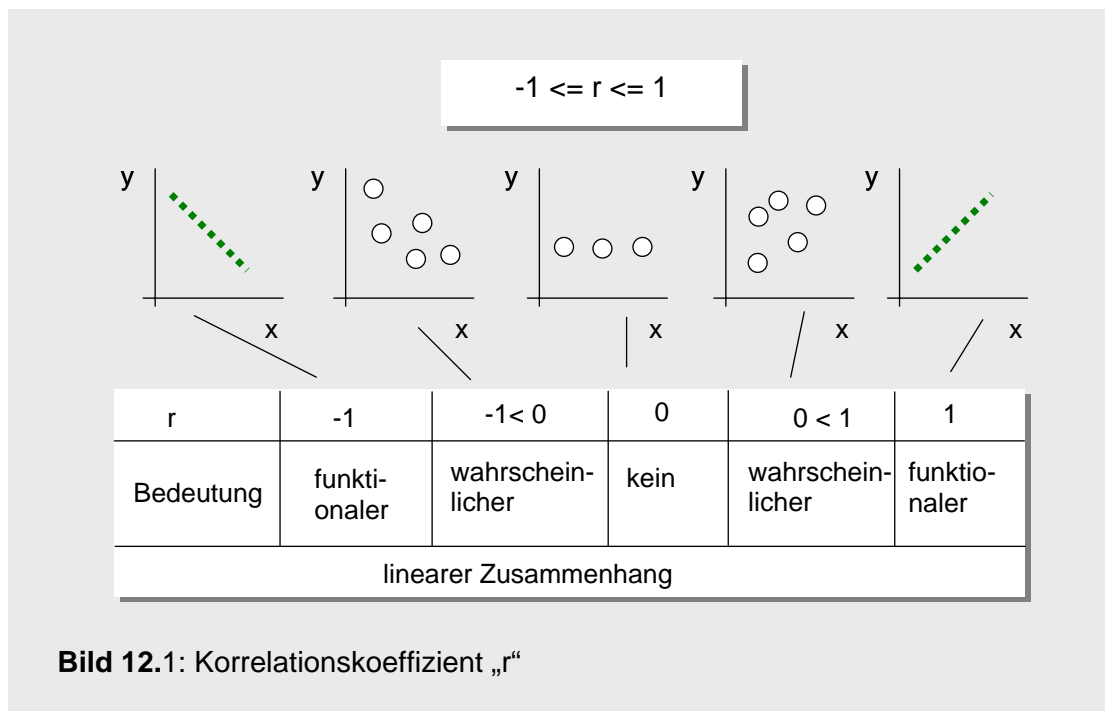
12.2 Strategie

Nicht zuletzt aus ökonomischen Gründen stellt sich beim EEQ-Monitoring die Detailfrage nach der minimal notwendigen Anzahl der Messgeräte und deren Einbauort. Grundsätzlich gilt es mit möglichst wenigen Messgeräten eine gültige Aussage über den Großteil des zu betrachtenden Elektroenergieversorgungsnetzes zu treffen. Redundante Messergebnisse sind ebenso wie Informationsverluste nach Möglichkeit zu vermeiden. Die Auswahl der Messorte hängt deshalb stark von der Messaufgabe selbst, d.h. der dort erwarteten Tiefenaussage zu eventuellen Störphänomenen im Zeit- und im Frequenzbereich ab. Folgende Parameter sind bei der Auswahl des Messortes zu berücksichtigen:

- Netztopologie (Strahlennetz, vermaschtes Netz);
- Netzimpedanz (Leitungslängen, Kabel / Freileitung);
- Lage möglicher Störquellen, d.h.
 - einzelne, voneinander unabhängige Störquellen mit großer Leistung (z.B. Schweißmaschine aus Abschnitt 5.3.1 als Flickerverursacher);
 - gleichmäßig verteilte Störquellen mit ähnlicher Charakteristik (z.B. Netzteile industrieller und/oder privater Elektroenergieabnehmer mit als Oberschwingungsverursacher).

Gerade der Einfluss von Störquellen auf die Elektroenergiequalität an den einzelnen Netzanschlusspunkten wirkt in Kombination mit den Störsenken in den einzelnen Netzknoten unterschiedlich und nimmt im Allgemeinen in Richtung der Netzeinspeisung, d.h. in Richtung steigender Kurzschlussleistung ab. Um den optimalen Messort für Dauermessungen im globalen Netzgefüge zu bestimmen sind, wie vom Autor im Werknetz des betrachteten Industrieunternehmens bereits praktiziert, Messzeitreihen an verschiedenen Netzknotenpunkten des nichtöffentlichen Werknetzes, wie auch die für das Werknetz relevanten Elektroenergiequalitätsparameter in einer Korrelations- und Regressionsanalyse zueinander ins Verhältnis zu setzen.

Hier bietet die Mathematik jede Menge Ansatzpunkte um zwischen zwei Merkmalen, beispielsweise die der Unsymmetrie in Spannung und Strom, und die der Netzharmonischen beim Schmelztiegelofen nach Abschnitt 6.4.2, störungsrelevante Zusammenhänge zu postulieren. Auch wenn wie dort am Fallbeispiel nach Abschnitt 6.4.2 durch theoretische Überlegungen sicher ist, dass zwei Merkmale eines Objektes



(Schmelztiegelofen) miteinander zusammenhängen, gibt die Korrelations- und Regressionsanalyse Auskunft über Art und Grad des Zusammenhanges. In diesem Zusammenhang bildet sich die Korrelationsanalyse aus Messreihen an den Messpunkten $t_x = t_1, t_2, \dots, t_n$ lokaler, d.h. kurzfristig anberaumter Messungen nach Vorgehensweise Abschnitt 12.1.2 ab. Ein Maß für die Stärke und Richtung eines linearen Zusammenhangs ist der Korrelationskoeffizient r . Für den Korrelationskoeffizient r , gebildet aus den Merkmalen einer Merkmalkette in der Spannung (Spannungsqualität) als Zufallsvariable x (Beispiel: Spannungsunsymmetrie am Messpunkt t_x) und Zufallsvariable y (Beispiel: Netzharmonische am Messwert bei t_x), gilt die Darstellung nach Bild 12.1. Der Korrelationskoeffizient $r = 0$ bedeutet, dass kein Zusammenhang besteht, d.h. die Kenngröße x und y voneinander unabhängig ist. Nähert sich r „-1“ oder „1“ an, wird die lineare Abhängigkeit immer wahrscheinlicher. Ist $r = 1$ liegt ein funktionaler Zusammenhang vor. Oft wird anstelle des Korrelationskoeffizienten r das Bestimmungsmaß r^2 angegeben. Hier gilt: je näher das Bestimmungsmaß r^2 an 1 liegt, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit des linearen Zusammenhanges.

Beispiel:

Am Beispiel des Schmelztiegelofens aus Abschnitt 6.4.2, sei dieses an den beiden Elektroenergiequalitäts-Merkmalen der Spannungsunsymmetrie und der Netzoberschwingung der 5. Netzharmonischen konkret dargestellt.

Aus der Vor-Ort-Messung entstand ein Wertemuster nach Tabelle 12-1. Für x steht die Spannungsunsymmetrie U_u in % zu U_N . Der Wert y bildet die Spannungsverzerrung der 5. Netzharmonischen U_v in % zu U_N ab. Der Werteinhalt des Wertepaares x und y entstammt dem gleichen Zeitbereich $t_x = t_y = t = t_1, t_2$ bis t_5 , bei $n=5$ Betrachtungswerten. Für den Korrelationskoeffizienten gilt die allgemeine Gleichung:

$$r = \frac{\sum xy - \frac{1}{n} (\sum x) (\sum y)}{\sqrt{[\sum x^2 - \frac{1}{n} (\sum x)^2] [\sum y^2 - \frac{1}{n} (\sum y)^2]}} \quad (12-1)$$

n= 5	x	y	xy	x ²	Y ²
t = t ₁	0,2	2	0,4	0,04	4
t = t ₂	0,22	3,5	0,77	0,0484	12,25
t = t ₃	0,26	6.5	1,69	0,0676	42,25
t = t ₄	0,3	8.5	2,55	0,09	72,25
t = t ₅	0,35	10	3,5	0,1225	100
Σ =	1,33	30,5	8,91	0,3685	230,75
r = 0,9825			r ² = 0,9654		

Tabelle 12-1

Mit Hilfe der Regressionsanalyse wird die Abhängigkeit zwischen den beiden Merkmalen der Elektroenergiequalität bestimmt. Gewählt wird die Regressionsgleichung in allgemeiner Form (Gl. 12-2). Die Koeffizienten „a“ und „b“ bilden den Begriff des Schnittpunktes mit der y-Achse (Koeffizient a) und den der Steigung (Koeffizient b) ab. Für „a“ und „b“ gilt:

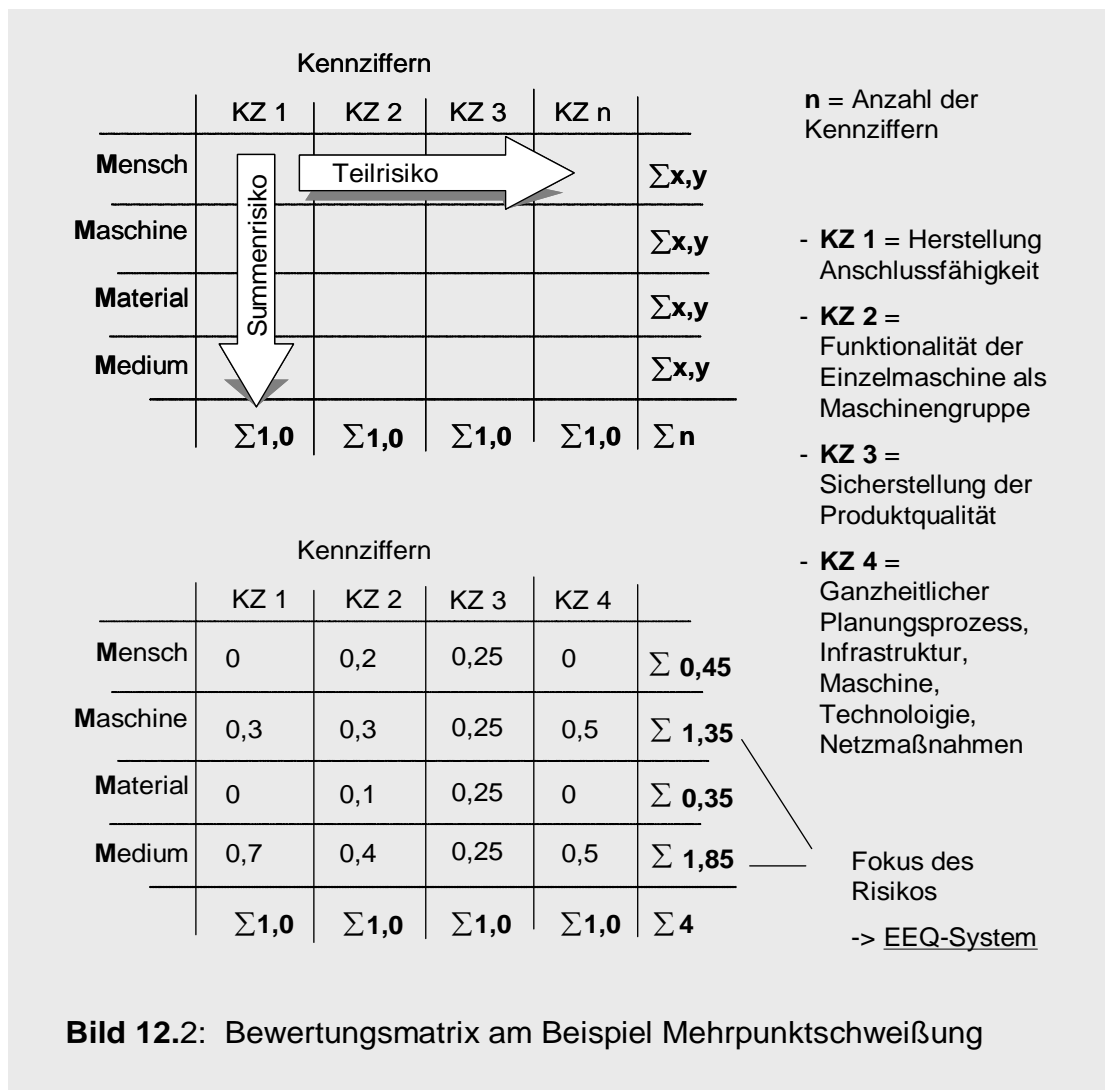
$$b = \frac{\sum xy - \frac{(\sum x) (\sum y)}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}} \quad a = \frac{\sum y - b \sum x}{n} \quad (12-2)$$

Durch Regressions- und Korrelationsanalysen lassen sich nicht nur Merkmale zueinander ins Verhältnis setzen, sondern auch Einzelmerkmale über Netzknoten hinweg. Genutzt bereits unter Abschnitt 10.3.2 am Beispiel der Versorgungsvarianten der Schweißmaschinen mit Mehrfachschweißung – Versorgungsvariante „b“, EEQ-Wert im Merkmalkriterium Flicker – sorgt dort die direkte Abhängigkeit von „Station B“ zu „Station C“ zu einem analogen Abbild, beispielsweise bei Wahl der Versorgungsvariante „b“. Auch gegenüber Versorgungsvariante „a“ und „c“ stellt sich am Netzknoten Station B ein, aus Vorbelastung „Station A“ und Zusatzbelastung „Station C“ abbildbares EEQ-Kriterium – dort im Flicker – ein. Eine diesbezügliche Reduzierung der Anzahl an Messsystemen ist daraus durchaus ableitbar.

Zwar steht dieses Schema beim vom Autor betrachteten Industrieunternehmen noch am Anfang, doch wird die Anwendung der Korrelationsanalyse im Umfeld des Autors zur Zeit verstärkt in die Festlegung von Systemkomponenten der Aufzeichnung und Auswertung aufgenommen. In der Anwendung am Objekt nutzt der Autor ein Toleranzband zur Wichtung von Merkmalen der Elektroenergiequalität um beispielsweise im Mittelspannungsversorgungsnetz nur noch strategisch wichtigen Eckpunkten eines Netzes (Rohbau, Lackierung, Montage) EEQ-Messsysteme zu platzieren, die über Korrelationsaussagen von und zueinander den dazwischen liegenden Bereich unter Qualitätsaspekten quantitativ abdecken vermögen. Auf der Niederspannungsebene, d.h. dem direkten Netzanschlusspunkt der Elektroenergieabnehmer steht momentan noch keine Ausdünnung in der geplanten EEQ-Messtechnik an. Da hier die EEQ-Strategie in Richtung eines Dokumentationselementes der Funktionalität daran betriebener Maschinen, Anlagen und Einrichtungen zielt, wird zur Manifestierung der in Tabelle 11-1 und 11-2, Abschnitt 11.2, die gegenüber dem Lieferanten der Elektroenergieabnehmer fixierten Grenzkenngrößen der Elektroenergiequalität am Schnittpunkt zum Elektroenergieversorgungsnetz zur Zuweisung von Kosten bei Nichtfunktionalität der Elektroenergieabnehmer mit genutzt. Je nach Systemausrichtung erfolgt hier die Zuordnung zwischen Elektroenergiequalität am Netzknoten und Funktionalität am Prozess auf Basis der Vernetzung der Informationsinhalte des technischen und/oder technologischen Einzelprozesses heraus. Zumindest im Unternehmen in dem der Autor zu diesen Themen aktiv tätig ist, steht hier die Forderung des Produktes als Handlungsvorgabe zum Medium EE nach Sichtweise Bild 2.21, Abschnitt 2.3.4.2, stets an oberster Stelle. Das „Quality-Gate EE“ ist deshalb an kritischen Abnehmern stets mit einem EEQ-System besetzt.

12.2.1 Entscheidungsmatrix

Zumindest im betrachteten Unternehmen gilt stets sich die kritische Frage zu stellen, ab wann ein Elektroenergieabnehmer, oder ganz allgemein ein Netzknotenpunkt durch ein EEQ-Monitoringsystem zu überwachen ist. Dabei kann nicht allein die Dringlichkeit einer internen Bau-, Erweiterungsmaßnahme etc. bzw. eine „gefühlsmäßige“ Einschätzung der Situation an einem Netzknotenpunkt, respektive an einer (zukünftigen) Maschine / Anlage, das Kriterium bzgl. PRO oder KONTRA EEQ-Monitoringsystem sein. Vielmehr ist eine determinierte Entscheidung zum Einsatz eines solchen Systems zu treffen. Die Entscheidungshoheit für, oder gegen den Einsatz eines EEQ-Monitoringsystem an einem funktionsrelevanten Elektroenergieabnehmer, respektive an einem bestimmten Netzknotenpunkt, darf nicht aus dem Bauch heraus entschieden werden, sondern ist an konkreten Inhalten zu messen.



Um zu jeder Zeit für jeden Netzknoten / Anlage / Maschine eine reproduzierbare und determinierte Entscheidung überhaupt treffen zu können, müssen ein oder mehrere Kriterien herangezogen werden, die ein standardisiertes Entscheidungsverfahren ermöglichen. Um ein möglichst einfaches Vorgehensmuster an der Hand zu haben, ist auf der Basis der 4M-QS-Philosophie, Abschnitt 11.1, im Umfeld des Autors eine Bewertungsmatrix entstanden, welche die einzelnen M's (Mensch, Maschine, Material und Medium) entsprechend ihres Einflusses auf den Produktionsprozess bzw. Produktqualität bewerten soll. Die Bewertungsmatrix zeigt Bild 12.2. Hier bewertet beispielsweise der Prozessverantwortliche als direkter oder indirekter Generalunternehmer des Auftraggebers die Wertigkeit der einzelnen „M's“ für den Produktionsprozess, wie auch für das Produkt innerhalb der Grenzen welche die Qualitätssicherung im Qualitätsmanagementprozess vorgibt. Innerhalb eines einzelnen Qualitätssicherungs-Parameters – QS-Parameter im horizontalen Bereich der Matrix als Teilrisiko betrachtet – liegt die Einzelbewertung einzelner Kennziffern zwischen „0“ und „1“. Die Summe der Teilrisiken über alle QS-Parameter für eine Kennziffer hinweg – vertikaler Bewertungsbereich bezeichnet als summiertes Risiko – beträgt generell „1“. Die Kennziffern KZ_1 bis KZ_n werden je nach Prozessinhalt nutzungsorientiert definiert. Als Kennziffern denkbar sind beispielsweise:

- Produktionssicherheit;
- Produktqualität;
- Versorgungssicherheit;
- Entsorgung;
- Wartung;
- Verträglichkeit;
- Einkauf.

Mit Sicherheit sollte man die Anzahl der Kennziffern möglichst überschaubar halten und sich auf die wesentlichsten, für den jeweiligen Produktionsprozess notwendigen Kennziffern beschränken. Spezifiziert sich die horizontale Bewertung der Teilrisiken auf die Darstellung des Einflusses einzelner Kennziffern der Bewertungsmatrix nach Bild 12.2, d.h. auf ein Einzel-„M“, wie Mensch, Maschine, Material oder Medium, bewertet das vertikale Summenrisiko den Einfluß der einzelnen „M's“ auf die jeweilige Kennziffer KZ_1 oder KZ_2 oder.... KZ_n . Einmal erarbeitet bietet die Bewertungsmatrix ein anschauliches Spiegelbild zu den wahren Verhältnissen am Objekt. Eine gewisse interindividuelle Einschätzung von Prozessen ist dabei akzeptabel.

Bleibt die Frage zu klären, wohin der Schwellwert in der Summenrisikobetrachtung einzelner Kennziffern für den QS-Parameter „Medium“ – im vorliegenden Fall dem am Produkt EE – gelegt wird, ab dem der Einsatz eines EEQ-Monitoringsystem notwendig ist. Zweifelsfrei und mindestens notwendig ist ein EEQ-Monitoringsystem dann, wenn eine schwerpunktmäßige Häufung beim Medium vorliegt. Liegt näherungsweise Gleichverteilung in den Einzelrisiken vor, wird auf eine EEQ-Strategie am Elektroenergieabnehmer verzichtet. Dieses heißt nicht, dass verträglichkeitsrelevante Elektroenergiequalitätsparameter bei der Projektierung und/oder dem Betrieb des Elektroenergieabnehmers außen vor bleiben, sondern lediglich dass der dokumentierte Inhalt einer Schnittstelle zwischen Elektroenergieabnehmer und Elektroenergieversorgungsnetz nicht online überwacht wird.

Die in Bild 12.2 hinterlegte Entscheidungsmatrix zum PRO und KONTRA eines EEQ-Monitoringsystem stellt lediglich einen Auszug aus einer ganzen Reihe von Kennzifferaspekten dar und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Analog gilt das für die Wichtung der einzelnen „M's“.

12.2.2 Entscheidungsgründe

Im Wettbewerb zählt Preis und Leistung. Der Wettbewerbsvorteil, den das vom Autor betrachtete Industrieunternehmen für den Part der Energieerzeugungs-, -verteilungs- und -verbrauchsprozess daraus ableitet, wirkt sich im Einkaufs-, Planungs-, Instandhaltungs-, Betriebs- und Produktionsprozess aus. Eingebettet in bewertbare physikalische Umgebungs- und Betriebsbedingungen kann dort das innerbetriebliche Handeln um qualitativ hochwertige Produkte auf der Grundlage quantitativ belastbarer Kennziffern positiv unterstützt werden. Der Elektroenergiequalitätsprozess im betrachteten Industrieunternehmen umfasst derzeit im EEQ-Prozess:

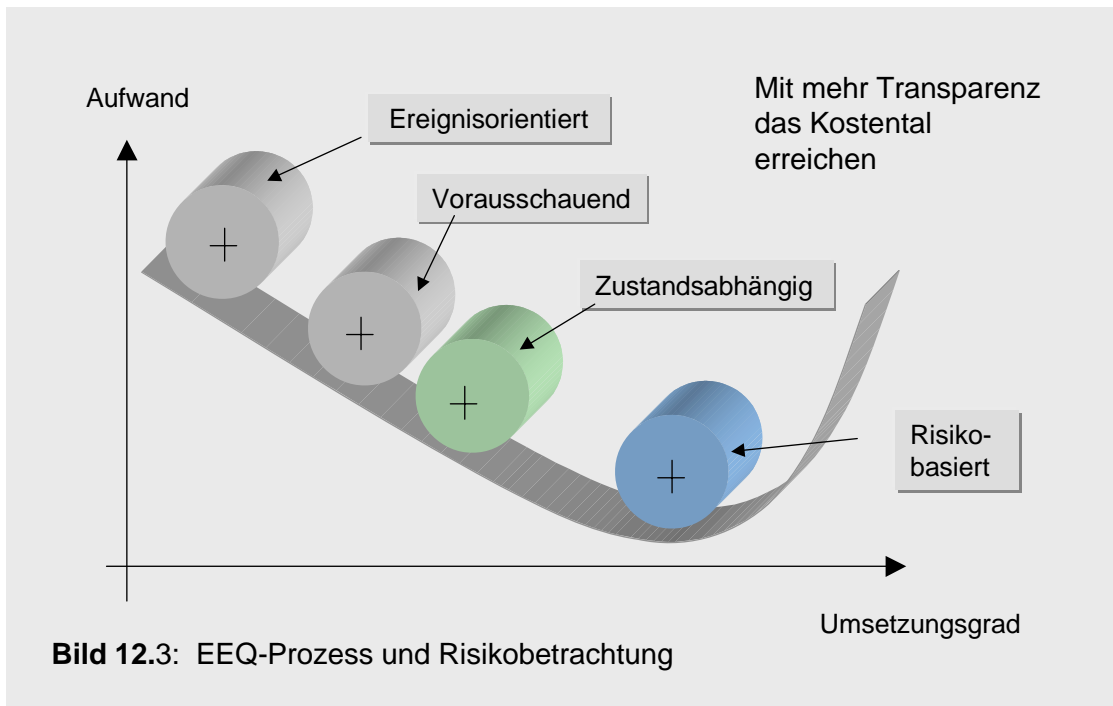
- die frühzeitige Erkennung und Bewertung von Störungen. Eine ganzheitliche Systembetrachtung im Prozessfeld zwischen Medium und Anlage als Unterstützung des Betreibers in seinem Wirken bezüglich Qualitätsbewertung, Qualitätssicherung, Null-Fehler-Strategie, etc.;
- die Informationsgenerierung durch unverzögerte / direkte Aufbereitung von Betriebs- und Störungsdaten auf einen allgemeinverständlichen Level. Bereitstellung einer Schnittstelle zur Weiterverarbeitung der Informationsinhalte in Leit- und Servicecentern des Kunden;

- eine umfassende Ausfalldiagnose durch Informationstransparenz im Sinne eines zyklischen Abgleichs der vom Kunden (Produktionszentren im Werksverbund) vordefinierter Energie-Qualitäts-Parameter;
- auf Wunsch ein erweitertes Instandhaltungsmanagement durch Störungsbewertung, respektive Störunguzuordnung unter Berücksichtigung vereinbarter Grenzgrößen des Netzbetreibers (interner Dienstleister zum Produkt EE).

Ergänzt wird momentan das Serviceportfolio der werksinternen Elektroenergieversorgung als Betreiber des nichtöffentlichen Elektroenergieversorgungsnetzes durch die Bereitstellung von Zusatzinformationen für den Kunden als Elektroenergieabnehmer. Das ist beispielsweise:

- die Bereitstellung operativer und strategischer Daten zur Netztopologie auf Grundlage der Verträglichkeit der Infrastruktur am Netzanschlusspunkt (Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer);
- die Aufbereitung der Daten in einem EMV-Kataster. Einbindung und Abgleich der Daten im Rahmen von Aktivitäten betrieblicher Planung (Neubau, Erweiterung, Umstellung);
- der Abgleich der Festigkeit (Immunität) der zu planenden / integrierenden Infrastruktur gegenüber vorhandener oder vorgehaltener Belastungen (Emission) des Altbestands;
- der Einbezug dynamischer Belastungsgrößen (z.B. Stoßbelastungen beim Schweißen, beim Pressen) in ihrer Wirkung auf die direkte (Netzknoten IPC) oder indirekte Umgebung (Netzverbund, PCC);
- Abklärung physikalischer Umgebungs- und Betriebsbedingungen im Rahmen der Konformitätsvorgabe nach dem Gesetz zur elektromagnetischen Verträglichkeit (EMVG) gegenüber der Vorgabe der Sicherstellung der Sicherheit von Maschinen (DIN EN 61204-1).

Auch die Anforderungen der Betreiber an die Qualität des Produktes EE sind zunehmend. Auf Grund von Untersuchungen im eigenen Hause ist bekannt, dass durch mehr Transparenz im Elektroenergieversorgungsprozess funktionale Störungen eingegrenzt und begrenzt werden können und mit mehr Transparenz das Kostental nach Bild 12.3 erreichbar ist.



Mit Hilfe des EEQ-Prozesses des betrachteten Industrieunternehmens ist es möglich, an jedem Punkt und zu jeder Zeit die Symptome funktionalen Wirkens von Elektroenergieabnehmern „Einzel“ und in „Gruppen“ zu fixieren und in Abstimmung mit dem Kunden im Prozess (Produktionscenter Rohbau, Lackierung, Montage, etc.) entsprechende Maßnahmen zu generieren. Die gewonnenen Informationen sind für eine kontrolliert bewertete Optimierung entsprechend des nachfolgend Bild 12.3 geeignet, um vom ereignisorientierten zum risikobasierten Wirken im produktiven Fertigungsprozess zu gelangen. Risikobasiertes Wirken bedeutet die Einbeziehung kalkulierbaren Risikos unter Zugrundelegung determinierbarer Zustände. Das Risikomanagement der Zukunft nutzt die Betrachtung der Wahrscheinlichkeit zum Risiko zur Optimierung. Dieses geschieht in Abstimmung mit den Nutzern dort, wo dieses Unterfangen sinnvoll und wirtschaftlich erscheint.

Hierzu zählen Themen wie:

- Operative Exzellenz fordert kalkulierbares und damit beherrschbares Risiko in allen Ebenen. Dazu gehört die elektrotechnischen Schnittstelle zum EES genauso, wie die physikalisch technische Schnittstelle zum Produkt;
- Risiko ist nicht länger eine Station, sie ist Teil eines Prozesses zum Produkt;
- Risikomanagement ist im Grunde das Einfordern von Mindestgarantien, als Philosophie die das ganze Unternehmen umfasst.

12.3 Struktur

Die Planung und Implementierung des EEQ-Monitoringsystems muß der Projektzielstellung entsprechen. Gemäß der darin formulierten Ansprüche am Beispiel des vom Autor betrachteten Industrieunternehmens stellt ein System zum EEQ-Monitoring eine grundlegende Philosophie zum EEQ-Prozess voraus. Das Entwurfskriterium für ein EEQ-Monitoringsystem muss berücksichtigen:

- die Werksstruktur im Unternehmen, z.B. unter dem Gesichtspunkt des globalen Systems in Form zentraler Technik und zentraler organisatorischer Festlegung;
- die konkreten Abnehmer, bestehend aus Subsystemen, hinterlegt als abnehmerbezogene Technik, bzw. abnehmerbezogene organisatorische Festlegung.

Das dort zu beachtende Entwurfskriterium ist sowohl für das rein technische System, wie auch für die nichttechnischen Systemkomponenten (hier vereinfacht „organisatorische Komponenten“ genannt) anzuwenden. Nichttechnische Systemkomponenten sind beispielsweise Verantwortlichkeiten im Ablaufprozess des betrachteten Unternehmens, Benachrichtigungsstrukturen im Fehlerfall, Prozessverantwortliche einzelner, in sich abgeschlossener Teilprozesse.

Kurz zusammengefasst heißt das, dass:

- das EEQ-Monitoringsystem als globales System zu betrachten ist. Unter dieser funktionalen Schirmfunktion laufen momentan beim betrachteten Industrieunternehmen lokale und globale Prozesse nebeneinander an Transferpressen, Schweißmaschinen mit Mehrpunktschweißung, Energieübergabepunkte der Eigen- (Heizkraftwerk) und Fremderzeugung (EnBW) um nur einige Highlights zu benennen nach Schema Bild 12.4;
- das EEQ-Monitoringsystem jederzeit durch weitere Subsysteme, d.h. zusätzliche lokale Prozesse (Bild 12.4) erweiterbar sein muß;
- das Customizing so zu gestalten ist, dass in diesem Prozess ein hoher Wiederholgrad zum Tragen kommt und so eine schnelle, unkomplizierte und damit kostengünstige Integration von Subsystemen in das globale EEQ-Monitoringsystem gewährleistet wird;
- sowohl das globale System, als auch die einzelnen Subsysteme eigens integrierte Technik- und Organisationsstrukturen aufzuweisen haben;
- markteingeführte, standardisierte Komponenten verwendet werden.

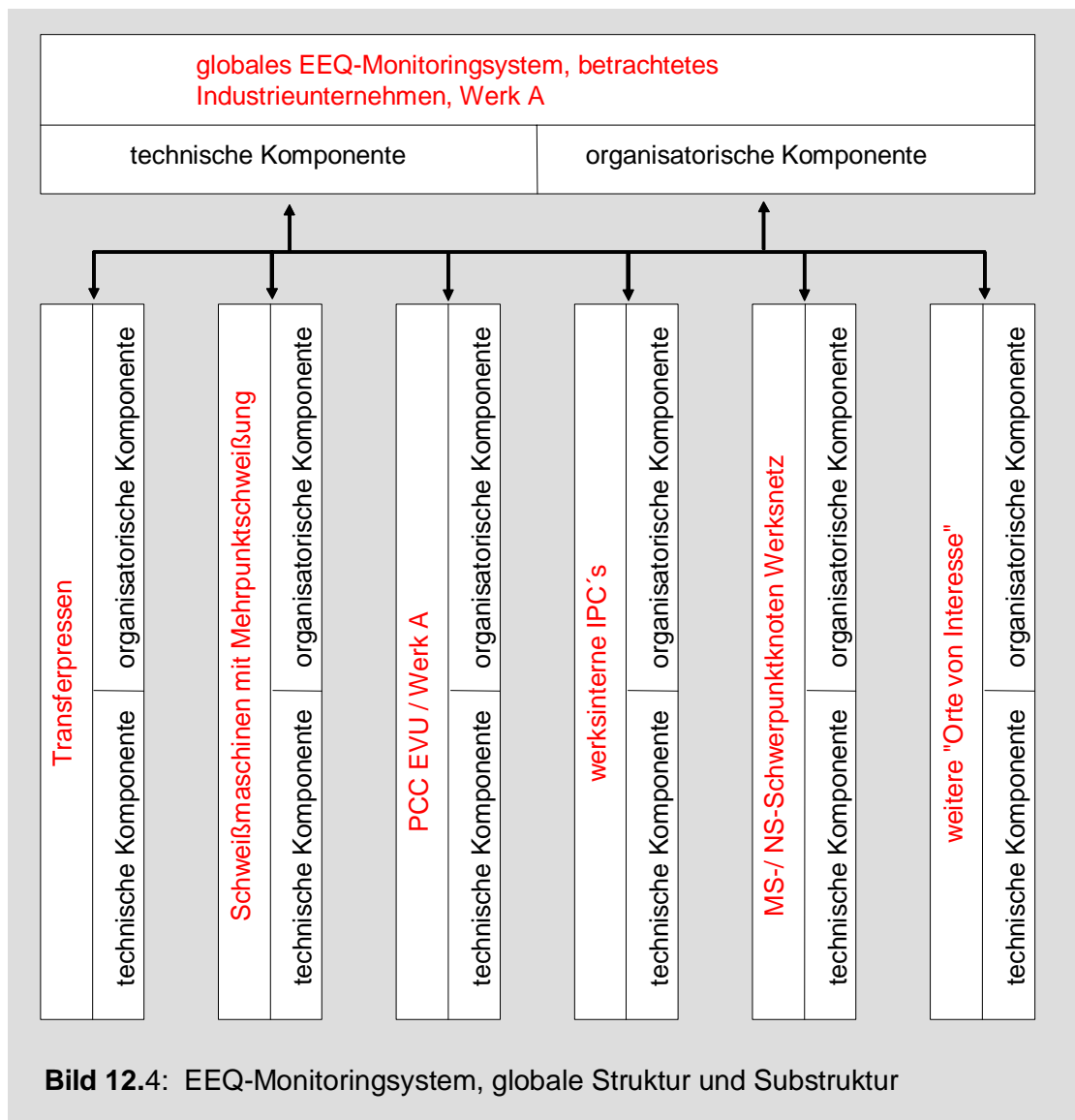


Bild 12.4: EEQ-Monitoringsystem, globale Struktur und Substruktur

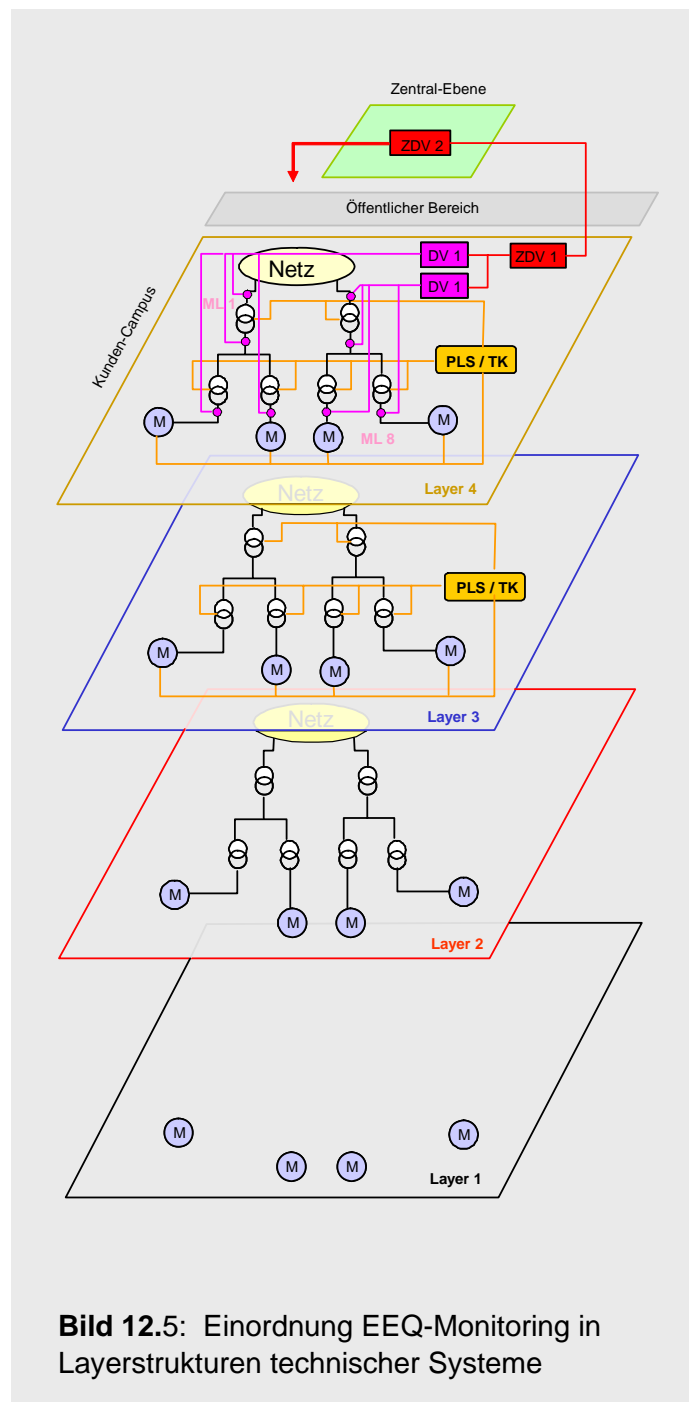
Eine der Grundphilosophien bei der Integration technischer Systeme in bereits bestehende technische Systeme bzw. Prozessabläufe, ist die Gewährleistung des unabhängigen Betriebes der Systeme. Das heißt, dass weder ein EEQ-Monitoringsystem einen Einfluß im Sinne möglicher Störungen, Betriebssicherheiten etc., auf laufende Prozesse und/oder Prozessabläufe der Produktion haben darf, noch umgedreht die Funktionsstabilität eines EEQ-Monitoringsystems von externen Größen sich beeinflussen darf. Das EEQ-Monitoringsystem ist daher weitestgehend als autark arbeitendes System zu sehen. Koppelstellen zu anderen technischen Systemen sind möglichst zu minimieren. Veranschaulicht ist dieses Entwurfsprinzip an der allgemeingültigen Layerstruktur eines Produktionsbetriebes nach Bild 12.5.

Dabei bedeutet :

- Layer 1:
Produktionsprozess,
Produktionsequipment;
- Layer 2:
Energienetz zur Versorgung der Layer 1- Strukturen;
- Layer 3:
Prozessleit- und Informationstechnische Ebene;
- Layer 4:
EEQ-Monitoring.

Am Beispiel des vom Autor betrachteten Industrieunternehmens verbleibt Layer 1 bis 3 im Hoheitsgebiet (organisatorisch, betriebstechnisch, juristisch) des internen Netzbetreibers. Das EEQ-Monitoringsystem hingegen besitzt hochkomplexe technisch-wissenschaftliche Inhalte und wird im vorliegenden Fall organisatorisch, betriebstechnisch,

juristisch im Hoheitsgebiet eines EEQ-Serviceproviders gesehen. Zu klären gilt hier stets die Schnittstellen des Eingriffs, am Beispiel Bild 12.5 die der Messlokation 1 ML 1 bis Messlokation 8 ML 8. Inwieweit dezentrale und/oder zentrale Datenverarbeitungsebenen im eigenen (betrachtetes Unternehmen) oder fremden (EEQ-Serviceprovider) Zuständigkeitsbereich liegt oder nicht, ist während der Erarbeitung der Systemkonzeptionen festzulegen.



12.4 Ausrichtung

Die Funktionalität und damit Systemausrichtung eines EEQ-Monitoringsystems im technischen Sinne kann von Anwender zu Anwender respektive von Anwendungsfall zu Anwendungsfall (je nach technologischem Prozess, internen Forderungen und Festlegungen des Kunden etc.) differenziert ausgerichtet sein. Ein wenig sensiblere technologische Prozesse, einfache und/oder überschaubare Produktionsstrukturen stellen an ein Monitoringsystem naturgemäß geringere funktionelle Anforderungen als komplexe technologische Strukturen, sowie räumlich ausgedehnte Produktionsstandorte mit verschiedensten Produktionsequipment, oder auch abhängigen und wechselwirkenden Prozessen (z.B. chemische Prozesse, Waferproduktion, Präzisions-schleifprozesse). Der genaue Umfang der Systemfunktionalität kann daher immer nur gemeinsam mit dem späteren Nutzer eines solchen Systems definiert werden.

Das vom Autor betrachtete Industrieunternehmen zeichnet sich beispielsweise durch eine weitläufige elektrotechnische Infrastruktur mit zentralen und dezentralen Versorgungseinheiten, sowie durch unterschiedlichste technologische Prozesse, Betriebsabläufe und Prozessequipment aus. Diese Weitläufigkeit und Vielfältigkeit im Netzaufbau und in den Abnehmerstrukturen sorgt für Interaktion zwischen den verschiedensten Netzknotenpunkten, sowie für Wechselwirkungen zwischen den Abnehmern respektive technologischen Prozessen, was letztendlich durch die in Abschnitt 12.2 durch das dort erwähnte Korrelationserfahrungen zwischen dem werkiternen Elektroenergieversorgungsnetz und den daran angeschlossenen Elektroenergieabnehmern in der innerbetrieblichen QS-Festlegung seine Bestätigung findet.

Hierzu zählt:

- Bereitstellung von Informationen zur Sicherstellung einer ganzheitlichen Prozessbetrachtung incl. Prozessablauf, beginnend bei Planungsprozessen, weitergeführt über Betriebs- bis hin zu Wartungs- und Instandhaltungsprozessen, sowohl für technologische Prozesse gültig, als auch denen der Energieversorgungsprozesse innerhalb des betrachteten Industrieunternehmens;
- Sicherstellung des Konformitätsgedankens im QS- und QM-Prozess im Werk;
- Aufdeckung von Zusammenhängen und Fehlerquellen beim Betrieb des Energieversorgungsnetzes, sowie im Wechselspiel zwischen Energieversorgungsprozess und Produktqualität unter Aspekten der 4M-Strategie.

12.5 Architektur

12.5.1 Eckelemente

Entsprechend den zu identifizierenden Schwerpunkte aus dem funktionalen Prozessumfeld heraus, zeichnen sich am Beispiel des betrachteten Industrieunternehmens Eckelemente ab, die vom Autor schematisiert einzelnen Rubriken von Informations- und Kompetenzinhalten zugeordnet sind, wie:

- permanente messtechnische Erfassung elektrischer Größen im Elektroenergieversorgungsnetz, bei Bedarf zusätzlich am Elektroenergieverbraucher und/oder am darzustellenden physikalisch-technischen Prozess;
- kontinuierliche Überwachung dieser Größen auf beispielsweise IST-Zustand, Grenzwertverletzung, Eventmonitoring anhand kundenspezifisch definierter elektrischer Parameter am konkreten Netzknotenpunkt (hier z.B. die des Schmelztiegelofens aus Abschnitt 6.4.2) etc.;
- Ableitung von Informationen aus Daten- zum Energieversorgungsnetz und technologischen Prozess;
- Dokumentation und Archivierung der Vorgänge, Messwerte, Informationen;
- Durchführung netzknotenpunktbezogener, strategischer Vorausuntersuchungen und Planungen zur Vermeidung unnötiger Investitionen, sowie zur Gewährleistung einer stabilen und insbesondere qualitätsgerechten Funktion der Produktionsausrüstungen;
- Analyse der Informationen zur Formulierung von Vorschlägen zur Verbesserung von Kundenprozessen. Es erfolgt damit eine Rückkopplung aus dem EEQ-Monitoringsystem hin zum Kundenprozess. Ein Beispiel hierzu ist das in Abschnitt 10.3.2 vorgestellte lokale EEQ-Steuersystem des Elektroenergieabnehmers Schweißmaschine mit Mehrpunktschweißung, gesteuert durch ein globales Informationssystem aus dem Elektroenergieversorgungsnetz heraus.

Wichtig zum Thema Rückkopplung:

Rückkopplung heißt nicht direkter und automatischer Durchgriff auf den Kundenprozess von einem zentralen EEQ-Monitoring (EEQ-Center) aus. Es heißt auch nicht automatisch das Betreiben von technologischen Anlagen oder Betriebsmitteln im Netz aus dem EEQ-Prozess heraus, außer es ist Gefahr im Verzug.

Unter diese Art der Definition fällt nicht das lokale EEQ-Steuerungssystem aus Abschnitt 10.3.2. Hier stehen fixe, fest einprogrammierte ECKelemente einem vordefinierten Prozessinhalt gegenüber, der den lokalen Prozessablauf über globale Prozessveränderungen (zusätzliche Flickerbelastung als Vorbelastung aus Station „A“, Bild 10.10, Abschnitt 10.3.2 heraus) im direkten Regelschema singularär reguliert.

Rückkopplung bedeutet stets die Notwendigkeit, dass Primärprozesse und deren Einbindung in prozessbegleitende Maßnahmen – zumindest so beim vom Autor betrachteten Industrieunternehmen – in der Prozesshoheit des direkten Nutzers (Prozessverantwortlicher) verbleiben müssen, das Umsetzen am Objekt, das vorlegen von Vorschlägen im Bereich der Elektroenergiequalität ist Aufgabe des EEQ-Serviceproviders als „innerbetrieblicher“ und/oder „fremdvergebener“ Leistungsinhalt am Produkt EE.

In der operativen Tätigkeit zeigt sich verstärkt, dass mit zunehmender Systemkomplexität bzw. Systemintegration beim Übergang der Betrachtung von lokalen Erscheinungen hin zur Prozessbetrachtung mit globaler Vernetzung, sich auch im Kompetenzbereich der momentan am Markt etablierter Systempartner das dort nutzbare Lösungs- und Leistungspotential immer selektiver darstellt. Dies zeigte vor allem ein, Anfang 2004 vom betrachteten Industrieunternehmen bereits angesprochener, in der BRD ausgeschriebener Technologiewettbewerb zum Thema: PQ-Monitoring zur Erfassung der physikalischen Umgebungs- und Betriebsbedingungen beim betrachteten Industrieunternehmen.

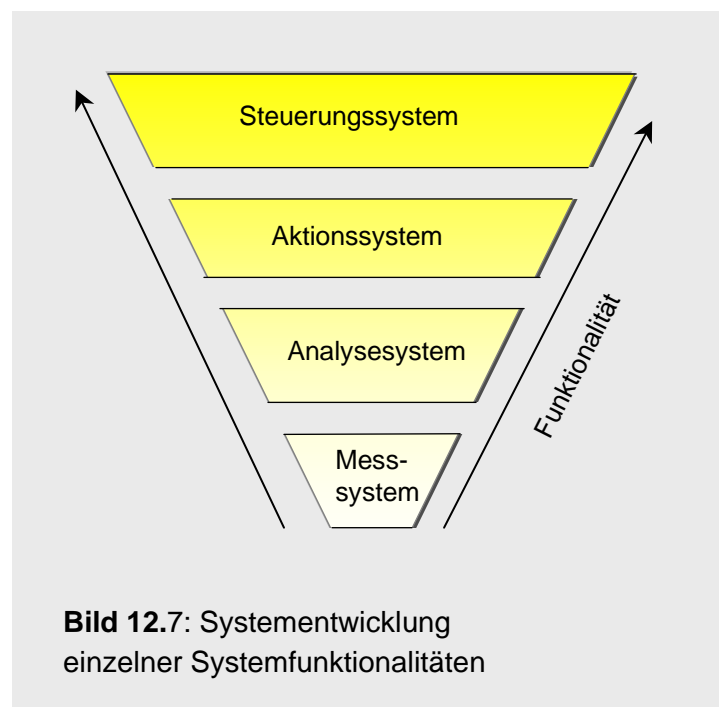
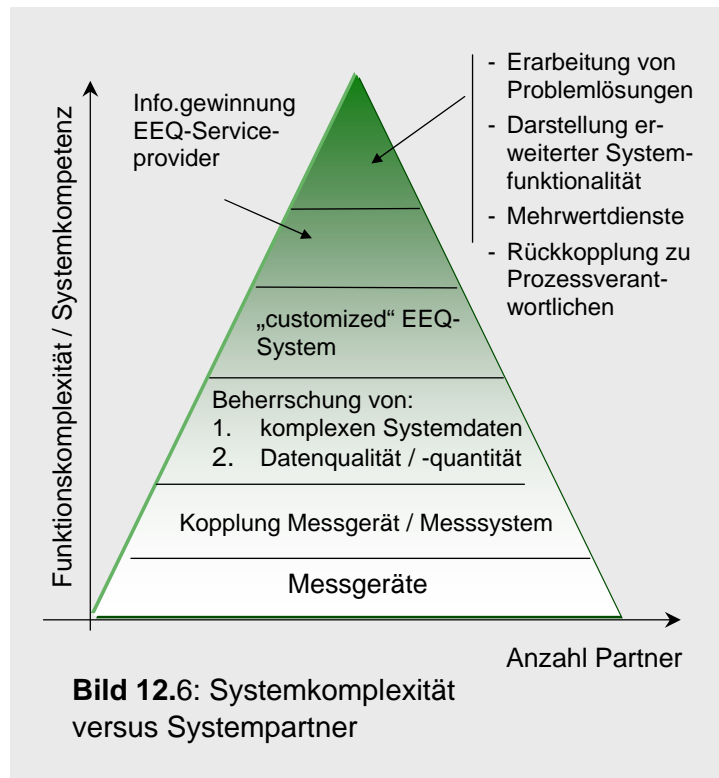
Die daraus gewonnenen Erkenntnisse zeigen folgendes Bild. Der Großteil der dort angefragten Unternehmen im Bereich der Messtechnik, der Datenerfassung und der Dienstleistung bekundeten ihre Kompetenz auf dem Gebiet der Bereitstellung von EEQ-Messgeräten und der Kopplung der Messtechnik zu eigenen EEQ-Messsystemen der EEQ-Thematik. Einige wenige wagten sich auf die Ebene der Kopplung der Messtechnik mit bereits im Unternehmen vorhandener Mess- und Bewertungstechnologie in Kombination mit der Vorselektion der EEQ-Messdaten. Der Bereich der Informationsgewinnung für das Eingangs beschriebene komplexe System, bestehend aus Technik, Organisation, Betreiben, Informationsgewinnung, informeller Kopplung zu Prozessverantwortlichen, etc., stellte nur ein Anbieter sicher. Bild 12.6 zeigt eine diesbezügliche Darstellung unter dem Überbegriff „Systemkomplexität

versus Systempartner“ und zeigt dem Systemumsetzer, dass dort am Markt für ein ganzheitlich sich abzubildendes EEQ-Monitoring ein Leistungs- und Servicedefizit existent ist.

Aus der Systemkomplexität heraus, erfolgt die Entwicklung der einzelnen Prozessfelder unter Funktionalitätsaspekten der Prozessverantwortung aufbauend, startend vom Messsystem, endend in der Systemsteuerung. Als Entwicklung von Funktionalitäten in Bild 12.7 dargestellt, ergänzt es die Aussage von Bild 12.6 gegenüber der Leistungsfähigkeit einzelner Partner eines Partnerchips der Systemkompetenz.

Stets hat zu gelten:

Nutzt man zur EEQ-Darstellung die Kompetenz externer Leistungsträger, z.B. in Form eines diesbezüglichen EEQ-Serviceproviders, ist darauf zu achten, dass die Entscheidung, d.h. die EEQ-Umsetzvorgabe in der Prozesshoheit der Prozessverantwortlichen im Industrieunternehmen verbleibt.



12.5.2 Herangehensweise

Je nach Systemausrichtung des EEQ-Monitoring ergeben sich hinsichtlich technischer Realisierung, sowie organisatorischer Festlegung im weitesten Sinne unterschiedlichste Komplexitäten. Es ist sinnvoll, dass nach Definition der Systemausrichtung, sowie der Systemfunktionalitäten technische Entwurfskriterien festgelegt werden, die sowohl für das Gesamtsystem „EEQ-Monitoring“, wie auch für die untergeordneten Subsysteme nach Bild 12.4 und Bild 12.5, Abschnitt 12.3, strikt angewendet werden. Ein Abweichen von den postulierten Entwurfskriterien oder Mischen von Systemphilosophien führt bei den zu erwartenden Datenmengen, deren Komplexität, Zeitforderungen an das System, technischen Leistungsfähigkeit der Einzelkomponenten zu kollidierenden oder auch nicht beherrschbaren Systemzuständen. Zu solch einem Entwurfskriterium gehört beispielsweise:

- das Verwenden standardisierter Schnittstellen, -medien, -protokolle;
- das EEQ-System als autarkes System (Beispiel Schweißmaschine);
- der Aufbau als streng hierarchisches System;
- die zeitliche Entkopplung von EEQ-Modulen und EEQ-Teilmodellen;
- die funktionelle Entkopplung der einzelnen EEQ-Module zueinander;
- die Gewährleistung eines Autonomiebetrieb einzelner EEQ-Module im Falle eines Kommunikations-Breakdown;
- die schnelle Informationsgewinnung im Störfall;
- die Sicherstellung der Kommunikation zum Prozessverantwortlichen, etc.

Abgeleitet aus der Grundausrichtung sowie funktionellen Grundüberlegungen zum Mindest-Funktionalitätsumfang eines PQ-Monitoringsystems muss dazu eine widerspruchsfreie, einfache und damit handhabbare Systemstruktur entworfen werden. Dazu sind zwei grundlegende Betrachtungen zwingend notwendig:

- Betrachtung zur funktionellen Struktur;
- Betrachtung zur hierarchischen Struktur.

Aus beiden Grundüberlegungen heraus erfolgt in einer weiteren Stufe die Festlegung der konkreten physischen Systemkomponenten, explizite als Zuordnung von Funktionen zu technischen Lösungen. Einzubeziehen sind diesbezüglich vorherrschende physische Substrukturen, sowie deren Implementierung zu einem Gesamt-EEQ-Monitoringsystem.

12.5.2.1 Funktionelle Struktur

Die funktionelle Struktur des Systems spiegelt den Systemaufbau an den verschiedenen zu erfüllenden Aufgabenstellungen. Dieses umfasst Elemente hinsichtlich der Sicherstellung der inneren Funktionalität genau so, wie äußere Funktionalitäten des Systems, z.B. gesehen gegenüber der Elektroenergiequalität des Elektroenergieversorgers am physikalischen Netzanschlusspunkt (PCC) des Industrieunternehmens. Hier erfolgt keine Zuordnung von Funktionalitäten zu physischen Hardwaremodulen und -substrukturen, sondern zu Funktions- und Funktionalitätsinhalten, gesehen am Beispiel der Merkmale der Versorgungsspannung in Elektroenergieversorgungsnetzen.

Darauf aufbauend beschreibt Bild 12.8 die wesentliche funktionelle Struktur eines Systems, das als Lösung für ein EEQ-Monitoringsystem beim betrachteten Industrieunternehmen zum Einsatz kommen wird. Nach Festlegung der Systemfunktionalität, wie auch deren Struktur der Kopplung von Inhalten zueinander, wird daraus die Zuordnung von Funktionali-

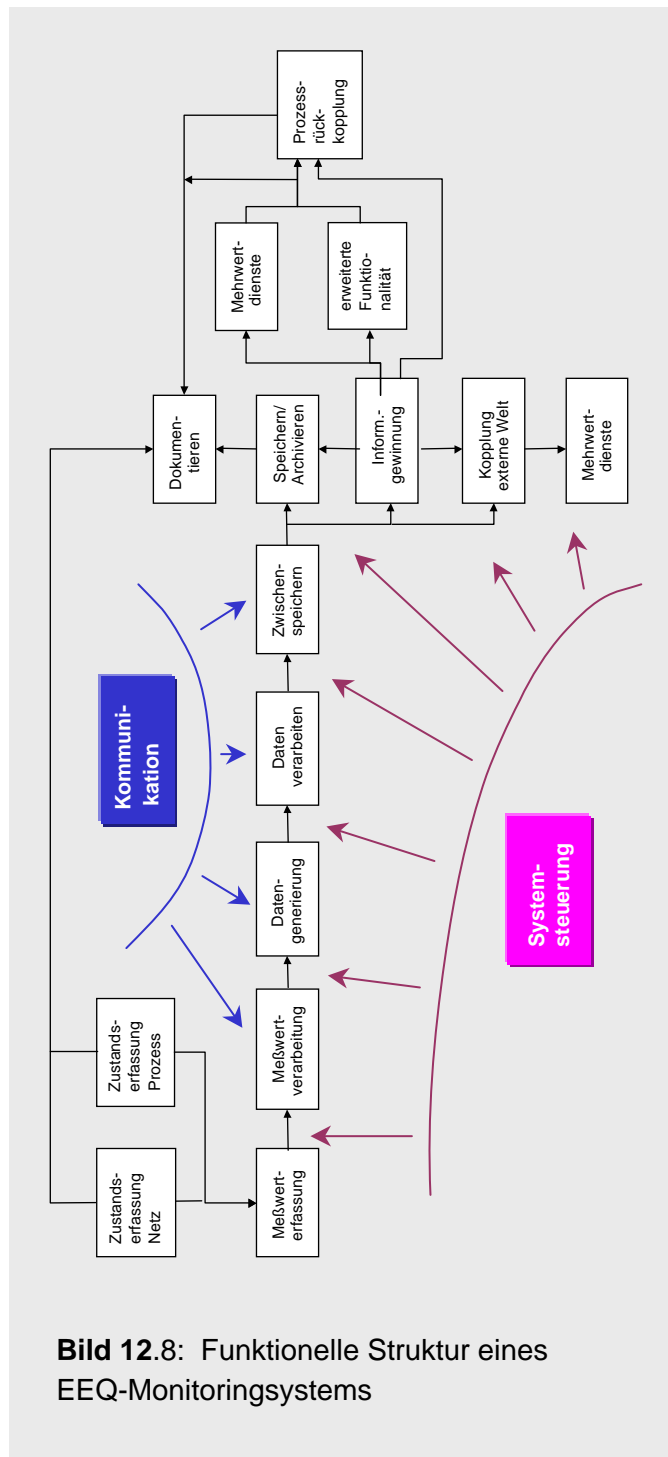


Bild 12.8: Funktionelle Struktur eines EEQ-Monitoringsystems

täten zu den technischen Systemen, respektive Modulen eines Industrieunternehmens realisiert und diese zu einem Gesamtsystem kombiniert. Zu beachten ist, dass ein und dieselbe Funktionalität auf verschiedene Weise im technischen System implementiert werden kann. Die Zuordnung der Funktionalitäten zu technischen Hardwarestrukturen hängt ab von:

- der Systemausrichtung, sowie dem Funktionalitätsumfang des Systems;
- dem Datenaufkommen,
- der Zeitforderungen bzgl. Verarbeitungsgeschwindigkeit, Responsezeiten;
- der Archivierungszeiten;
- der Datensicherheit;
- der Leistungsfähigkeit verfügbarer technischer Einzelkomponenten;
- den internen Festlegungen des Industrieunternehmens.

12.5.2.2 Hierarchische Struktur

Für das globale EEQ-Monitoringsystem und auch das der Subsysteme nach Bild 12.4, Abschnitt 12.3, mit jeweils der Systemausrichtung als Aktionssystem, wird die technische Umsetzung entsprechend der in Bild 12.9 gezeigten hierarchischen Struktur momentan zur Umsetzung im vom Autor betrachteten Industrieunternehmen vorgeschlagen.

Erläuterungen:

◆ Feldebene:

- Akquisition der Messwerte $u(t)$, $i(t)$, digitale Inputs durch installierten PQ – Messtechnik;
- Vorverarbeitung der Messwerte;
- Bildung von PQ – Kennwerten;
- Kommunikation der Messwerte / Daten an die nächsthöhere Hierarchieebene des Systems;
- Zwischenspeicherung.

◆ Operate Data Center Ebene (ODC)

- Aufbau einer verteilten Datenbank zur Datenspeicherung und Archivierung;
- Datenauswertung;

◆ Analyse Data Center (ADC)

- Zentrale Funktions- und Administrationsebene;
- Informationsgewinnung, erweiterte Funktionalität des Systems, Mehrwertdienste;
- Bemanntes EEQ-Servicecenter;
- Erweiterte Funktionalitäten, Mehrwertdienste als Funktionsmodule;
- Koppelstelle zur externen Welt;
- Rückkopplung zum Prozessverantwortlichen „Netz“ und „technologischer Prozess“.

Je nach Größe des Kundennetzes und der daraus resultierenden Menge der Messlokationen mit EEQ-Messboxen als EQ-Messaufnehmer, kann das System feiner strukturiert, Systemkomponenten und Subsysteme dupliziert, sowie Zwischenebenen eingeführt werden.

Für das ADC selbst ist eine leistungsfähige Hardwareplattform sowie Kommunikationstechnik nötig. Die jeweilige Ausbaustufe richtet sich nach der Menge der anfallenden Daten, sowie nach Umfang und Qualität der zu erbringenden Funktionalitäten und Mehrwertdienste.

Die Hierarchische Struktur als Grundstruktur ermöglicht klare Befehls- und Aktionswege mit entsprechender Entkopplung der einzelnen Ebenen untereinander.

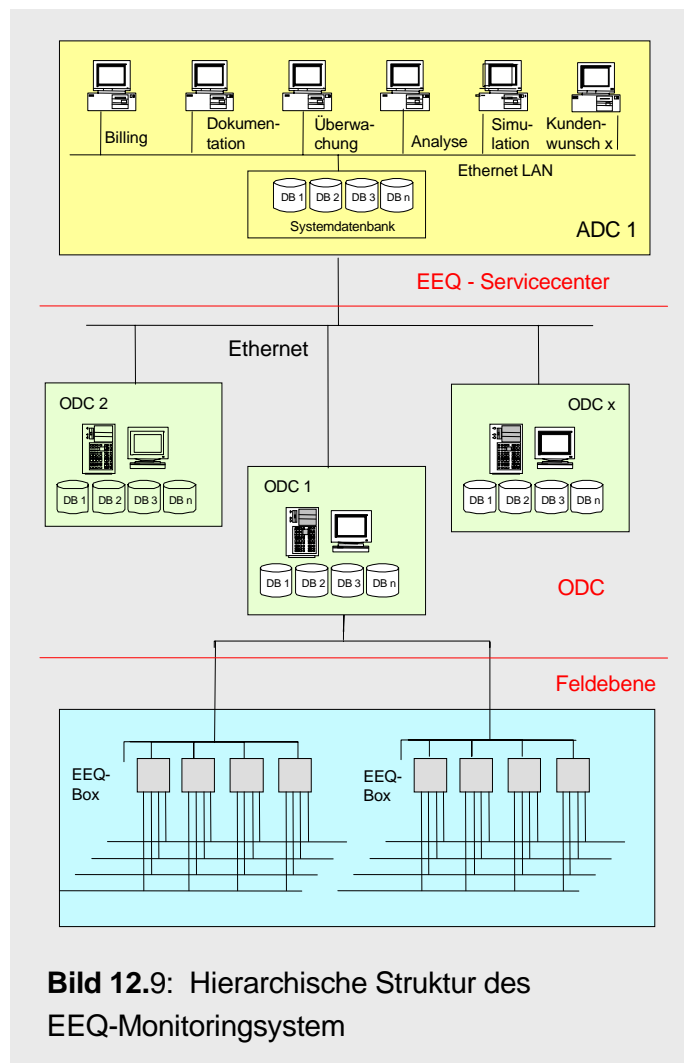


Bild 12.9: Hierarchische Struktur des EEQ-Monitoringsystem

13 Zusammenfassung und weiterzuverfolgende wissenschaftliche Zielstellungen

Die Beschreibung der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer ist ein Baustein der Elektroenergieversorgung der technische, technologische, wie auch organisatorische Eckelemente mit- und zueinander bündelt. Eingebunden als Grundbestandteil des Betriebs von Elektroenergieabnehmern am Elektroenergieversorgungsnetz bildet er das Handlungsfeld am Produkt EE mit Faktoren der Elektroenergiequalität im operativen und im strategischen Bereich der Nutzung am Objekt ab. Darstellbar in Merkmalen einer Spannung (Spannungsqualität) beschreibt der Schnittpunkt am internen (IPC) und externen Elektroenergieversorgungsnetz den physikalischen Handlungsrahmen als Handhabungsbereich unterschiedlichster Partnern (Partner A: Nutzer Elektroenergieabnehmer / Partner B: Betreiber Elektroenergieversorgungsnetz / Partner C: Vorbelastung des Elektroenergieversorgungsnetz durch weitere Elektroenergieabnehmer) eines multilateralen Elektroenergieverbundes. Einteilbar unter Aspekten des funktionalen Risikos bei dem, respektive durch die Kenngröße am Produkt EE versorgten Elektroenergieabnehmer, kann netzknotenspezifische ein nutzungsorientierter Elektroenergiequalitätspegel festgelegt werden. Heruntergebrochen auf das jeweilige Einzelmerkmal einer Merkmalkette der qualitativen Nutzung am Produkt EE entsteht eine Werteskala der Belastbarkeit in Form von Elektroenergiequalitätskenngrößen der dort am Netzananschlusspunkt zu betreibenden Elektroenergieabnehmer. Bezeichnet als Beschreibung der Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer bildet sich der, vom Gesetzgeber geforderte Konformitäts-, besser Kompatibilitätspunkt zur elektromagnetischen Verträglichkeit, gekennzeichnet unter dem Pseudonym der CE-Konformitätserklärung automatisch ab. Vom Elektroenergieabnehmer und nicht vom Elektroenergieversorger vorgegeben, d.h. vom versorgten Unternehmen selbst, ist die als Variable anzusehende Qualität am Produkt EE monitorisierbar. Geprägt als Form, Verlauf und Stabilität einer Spannungsgröße, kann z.B. unter dem Gesichtspunkt des Vergleichsmarktprinzips de facto eine benötigte Elektroenergiequalität, wie eine Ware gehandhabt wird. Ihre Grenzgrößendefinition hat das Unternehmen bei der Wahl, d.h. beim Kauf und beim Betrieb der eigenen Infrastruktur (Maschinen, Geräte, Anlagen, Einrichtungen, etc.) nicht nur im technisch-technologischen, sondern auch im juristischen Sinne permanent abzubilden.

Hier gilt:

Die am Anschlusspunkt des Elektroenergieabnehmers vorhandene Netztechnik, kombiniert mit der Kompetenz des Netzbetreibers elektroenergetischer Prozesse, wie die der Elektroenergiequalität am internen (IPC) und/oder externen (PCC) Netzanschlusspunkt der Netzinfrastruktur zu erfassen, zu analysieren, am Ende zu stabilisieren, bestimmt im internen und/oder externen Elektroenergieversorgungssystem die zukünftig einzusetzende Technik und den Aufwand für den Betrieb, d.h. für das Betreiben von Elektroenergieabnehmern am Elektroenergieversorgungsnetz.

Es sind vor allem – wie überall – die kurz-, mittel- und langfristigen Ziele so zu steuern, dass im Bereich der Performance und der Kosten das Risiko funktionaler Störungen zur Elektroenergiequalität einen derart strategischen Rahmen gegenüber bestehenden Komponenten des Netzes (Betriebsmittel des Elektroenergieversorgungsnetzes) auch abzubilden vermag. Gerade unter Gesichtspunkten der optimalen Nutzung von Einzel- und Summenkomponenten eines Elektroenergieversorgungssystems ist die IST-SOLL-Betrachtung ein wesentlicher Bestandteil um das Geschehen an und um den Netzanschlusspunkt zu deklarieren. Hier gilt es nicht nur dezentriert zu optimieren, sondern den Verträglichkeitskontext in den Vordergrund von Verbindlichkeiten unterschiedlichster Partner eines globalen „Partner-Chips“ zu setzen. Diese Art der Optimierung hängt stark von der Flexibilität der vorhandenen und der neu zu implementierenden Infrastruktur, aber auch von der Erfassung und Nutzung entsprechender Kennziffern, wie die der Elektroenergiequalität, der Ausfallanalyse und der Zustandsbeurteilung ab. Ein solch strategischer Rahmen vermindert kritische Aktivitäten an und um den Netzanschlusspunkt und schafft Einfluss auf die betriebswirtschaftlichen Ergebnisse, vor allem auch aus Sicht der gesuchten Risikobeherrschung am EE gegenüber dem finalen Prozess am Produkt.

Das Anliegen der Arbeit bestand daher nicht nur in der Darstellung der Notwendigkeit der Beschreibung der Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer, sondern vor allem in der Aufzeichnung von Lösungen und Ansatzpunkten zur technisch-technologischen Umsetzung im Prozess der Nutzung. Da die Charakteristikas von Performance und Kosten unter dem Zeichen des zu erstelenden Produktes relativ wenig beeinflussbar sind, bestand die Notwendigkeit in der Arbeit vor allem den Mechanismus der Schnittstelle so abzubilden, dass ein gemeinsamer Weg der Umsetzung sichtbar wird. Hier stand

vor allem das technisch, technologische und organisatorische Anforderungsprofil aus Sicht des Elektroenergieabnehmers, d.h. des Kunden „elektrischer Energie“ im Vordergrund der Arbeit. Insbesondere die Kennzeichnung der Kette des Risikos, so zu sehen als die einzelnen Glieder einer elektroenergetischen Schnittstelle vom und zum Prozess, stand in der Modellbetrachtung der Arbeit an oberster Stelle. Minderung des Risikos heißt hier Stärkung des schwächsten Gliedes einer Kette, reichend von der Erzeugung „elektrischer Energie“ am Generator, bis zu ihrer Wandlung am Elektroenergieabnehmer.

Die strategische Entscheidungsfindung darf zwischen dem (den) vor- und nachgeschalteten Partnern eines Zielprojektes nicht ohne ganzheitliche Abstimmung der einzelnen Teilprozesse (Erzeugung, Verteilung, Wandlung) abgewickelt werden. Wird dieses nicht beachtet, ist die Schnittstelle nicht effizient, ja sogar in manchen Fällen destruktiv, d.h. den Prozessablauf zum Produkt störend. Die strategische Entscheidungsfindung, beispielsweise gesehen zur Elektroenergiequalität stand beim Autor deshalb stets an oberster Stelle, und bildete das Zielportfolio nicht nur im operativen, sondern auch im strategischen Part der Arbeit. Aufgesetzt auf technische und technologische Komponenten der Elektroenergiequalität ermöglicht die Arbeit dem Betreiber, als Nutzer des Produkts EE den taktischen Planungshorizont über die von ihm zu verantwortende Struktur, gegenüber dem Bedürfnis seines Kunden (Nutzer der EE im Elektroenergieabnehmer), dem Wettbewerb (externes EVU, Dienstleister, Serviceprovider, etc.), dem Kapitalgeber und der Gesetzgebung allumfassend aufzuzeigen und daraus einen stabilen Prozess zu generieren. Um dabei nicht in die Falle vorgelegter Suboptimierungsprozesse planender, beschaffender und ausführender Bereiche zu geraten, bestand das Hauptmerkmal der Arbeit in der Darstellung der Gesamtzusammenhänge über die der unterlagerten Teiloptimierungs-Prozesse – gegenüber Dritten gern als Ganzoptimierungsleistung propagiert – hinweg. Ihre Unterordnung zu Gunsten der integralen Betrachtung des Gesamtprozesses ist inzwischen ein neuer Meilenstein in der Infrastrukturplanung, zumindest beim betrachteten Industrieunternehmen geworden.

Der direkte Weg zu einer derartigen Verbindlichkeit von Partnern eines Elektroenergieverbundes vom und zum Elektroenergieanschlusspunkt (IPC, PCC) ist in der Arbeit mehrfach hervorgehoben und als Einbindung der dort zu betrachtenden Variablen, unabhängig ob sie als Betriebspegel bereits anstehen, oder als Planungspegel

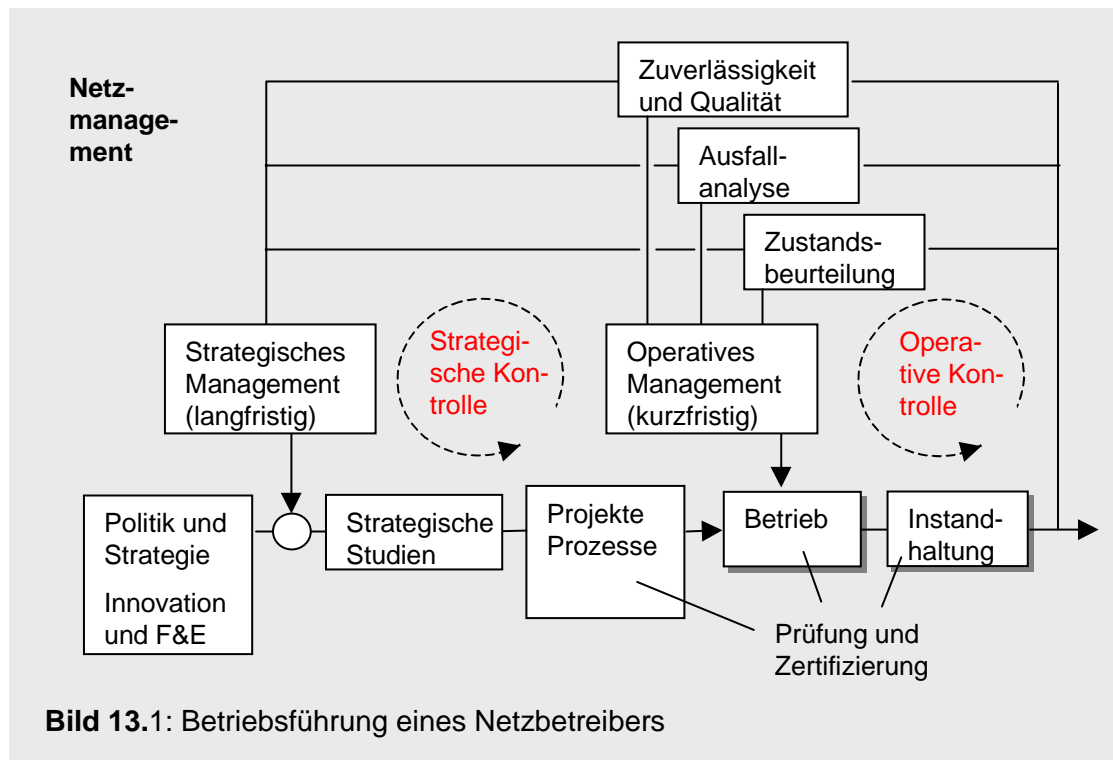


Bild 13.1: Betriebsführung eines Netzbetreibers

im Rahmen einer Maßnahme erst wirksam werden, an den Grundlagen von Modellen und Verfahren gespiegelt. Für Planer, Betreiber und Nutzer gleichermaßen nutzbar, galt das Ziel der Arbeit zwar der Beschreibung des Risikos von Parametern der Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer, doch stets gesehen zur Absicherung des finalen Funktionsprozesses gegenüber dem zu erstellenden Produkt. Aspekte in Politik und Strategie spielen hier eine nicht zu unterschätzende Rolle. Hier muss die Betriebsführung eines Netzbetreibers, Bild 13.1, als Regulator zukünftig verstärkt zur Geltung kommen, und einen Regelkreis im operativen und strategischen Bereich als Kontrolle bilden. Zu diesem Zweck ist die gesamte Betriebsführung eines Betreibers eines Netzes in die Thematik um die Beschreibung der Schnittstelle mit einzubinden. Vor allem der Gesichtspunkt der elektromagnetischen Verbindlichkeit als Konformitäten oder Kompatibilität führte hier zu entsprechend strukturierter Rückinformationspflicht einzelner, bereits angesprochener Zustandsindikatoren. Um dabei nicht nur Worte konformen Wirkens zu verfassen, galt es für den Autor die in den verschiedenen Phasen der Beschreibung der Schnittstelle notwendigen Zielstellungen an konkreten Beispielen innerhalb seines Aufgabengebietes im betrachteten Industrieunternehmen zu spiegeln.

Gezeigt werden sollte vor allem, dass zum Zweck der Schaffung und Haltung kompatibler Schnittstellen ein strategisch, taktisch operierendes Management des Betriebs zu generieren ist, das auch Informationen aus denjenigen Performanceanforderungen einbezieht, die als Plattform von Gegebenheit und Notwendigkeiten den planenden, beschaffenden und ausführenden Bereichen, den KONFORMEN Weg zum Produkt EE weist. Dieses hat vor allem unter dem Gesichtspunkt zu gelten, dass durch entsprechend strukturierte Rückinformationen der einzelnen Indikatoren erst das operativ und dann das strategisch anzustrebende Management by Quality (Quality-Gate EE) zur Wirkung kommt. Ein strategisches, taktisches und operatives Management des Betriebs, der Instandhaltung muss aus diesen konkreten Kenndaten den operativen Zyklus der Betriebsführung und der Instandhaltung ableiten, und entsprechende Performanceanforderungen neu schaffen.

Ein erster Weg wurde aufgezeigt, der den Partnern des Elektroenergiegeschäftes neue Maßstäbe zum Prozess der „elektroenergetischen Wandlung“ verleiht. Zustandsbeurteilungen, Ausfallanalysen und Zuverlässigkeitsbetrachtungen sind und bleiben für den Autor die Grundelemente des Netzmanagements, bei der das Grenzurisiko zum Handlungsfeld diese dazu nutzt die Lebensphasen einer Infrastruktur nach Bild 13.2 transparent und damit zertifizierbar zu gestalten.

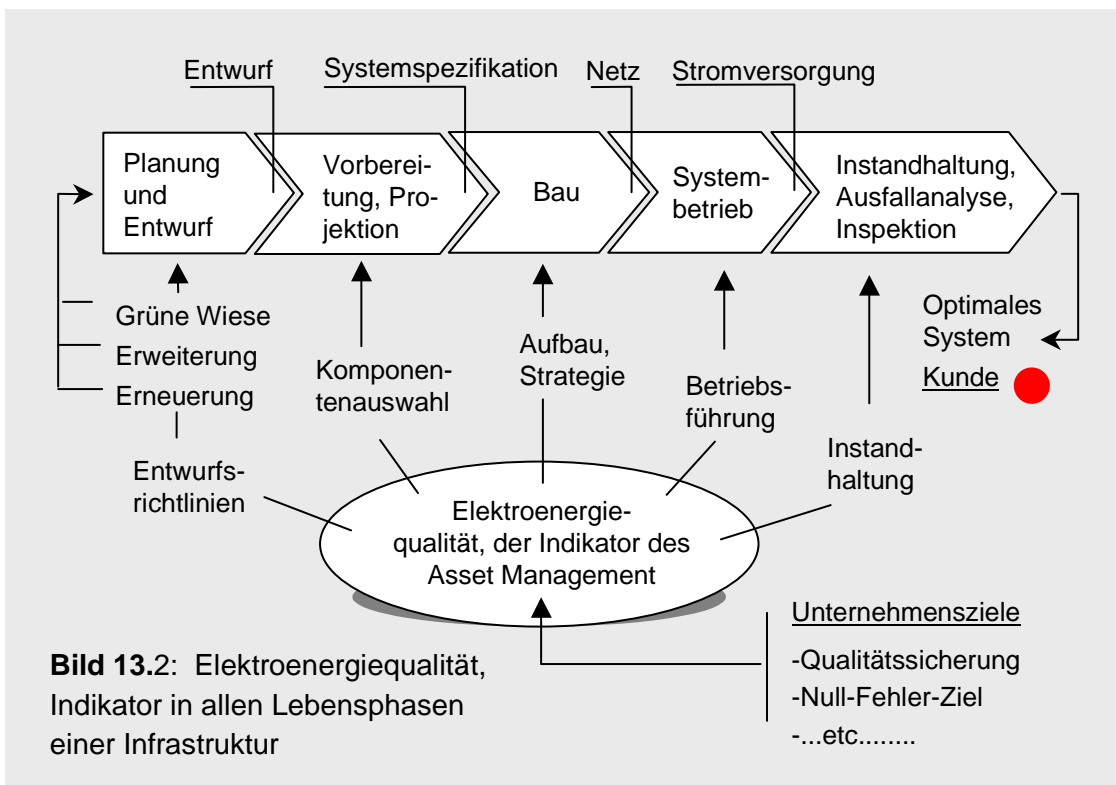


Bild 13.2: Elektroenergiequalität, Indikator in allen Lebensphasen einer Infrastruktur

Das Thema der „lifecycle costing“ oder Berechnung der Kosten über die Lebenszeit ist eine unternehmerische Zielstellung, die es nach Sicht des Autors gilt in den Fokus weitergehender Betrachtungen zu setzen. Quantifizierbare und damit priorisierbare Indikatoren, wie die der Elektroenergiequalität sind hierbei Regelement zwischen dem In- und dem Output einer Funktionsankopplung an das Elektroenergieversorgungssystem und damit zur Darstellung des optimalen Systems im Zeichen der Netznutzung beim Netzkunden zwangsnotwendig. Hier gilt es mit dem Element des operativen und strategischen Managements bilateral wirkende Komponenten, wie Betriebsmittel, Maschinen und Anlagen als Elektroenergiewandler in kurz-, mittel- und langfristige Prognosen so einzubeziehen, dass Stellhebel für das unternehmerische Portfolio entstehen. Es gilt vor allem den entsprechenden Mechanismus verstärkt zu durchleuchten und dieses auf Basis der vorliegenden Arbeit zu ergänzen. Insbesondere gilt es die Philosophie der maximalen Ressourcennutzung in ein adäquates Management des Risikos überzuführen und mit entsprechenden Verfahren in seiner Nutzung zu stabilisieren.

Als Vorstufe einer weitergehenden wissenschaftlichen Arbeit sei hier beispielsweise die Verrechnung elektroenergetischer Phänomene erwähnt, die angelehnt an die Studie der europäischen Energieregulatoren (CEER) als „Working Group on Quality of Electricity Supply of the Council of European Energy Regulators“ dieses als Regulierung der Versorgungsqualität mit Instrumenten des Business zwischen indicativen Standards zweier Gruppen stellt, bezeichnet als overall und guaranteed Standards. Overall und guaranteed Standards, so zu sehen als Anregung für eine vertiefende Arbeit, beschreibt die Studie wie folgt:

- I. **Overall Standards** geben Grenzwerte für Kenngrößen vor, die von beiden Netzpartnern (Elektroenergielieferant, -verbraucher) durchschnittlich einzuhalten sind. Sie begrenzen Wertelemente eines Störphänomens je nach operativer und/oder strategischer Ausrichtung eines Unternehmens über das funktionale Risiko (beispielsweise Bild 13.3: 90%-Quantil der Belastung).
- II. **Guaranteed Standards** geben verbindliche Grenzwerte der Versorgungsqualität für den einzelnen Lieferanten-Kunden-Punkt am IPC oder PCC vor.

Mit der Festlegung von overall und guaranteed Standards sind zusätzliche Fasetten nach Bild 13.3 denkbar, die einer Betrachtung nicht als Endwert eines Pegels, sondern als Struktur seiner Aussage ermöglicht. Hier sind zukünftige Arbeiten dahinge-

hend zu setzen, dass dem industriellen Nutzer mehr Wissen um das Wirken qualitativer Standards verschafft wird. Vor allem gilt es den Fokus verstärkt auf das Handwerkszeug einer Betrachtung um das quantitative, d.h. das verrechenbare Risiko unter Aspekten wie die eines entsprechenden Preis-Leistungs-Katalogs für Elektroenergiequalitätsdaten zu setzen.

Hier zeichnet sich besonders das Vernetzungsmerkmal als merkmalsorientiertes Risiko in Form von Preisgruppen aus, die wie in Bild 13.3 als funktions-, bzw. funktionalitätsbezogene Einteilung der Störbelastung eines spezifischen, aber auch globalen Netzanschlusspunktes als Abbild seiner Performance sichtbar wird. Greifbar in seiner Wirkung nicht nur zur Sicherstellung der Sicherheit von Mensch, Maschine, Material und Medium, sondern zum Produkt, d.h. zur Ausbringung und damit zur Verfügbarkeit einer Infrastruktur beim Nutzer (Industrieunternehmen), könnte dieses den Qualitätsbegriff um das Produkt EE im Sinne einer zukünftigen Bindungsgrößen zwischen Elektroenergieversorger und -versorgtem weiter optimieren.

Interessant wäre vor allem der Schluß zur Betrachtung des Risikos unter dem Aspekt des Asset-Managements. Die strategische Positionierung der Betriebsführung in Form standardisierter Vorgehensweisen könnte so reglementiert, und damit reguliert sein, dass wie nach Bild 13.4 das Spannungsfeld zwischen Performance

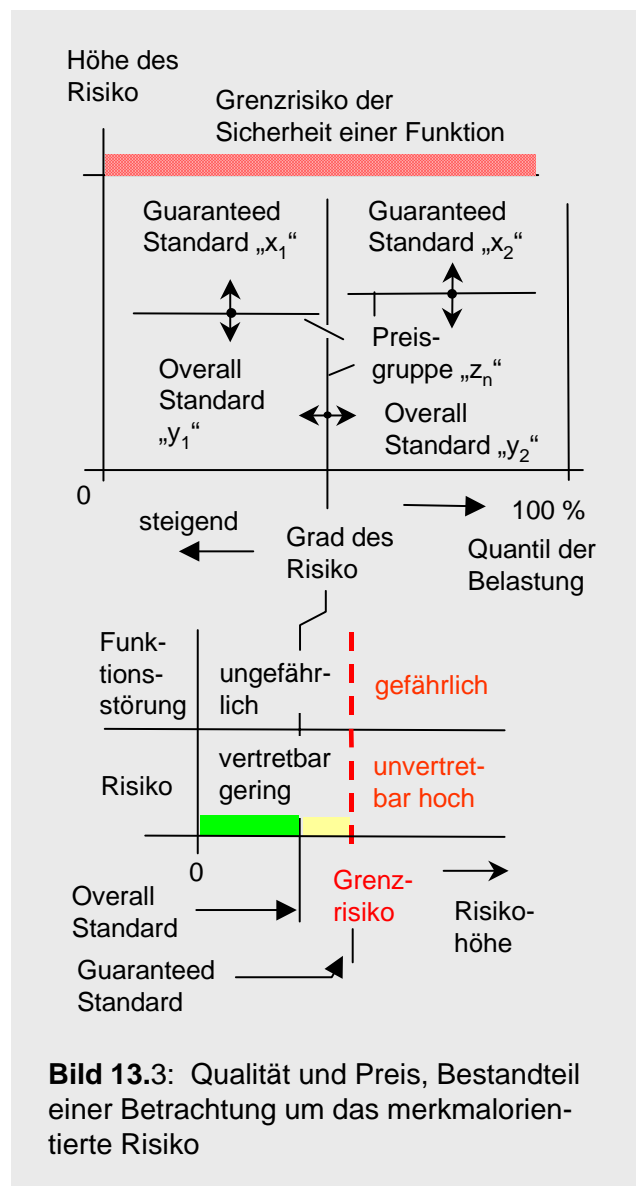
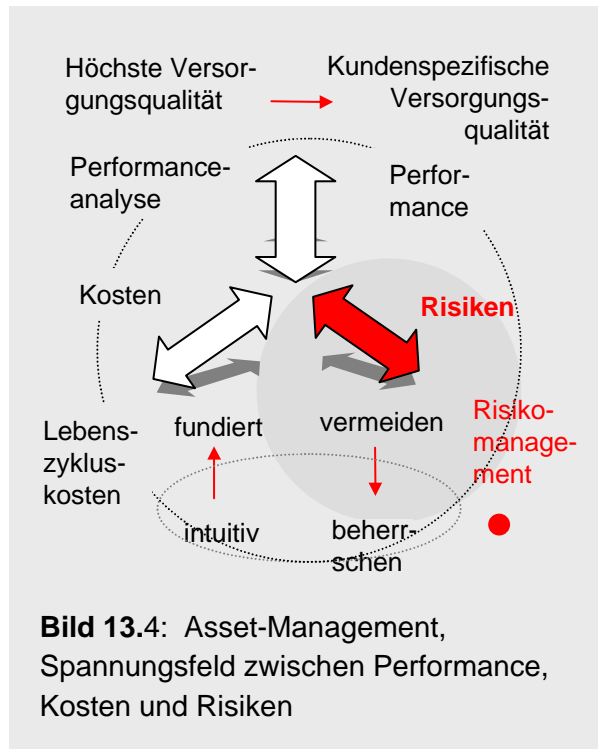
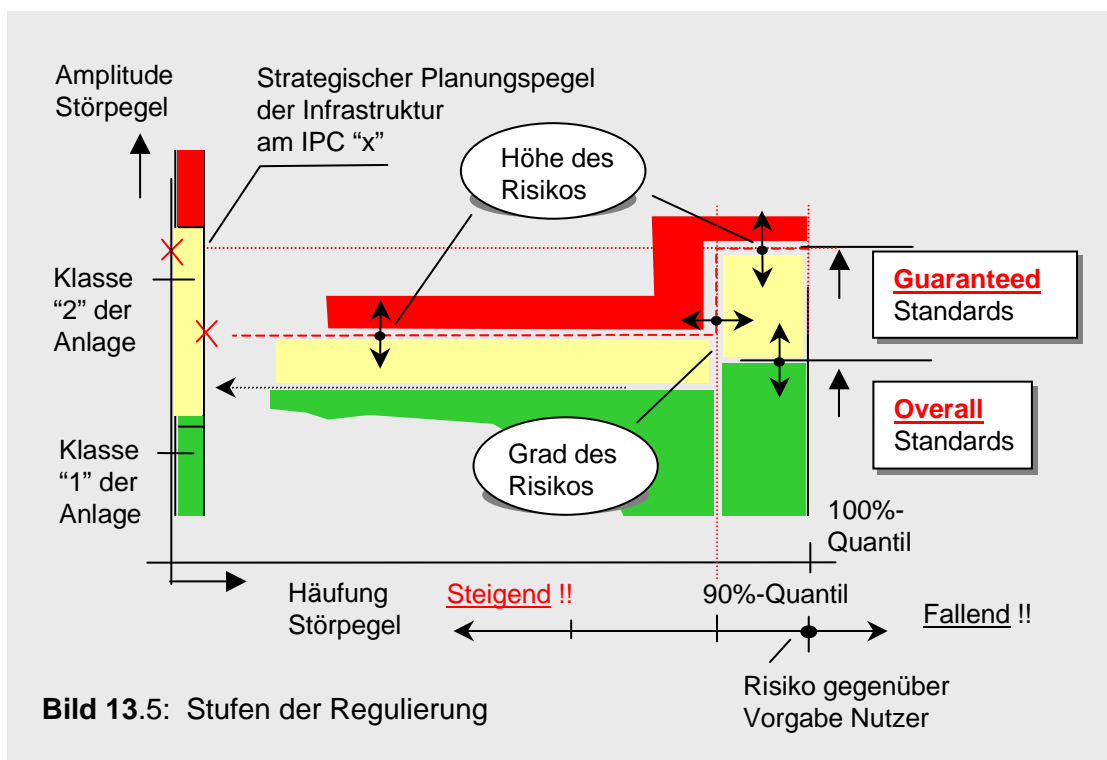


Bild 13.3: Qualität und Preis, Bestandteil einer Betrachtung um das merkmalsorientierte Risiko

und Kosten auf Basis des Risikos, vom vermeiden eines Risikos, zum beherrschen eines Risikos geführt wird. Dementsprechende Kriterien in der Veränderung, sei es im Bereich der Performance als Verlagerung höchster Versorgungsqualität zur kundenspezifischen Versorgungsqualität, bzw. bei den Kosten über den Lebenszyklus der Infrastruktur hinweg, könnten so gesehen vom intuitiven zum fundierten Kosten-Management über das Risikomanagement der Qualität im „Quality-Gate EE“ (IPC, PCC), am Beispiel einer Variantenbetrachtung geführt werden.



Die Vision des Autors ist die bewusste Steuerung des Risikos einer Störpegelbelastung nach Bild 13.5, als ergänzende Betrachtung von Bild 11.17 und 11.8, Abschnitt 11.4.2.



14 Formelzeichen, Indizes, Abkürzungen

	Mittelwert	A	Amplitude
~	Wechselspannung	A	Leiterquerschnitt
^	Spitzenwert	a	Drehfaktor
–	komplex	a	Koeffizient
I,II	Versorgungsindex	ADC	Analyse Data Center
0	Gleichglied (0. Harmonische)	alg.	algebraisch
0	Index für Ausbreitung in Luft	B	Störergebnis als Abweichung zum Prozess
1,2,3	Kennnummer Phasenleiter	b	Koeffizient
α	Reaktionsparameter	Bewag	Elektroenergieversorger
α	Phasenwinkel	BGB	Bundesgesetzblatt
α	spezifischer Faktor Qualitätsindex	BM	Betriebsmittel
β	spezifischer Faktor Qualitätsindex	BRD	Bundesrepublik Deutschland
γ	Kennziffer für den Prozessverlauf der Koppelknoten	C	Kapazität
Δ	Differenz	c	Lichtgeschwindigkeit
δ	Kennziffer für den Prozessverlauf der Kopplung zwischen Immunität und Emission	CIREN	International agierendes Technisches Komitee mit Sitz in Belgien
ε	Permittivität	D	Deformationsblindleistung
φ	Phasenwinkel	D	Entscheider
λ	Wellenlänge	d	Leiterabstand
κ	Kennziffer Segmentbelaster	D _S	Drehstromnetz
μ	Permeabilität	D _U	Unsymmetriblindleistung
ω	Kreisfrequenz	D _{UA}	Unsymmetriblindleistung als Unterschied in der Amplitude
ν	Ordnungszahl einer OS bzw. Harmonischen (ganzzahlig)	D _{UV}	Unsymmetriblindleistung als Unbalance gegenüber dem Neutralleiter
μ	Ordnungszahl einer OS bzw. Harmonischen (nicht ganzzahlig)		

D_{UW}	Unsymmetriblindleistung als Winkelunsymmetrie	EWR	Europäischer Wirtschaftsraum
DIN	Deutsche Industrie Norm	F	funktionsbezogen
DKE	Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informations-technik	F	Gesamtfaktor der Blindleistung
E	Eingang	f	Frequenz
E	elektrisches Feld	F(s)	Übertragungsfunktion
E	Erde, Erdung	$F_D(s)$	Funktionsentscheider
E	Gesamtfaktor der Wirkleistung	$F_K(s)$	Störkoppler
e	Elektron	$F_R(s)$	Rückwärtszweig der Übertragung
EDF	Electricité de France	$F_U(s)$	Funktionsabbild der Übertragung
EE	Elektrische Energie	$F_V(S)$	Vorwärtszweig der Übertragung
EES	Elektroenergiesystem	$F_1(s)$	beabsichtigte Funktionsgröße
EEQ	Elektroenergiequalität	$F_2(s)$	unbeabsichtigte Funktionsgröße
EG	Europäische Gemeinschaft	G	Grundgröße, 1. Netzharmonische
elektr.	elektrisch	g	Gegensystem
EMC	electromagnetic compatibility	g	Gleichzeitigkeitsfaktor
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit	ges.	gesamt
EMVG	Gesetz zur elektromagnetischen Verträglichkeit	GSG	Gerätesicherheitsgesetz
EN	Europäische Norm	GU	Generalunternehmer
ENE	Europäische Norm Entwurf	H	magnetisches Feld
EnBW	Elektroenergieversorger	h	Höhe als Abstand
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz	I	Strom als Effektivwert
ESD	Elektrostatische Ladung (electrostatic discharge)	i, i(t)	Strom als zeitlicher Verlauf
EU	Europäische Union	IEC	International Electrotechnical Commission
EVU	Elektroenergieversorgungsunternehmen	IPC	Netzanschlusspunkt nach intern (in-plant point of coupling)
Event	Aufzeichnung		
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft		

IPP	Unabhängiger Erzeuger „Elektrischer Energie“	N	Neutral oder Nullleiter
ISO	Internationale Organisation für Standardisierung	n	Anzahl
K	Kunde	Netzp.	Netzpunkt
k	Kopplung	NF	nicht funktionsbezogen
k	Summationsfaktor	NS	Niederspannung
k	Ordnungszahl der Harmonischen	NWS	Elektroenergieversorger
KZ	Kennziffer	O	Oberschwingung
L	Leiter (Index 1,2,3 Leiterphase)	OPC	Operate Data Center
L	Induktivität	P	Prozess, Produkt
l	Leiterlänge	P	Wirkleistung
LAN	Lokales Netzwerk zur digitalen Datenübertragung	P_{lt}	Flicker als long-term-value
M	Gegeninduktivität	P_{st}	Flicker als short-term-value
M	Mittelpunktleiter	PCC	Netzanschlusspunkt nach ex- tern (point of common coupling)
M	Modulation	PQ	Power-Quality
M	Modulationsblindleistung	Q	Elektrizitätsmenge (Indizes a, b für differente Ladungspunkte)
m	Mitsystem	Q	Qualität
m	Phasenzahl	Q	Quelle
M₁	Mensch	Q	Verschiebungsblindleistung
M₂	Maschine	q	Ordnungszahl der Harmo- nischen
M₃	Material	QM	Qualitätsmanagement
M₄	Medium	QS	Qualitätssicherung
Ma	Maschine	R	rückwärts gerichtet
mech.	mechanisch	r	Korrelationskoeffizient
ML	Messlokation	r	Radius Leiter
Mp	Mittelpunktleiter	R_N	Netzresistanz
MS	Mittelspannung	S	Scheinleistung
N	Nennwert	S	System
N	Netz		

s	Sekunde	Vorb.	Vorbelastung
S_R	Rechtleistung	VV	Verbändevereinbarung
SE	Eigenstörfestigkeit	VZS	Verbraucherzählpeilsystem
SF	Fremdstörfestigkeit		
St.	Störung	W	Wechselstromnetz
T	Periode	x	Variable
T	Transformator	$X_a(s)$	Ausgangsgröße
t	Zeitpunkt	$X_e(s)$	Eingangsgröße
THD	Gesamtoberschwingungsgehalt (total harmonic distance)	X_N	Netzreaktanz
U	Spannung (Indize 0 Neutralleiter / A,B Netzknotenpunkt)	y	Variable
U	Umgebung	Z	Ersatzimpedanz
U	Unsymmetrie	Z_N	Netzimpedanz
U	Unsymmetriblindleistung u, u(t) Spannung als zeitlicher Verlauf		
U_N	Nennspannung		
U_C	Vereinbarte Versorgungs- spannung		
U_V	Verbraucherspannung		
USV	unterrechnungsfreie Stromversorgung		
V	Unbalance		
V	Verzerrungsblindleistung		
V	vorwärts gerichtet		
VDE	Verband Deutscher Elektrotechniker e.V.		
v_e	Elektronengeschwindigkeit		
VIK	Verband der industriellen Ener- gie- und Kraftwirtschaft e.V.		

15 Literatur

- /1/ Abklärungsschreiben Konformität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer; betrachtetes Industrieunternehmen mit dem Gewerbeaufsichtsamt, 1996
- /2/ Änderungsantrag DIN EN 50160 / März 2000
Stellungnahme des Verbandes der Industriellen Energie und Kraftwirtschaft e.V. (VIK) gegenüber der Deutschen Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (DKE), 29.09.2000
- /3/ Bauer, C. O.
Eine Alternative zu Zertifikaten – Konformitätserklärungen nach DIN EN 60666 Teil 3; DIN Mitteilungen 74 (1995) 2
- /4/ BGH-Urteil
BGH IV ZR 5/91 vom 12.03.1992 NJW 92, S.1754
- /5/ BG-Vorschrift „Elektromagnetische Felder“ (BGV B11), Fachausschussentwurf Dezember 1999 (Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder
- /6/ Bundesgesetzblatt, Jahrg. 1989, Teil 1
Produkthaftungsgesetz:1989
- /7/ Bundesgesetzblatt, Jahrg. 1989
EMVG:1998-09 / Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten
- /8/ Bundesgesetzblatt, Jahrg. 1998
EnWG: 19/4/EnWG: 1998-04
Energiewirtschaftsgesetz; Gesetz zur Regulierung des liberalisierten Elektroenergiemarktes, basierend auf der Richtlinie 96/92/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 19. Dezember 1996 betreffend gemeinsame Vorschrift für den Elektrizitätsmarkt
- /9/ CEM/CENELEC:1990 / 1994
Memorandum Nr. 9:1994 (ISO /IEC 51:1990) Leitfaden für die Aufnahme von Sicherheitsaspekten in Normen
- /10/ Cired 2003 – Sitzung 2;
Versorgungsqualität und elektromagnetische Verträglichkeit; ew Fachthema, Jg. 102 (2003), Heft 19
- /11/ DIN ENE 292 / in Überarbeitung der DIN EN 292-1/-2 : 1991
Sicherheit von Maschinen, allgemeine Gestaltungsleitsätze
Teil 1: Grundsätzliche Terminologie, Methodologie / Identisch mit DIN ISO 12100-1:2000
Teil 2: Technische Leitsätze / Identisch mit DIN ISO 12100-2: 2000
- /12/ DIN EN 414:2000 / Oktober 2000
Sicherheit von Maschinen / Regeln für die Abfassung und Gestaltung von Sicherheitsnormen
- /13/ DIN EN 1050:1996 / Januar 1997
Sicherheit von Maschinen / Leitsätze zur Risikobeurteilung

- /14/ DIN EN 45014:1998 / März 1998
Allgemeine Kriterien für Konformitätserklärungen an Anbietern
- /15/ DIN EN 50160:1999 / März 2000
Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen
- /16/ DIN EN 50178:1997 / April 1998
Ausrüstung von Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebsmitteln
- /17/ DIN EN 60146-1-1:1993 / März 1994
Halbleiter Stromrichter; Allgemeine Anforderungen und netzgeführte Stromrichter, Teil 1-1 Festlegung der Grundanforderungen
- /18/ DIN EN 60204-11:1997 / November 1998
Sicherheit von Maschinen / Elektrische Ausrüstung von Maschinen; Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- /19/ DIN EN 60439-1:1999 / August 2000
Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen; Teil 1: Typgeprüfte und partiell typgeprüfte Kombination
- /20/ DIN EN 61000-2-2:2002 / Mai 2003
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV); Teil 2-2: Umgebungsbedingungen - Verträglichkeit für niederfrequente leitungsgeführte Störgrößen und Signalübertragung in öffentlichen Niederspannungsnetzen
- /21/ DIN EN 61000-2-4:2002 / Mai 2003
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV); Teil 2-4: Umgebungsbedingungen - Verträglichkeit für niederfrequente leitungsgeführte Störgrößen in Industrieanlagen
- /22/ DIN EN 61000-3-2:2000 / Dezember 2001
Elektromagnetische Verträglichkeit; Teil 3-2: Grenzwerte – Grenzwerte für Oberschwingungsströme (Geräte Eingangsgröße ≤ 16 Ampere)
- /23/ DIN EN 61000-3-3:1997 + A1:2001 / Mai 2002
Elektromagnetische Verträglichkeit; Teil 3-3: Grenzwerte – Begrenzung von Spannungsänderungen, Spannungsschwankungen und Flicker in öffentlichen Niederspannungs-Versorgungsnetzen
- /24/ DIN EN 61000-4-x;
Prüf- und Messverfahren; Teil 4-1: Übersicht über Störfestigkeitsverfahren; Teil 4-2: Störfestigkeit gegen die Entladung statischer Elektrizität; Teil 4-3: Störfestigkeit gegen hochfrequente elektromagnetische Felder; Teil 4-4: Störfestigkeit gegen schnelle transiente Störgrößen (Burst); Teil 4-5: Störfestigkeit gegen Stoßspannungen, bis Teil 4-29. Störfestigkeit gegen Spannungseinbrüche, Kurzzeitunterbrechungen und Spannungsschwankungen an Gleichstrom-Netzeingängen.
- /25/ DIN EN 61000-4-1:2000 / Juni 2001
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV); Teil 4-1: Prüf- und Messverfahren
- /26/ DIN EN 61000-4-2:1995 + A1:1998 + A2:2001 / Dezember 2001
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV); Teil 4-2: Störfestigkeit gegen die Entladung statischer Elektrizität

- /27/ DIN EN 61000-4-15:1998 + A1:2003 / Oktober 2003
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV): Teil 4-15: Prüf- und Messverfahren – Flickermeter – Funktionsbeschreibung und Auslegungsspezifikation
- /28/ DIN EN 61800-3:2001 / Februar 2002
Drehzahlveränderbare elektrische Antriebssysteme; Teil 3:EMV-Anforderungen einschließlich spezieller Prüfverfahren
- /29/ Habiger, Ernst
Handbuch Elektromagnetische Verträglichkeit, Grundlagen – Maßnahmen – Systemgestaltung; Verlag Technik GmbH Berlin; 1992
- /30/ Haftpflichtverband der Deutschen Industrie V.a.G.
Qualitätssicherungs-Systeme, Normen und Zertifikate, H III 10/89, Hannover; 1989
- /31/ Heck, Thomas
Technischer Bericht; Untersuchung der Wechselwirkung der Elektroenergiequalität bei Prüfständen für Verbrennungsmotoren; Industrieunternehmen; 2002-06
- /32/ Heck, Thomas
Technischer Bericht; Untersuchung der Wechselwirkung der Elektroenergiequalität im Versorgungsnetz von Schmelztiegelöfen; Industrieunternehmen; 2000-09
- /33/ Heck, Thomas
Technischer Bericht; Planung von Kenngrößen der Elektroenergiequalität bei Schweißmaschinen mit Mehrpunktschweißung; Industrieunternehmen; 2004-03
- /34/ Heck, Thomas
Technischer Bericht; Kenngrößenbildung der Elektroenergiequalität als Planungsgrundlage von Elektroenergieversorgungsnetzen bei der Versorgungsplanung einer Steuerwellenfertigung; Industrieunternehmen; 2002-03
- /35/ Heck, Thomas
Technischer Bericht; Untersuchung der Qualitätsbeeinträchtigung der Elektroenergie durch Wechselwirkungen im Versorgungsnetz der Trennmittelanlage; Industrieunternehmen; 2001-11
- /36/ Heck, Thomas;
Technologiewettbewerb; PQ-Monitoring zur Erfassung der physikalischen Umgebungs- und Betriebsbedingungen beim betrachteten Industrieunternehmen; 2004-03
- /37/ Heck, Thomas;
Textvorlage Konformität; Abstimmung der physikalischen Umgebungs- und Betriebsbedingungen; Industrieunternehmen; 2004-02
- /38/ Marburger, P.
Die Regeln der Technik im Recht; Carl Heymanns Verlag Köln; 1979
- /39/ Rothe, L.
Rechtliche Aspekte der Zertifizierung von Qualitätsmanagement-Systemen, QZ 38; 1993 (8)

- /40/ Schlegner, P.
TU-Dresden, in der Zeitschrift Elektrik; Berlin, 51 (1997) 03/04
- /41/ Urteil Amtsgericht
Amtsgericht Fürstenwalde, Geschäftsnummer 15 C 204/00, 29.11.2001
- /42/ Urteil Landgericht
Landgericht Frankfurt (Oder), Geschäftsnummer 19 S 18/02 / 15 C 204/00,
14.06.02
- /43/ VDE Fachseminar Spannungsqualität: 2000
Mombauer. W, FH Mannheim
- /44/ VDEW Grundsätze für die Beurteilung von Netzzrückwirkungen; VDEW-
Verlag, Frankfurt am Main;1992
- /45/ VV Strom II plus: 2002-03;
Nachbesserung der Verbändevereinbarung Strom II vom 1999:12; Verbän-
devereinbarung über die Kriterien zur Bestimmung von Netznutzungsentgel-
ten für elektrische Energie und über Prinzipien der Netzbenutzung
- /46/ Weber, A.
EMV in der Praxis; Heidelberg: Hüthig, 1994
- /47/ 89/336/EWG:1989 + 92/31/EWG + 93/68/EWG
Richtlinie des Rates zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitglieds-
staaten über die elektromagnetische Verträglichkeit - Geräte
- /48/ 89/392/EWG:1989
Richtlinie des Rates zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitglieds-
staaten für Maschinen
- /49/ 90/683/EWG:1990
Beschluss des Rates über die in den technischen Harmonisierungsrichtlinien
zu verwendenden Module für die verschiedenen Phasen der Konformitäts-
bewertungsverfahren
- /50/ 92/31/EWG:1992
Richtlinie des Rates für die Anwendung der Richtlinie 89/336/EWG zur
Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über die
elektromagnetische Verträglichkeit
- /51/ 93/465/EWGB:1993
Beschluss des Rates über die in den technischen Harmonisierungsrichtlinien
zu verwendenden Module für die verschiedenen Phasen der Konformitäts-
bewertungsverfahren und den Regeln für die Anbringung und Verwendung
der Konformitätskennzeichnung

Beschreibung der Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zwischen
Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer

Thesen zur

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktoringenieur
(Dr.-Ing.)

vorgelegt der

Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
der Technischen Universität Ilmenau

von

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Heck

geb. am 14. Juli 1955 in Stuttgart

Ilmenau, den 14.10.2004

- 1 Für Produzenten (Hersteller) und Verbraucher (Konsumenten) gleichermaßen sind die bestehenden Gesetze, Bestimmungen, Normen und Regeln, die sich mit der Qualität am Produkt „elektrischer Energie“ (Elektroenergiequalität, kurz EEQ) im Elektroenergie-system (EES) befassen, immer bedeutender. Hier beschäftigt sich die Europäische Union (EU) zwar bereits seit rund 15 Jahren mit diesem Thema, doch erst durch die konsequente Liberalisierung des Marktes für „elektrische Energie“ (EE) ist die EEQ im EES aktuell geworden. Aktuell vor allem unter dem Aspekt der bilateralen Verbindlichkeit zwischen dem Elektroenergie-lieferant und –verbraucher, bindet hier der juristische Imperativ der Konformität als CE-Konformitätserklärung nicht nur den Lieferanten des Produkts EE, den Lieferanten von Maschinen und Geräte (Hersteller, Vertreiber von Elektroenergieabnehmern), sondern verstärkt die Kunden als Nutzer, respektive Betreiber von Elektroenergieabnehmern (Maschinen, Geräte) am Elektroenergieversorgungsnetz.
- 2 Die Bewertung der EEQ im EES ist nicht nur die Absicherung eines funktionalen Betriebs der Elektroenergieabnehmer am Elektroenergieversorgungsnetz, sondern auch die Zuweisung daraus entstehender Schäden nach dem Gerätesicherheits- und Produkthaftungsgesetz bei nicht konformer, d.h. nicht kompatibler Fahrweise des Elektroenergieabnehmers gegenüber dem Medium EE. Hier gilt es eine zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und -abnehmer darzustellende Kompatibilität unter der Sicht der „Elektromagnetischen Verträglichkeit“ (EMV), nach Gesichtspunkten des „Gesetzes zur Elektromagnetischen Verträglichkeit“ (EMVG) zu schaffen. Gerade dieses bedingt die verstärkte Betrachtung der EEQ an der Schnittstelle zum öffentlichen (PCC – Point of common coupling) und nichtöffentlichen (IPC – In-plan Point of coupling) Elektroenergieversorgungsnetz. Gehandhabt als stringente Umsetzung des EMVG ist die EMV als mess- und bewertbares Element einer Spannung (Spannungsqualität), als lokale Bedingung und/oder Bedürfnis des Nutzers am Medium EE dort zu hinterlegen.
- 3 Erkennbar ist: die bisher gehandhabte Vorgehensweise beim Erwerb und beim Betrieb von Elektroenergieabnehmern am Elektroenergieversorgungsnetz bindet Nutzer im privaten, gewerblichen und industriellen Umfeld gleichermaßen. Beim Einsatz von Systemen, Anlagen, Apparaten und Netzen – im EMVG als Geräte bezeichnet – gilt diese Aussage für alle Strukturen, die in ihrem Aufbau elektrische und/oder elektrische Bauteile beinhalten. Hier zeigt der Fokus auf das heutige Umfeld, wo der schnelllebige Status an Elektroenergieverbrauchern den Faktor Risiko zu funktionaler Störungen, allgemeiner Zerstörung in Form der Eigen-

und/oder Fremdbeeinträchtigung detaillierter zu beinhalten hat. Dazu sind die technischen Realitäten als Rahmenbedingung der EEQ am PCC und/oder IPC zu definieren, um die dort vorhandenen Merkmalkriterien einer Spannung am Produkt EE als Anspruch und/oder Vergleich heranzuziehen.

- 4 Der dort vom Autor für Planung und Betrieb fokussierte Inhalt an der Qualität der Spannung in Form, Verlauf und Stabilität, bindet auch das Spannungsfeld von Interessensgruppen, wie Stromkunde, Netzbetreiber, Gerätehersteller und Betreiber in völlig neuem Maße. So zu sehen z.B. an den Fallbeispielen der Dissertation, stellt die Betrachtungsgrenze der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgung und -abnahme stets alle inhaltlichen Merkmale am Produkt EE als lokale und/oder globale Wertegröße dar. Bezeichnet wird diese Vorgehensweise als Absicherung der elektrischen Ausrüstung von Maschinen und Geräten zu den am Anschlussort wirkenden physikalischen Umgebungs- und Betriebsbedingungen. Im Bereich der EMV gilt hier vor allem die Tatsache, dass
 - nach Ablauf der Übergangsfrist zum 01.07.2001 die Betrachtung der EMV nach EMVG ein bindendes Element in der EG-Maschinenrichtlinie DIN EN 60204-1:1998 (Sicherheit von Maschinen / Elektrische Ausrüstung von Maschinen) geworden ist, und dadurch ein bestimmendes Element im Gerätesicherheitsgesetz darstellt;
 - die Betriebssicherheitsverordnung vom 02.10.2002 die Schwerpunkte der Betriebsverantwortung für technische Produkte, Geräte und Anlagen unter neuen Haftungsbedingungen dem Unternehmer zur Auflage macht. Dieses steht zweifelsohne auch für den kompatiblen Umgang mit dem Produkt EE;
 - alle möglichen Situationen, die Gefahr auslösen und akut mit sich bringen können, so zu sehen die elektromagnetischen Störungen (nieder-, wie hochfrequenter Art), elektrostatischen Störungen oder Funktionsstörungen (entweder von außerhalb der elektrischen Anlage erzeugt, oder auch innerhalb dieser verursacht), im Sicherheitskonzept der Planung, aber auch des Betriebs der Elektroenergieabnehmer zu berücksichtigen sind.
- 5 Die Umsetzung der Ausgangssituation nach Analyse der eigenen Überlegungen zeigte, dass jede Gruppe die entstehende Last und das Risiko - aus wirtschaftlicher Sicht deren Kosten – gering zu halten hat, was zwangsläufig in verschiedene Zielstellungen mündet. Dementsprechend unterscheidet sich auch die Interessenslage der Interessengruppen, betrachtet in der Ausprägung der dort jeweils different hinterlegten Pegel von Störaussendung und Störfestigkeit, die in der Dissertation jeweils für sich getrennt hervorgehoben sind. Im Ergebnis der Arbeit

zeigt Tabelle 1 und 2 den vorhandenen potenziellen Zielkonflikt der am Markt auftretenden Interessensgruppen, und die daraus ableitbaren Handlungsfelder am Produkt EE. Bei der dort hinterlegten Beurteilung wird vorausgesetzt, dass eine ausreichende Abstimmung zwischen Energieversorger und Gerätehersteller bzgl. Emissions- und Verträglichkeitspegeln, d.h. Netz versus Gerät nach Tabelle 1, respektive Tabelle 2, am Anschlusspunkt vorgenommen wird. Mit anderen Worten: die EEQ im EES spielt am Schnittpunkt (PCC und IPC) eine immer dominierendere Rolle.

Interessensgruppe	Ziele	Wünschenswerte Ausprägung	
		Störfestigkeit	Störaussend.
Stromkunde, Betreiber	Störungsfreier Betrieb aller eingesetzten Verbraucher	großer Abstand zwischen beiden	
Netzbetreiber, Versorger	Beherrschung der Spannungsqualität ohne „zusätzliche Maßnahmen“	höher	niedriger
Gerätehersteller	niedrige Herstellungskosten	niedriger	höher

Tabelle 1: Zielkonflikte der am Markt auftretenden Interessensgruppen

Handlungsfeld 1	Das Elektroenergieversorgungsnetz beeinflusst den Elektroenergieabnehmer durch schlechte Spannungsqualität im Energiebezug
Handlungsfeld 2	Der Elektroenergieabnehmer beeinflusst sich selbst und Dritte durch die Rückwirkungen elektrischer Energie am Verknüpfungspunkt und die daran gekoppelte Verschlechterung der Spannungsqualität am PCC und/oder IPC
Handlungsfeld 3	Das Elektroenergieversorgungsnetz und der Elektroenergieabnehmer verfahren am identischen Verknüpfungspunkt nach unterschiedlichen Vorgaben und Richtlinien / Elektroenergieversorger: VV Strom II plus; Elektroenergieabnehmer: EMV-Richtlinie
Handlungsfeld 4	Der Elektroenergieabnehmer beeinflusst bzw. mindert durch Rücklieferung elektrischer Energie die Spannungsqualität des Elektroenergieversorgungsnetzes

Tabelle 2: Handlungsfelder der am Markt auftretenden Interessensgruppen

- 6 Gespiegelt an mehreren Fallbeispielen wird aufgezeigt, dass nicht nur einzelne Geräte, Anlagen, Betriebsmittel unter den gegebenen Umgebungs- und Betriebsbedingungen ihre Funktion zuverlässig darzustellen haben, sondern vorzugsweise der industriell vernetzte Gesamtprozess, bei dem Geräte, Anlagen, Maschinen (Betriebsmittel) letztendlich nur Mittel zum Zweck sind, um eine bestimmte Qualität zu fabrizieren. Hier gilt es unter der dort konkret vorhandenen EEQ die Herstellung von Gütern mit einem konkreten Qualitätsanspruch zum zu fertigenden Produkt, respektive Prozess zu garantieren, und damit das Image einer Firma zu stärken. Gerade hier gilt es den Grad des Risikos auch gegenüber

dem lokalen Elektroenergieversorger dezidiert zu manifestieren, was dort auch als Chance für eine zukünftige Dienstleistung anzusehen ist. Eine Win-Win-Strategie kann nach Sicht des Autors entstehen, die differente Elektroenergiequalitäten auch in Form einer fix vereinbarten Preisstaffelung am Produkt EE (Normalqualität, z.B. DIN EN 50160 als Produktdefinition EE / angehobene Qualität der Stufe „b“ bis „n“) dem Nutzer als ein ganzheitliches Optimum, so zu sagen als ein innerbetriebliches „Quality-Gate EE“ zur Verfügung stellt.

- 7 Bei der Festlegung der Wahrnehmung der Korrelation zwischen EEQ im EES und der Qualität am zu fertigenden Produkt, respektive Prozess, wird über die Diskussion am Beispiel der beschriebenen Fallsituationen ein Grenzkrisiko gebildet, das startend vom minimalen Risiko den hohen technischen Aufwand zur Absicherung einer bestimmten EEQ so weit mindert, bis das Risiko vom vertretbar geringen zum unvertretbar hohen Status übergeht. Dazwischen liegt das anzustrebende ganzheitliche Optimum, gebildet unter dem Gesichtspunkt der Summe aller Kosten (Netzkosten, Anlagenkosten, Produktionskosten, etc.). Zur Optimierung der Teilprozesse (hier z.B. Planungsprozess unter Einbindung der konkreten EEQ im EES am PCC und/oder IPC) werden standardisierte Ablaufschemata dargestellt, die es dem Nutzer gestattet das Transaktionsgebilde zwischen Bedarf (Projektanmeldung) und Realisation (Projektumsetzung) aufzuzeigen.
- 8 Im Ergebnis der Arbeit wird das Thema der EEQ an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer unter dem folgenden Blickwinkel verstärkt betrachtet:
 - Sicherung der Produktqualität produzierter Güter; Absicherung im Sinne des Bereitstellungs- und/oder Risikomanagement;
 - Ganzheitlicher Qualitätssicherungsprozess durch Einbeziehung der Medien in das QS-System (4M-Prinzip [Mensch, Maschine, Material, Medium]);
 - Etablierung unterschiedlicher Qualitätsstandards am Produkt EE, die sich an den Prozesserfordernissen des Kunden orientieren;
 - Unterschiedlich tariflich bewertete Qualitätsstandards der Energie. Diese bedingen die Einführung von Energiequalitätsmanagementsystemen, gesehen als Chance für den Kunden und Energielieferanten, die vertraglich vereinbarten Qualitätsmerkmale einzuhalten und zu verrechnen;
 - Konformität von Gesamtprozessen, Gerätesicherheit, Gewährleistungsrisiken unter Aspekten Planungs- und Betriebssicherheit. Dazu zählt auch die Absicherung der Prozess- und/oder Produktstabilität.

- 9 Angesichts einer differenzierten Beurteilung der Wichtigkeit der EEQ am Produkt zwischen individuellem und gewerblichem Kunden, steht aus Sicht des Autors primär der Industriekunde im Blickfeld der Handlungsbetrachtung. Das dort an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer anstehende Qualitätssegment von Merkmalen einer Merkmalkette am Produkt EE wird stets durch den Kunden (dessen Netze, Prozesse, Anlagen, Betriebsmittel etc.) vorbestimmt. Die Netze respektive die physikalischen Vorgänge in den Netzen der Energieversorger (Netzdurchleiter, Netzanschlusspartner) verstärken oder schwächen nur diese Vorgänge.
- 10 Für die Nutzung der Informationsinhalte an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer gilt es als Mitergebnis der Dissertation aufzunehmen, dass der heute immer noch vorhandene hohe Standard in der deutschen Energieversorgung, sowohl bzgl. Versorgungszuverlässigkeit als auch bzgl. Elektroenergiequalität – dort bezeichnet als Spannungsqualität – abnehmen wird. Erste Auswirkung im industriellen Prozess – vom Autor in der Dissertation mehrfach aufgezeigt – sind bereits heute spürbar. Verstärkt wird dieser Trend noch durch
- politisch motivierte Abschaltung von Kernkraftwerken in Deutschland und damit dem Wegfall einer stabilen Erzeugerleistung sowie Netzkurzschlussleistung;
 - Unbundling-Prozesse in der Energiewirtschaft. Damit verbunden ist der Wegfall der Gesamtverantwortung der Energieversorgungsunternehmen für den Gesamtprozess „Energieerzeugung und Übertragung/ Verteilung“ bis hin zum Kunden. Separat arbeitende und im Sinne von Profitcentern strukturierte Unternehmensteile der Energieversorger, die ausschließlich ihren eigenen Wirkungskreis unter technisch/ ökonomischen Aspekten betrachten;
 - Zunahme dezentraler und regenerativer Erzeugerstrukturen, die einerseits oft in Gebieten mit geringem Leistungsbedarf etabliert sind und andererseits keinen oder nur einen geringen Anteil zur Netzkurzschlussleistung beitragen;
 - eine nach wie vor geringe Investitionstätigkeit der Energieversorgungsunternehmen in den Kraftwerkspark, sowie die technische Infrastruktur der Netze;
 - Änderung der technischen Charakteristika der Betriebsmittel, Abnehmer, technologischer Prozesse. Insbesondere der sich weiter verstärkende Trend zum Einsatz immer neuer und leistungsfähigerer elektronischer Betriebsmittel, neuer Speichertechniken etc., sorgt für Minderungen der EEQ am Produkt EE im EES.

- 11 Diesbezüglich geprägt muss zukünftig verstärkt die Anstrengung unternommen werden, die zwischen Versorger und Kunde vereinbarte Regelungen auch auf das Vertragsverhältnis zwischen Kunde und Netzanschlusspartner zu übertragen. Konkrete Maßnahmen bei der innerbetrieblichen Betrachtung der Thematik um die EEQ am PCC und IPC sind in der Arbeit dezidiert hervorgehoben und spiegeln die folgenden Punkte wieder:
- Die verfügbare Netzkurzschlussleistung muss an den Bedarf der Maschine, des Gerätes auf der Netzanschlussseite (z.B.: Niederspannungsanschlusspunkt), der übergeordneten Infrastruktur (z.B.: Mittelspannungsnetz als EES) als ganzes betrachtet, optimal angepasst werden;
 - Definition der notwendigen Parameter als zulässige Grenzwerte der EEQ am Produkt EE im EES, immer bezogen auf den zu versorgenden technologischen Prozess;
 - Absenkung von Sicherheitsreserven bei Netzen und Betriebsmitteln auf ein gesundes Maß (die Netzauslastung bei so mancher Netzinfrastruktur – so auch aus dem Umfeld des Autors ersichtlich - liegt nicht selten bei nur 30%);
 - Harmonisierung der Abnehmercharakteristiken bzgl. Netzparametern und Abgleich dieser zu Abnehmern aus vor- und nachgelagerten Netzknotenpunkten;
 - Durchsetzung einer Standardisierung in Sprache und Vorgehen auch im Bezug auf den nach DIN EN 60204-1 geforderten Abgleich zu den am Aufstellungsort momentan und zukünftig herrschenden physikalischen Umgebungs- und Betriebsbedingungen (Immunität und Emission am PCC und/oder IPC);
 - Bedarfsorientiertes Investment bei Maschine und Anlage. Das Prinzip der Effizienz hat zu gelten zwischen Maßnahmen im Netz (Elektroenergieversorgungsnetz, Erdungsnetz, usw.), und Maßnahmen an der Maschine, am System (Betriebsmittel);
 - Funktionsgerechte Auslegung von Netzstützungs- und Kompensationsmaßnahmen;
 - Sicherstellung CE-Konformität und Einhaltung EMV-Gesetzes, z.B. durch ein entsprechendes Qualitätsmonitoring der Spannung.
- 12 Die weitergehende wissenschaftliche Zielstellung besteht darin, die aus der Entwicklungstendenz der Elektroenergieversorgungsnetze, ihrer Betriebsführung, sowie den im Erzeuger- und Abnehmerbereich ergebenden Veränderungen, in die momentane Ausgangssituation des Risikos auch als Thema des Asset-Managements mit aufzunehmen. Hier gilt es den Fokus dahingehend zu setzen,

dass die strategische Positionierung der Betriebsführung in Form standardisierter Vorgehensweisen den konformen Betrieb so reglementiert, und damit reguliert, dass das Spannungsfeld zwischen Performance und Kosten das Risiko minimiert. Dementsprechende Kriterien in der Veränderung, sei es im Bereich der Performance als Verlagerung höchster Versorgungsqualität (Premium-Quality Energy) zur kundenspezifischen Versorgungsqualität, bzw. bei den Kosten über den Lebenszyklus der Infrastruktur hinweg, könnten gesehen vom intuitiven zum fundierten Kosten-Management über das Risikomanagement der Qualität im „Quality-Gate EE“ (IPC, PCC), für alle Netznutzer optimiert geführt werden. Die Vision des Autors ist vor allem die bewusste Steuerung des Risikos einer Störpegelbelastung als ergänzende Betrachtung unter der Grenzsituation der EEQ am Netzanschlusspunkt, überwacht, gesteuert, respektive optimiert fixiert durch ein entsprechend aktives EEQ-Monitoring.