

Paul Weiß
Bernd Gutheil
Dirk Gust
Peter Leiß

EMVU- Messtechnik

**Messverfahren und -konzeption im Bereich
der Elektromagnetischen Umweltverträglichkeit**

Mit 165 Abbildungen und 68 Tabellen

Herausgegeben von Otto Mildenberger

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	1
2 Physikalische Grundlagen von Feldern, Wellen und Strahlen.....	3
2.1 Das elektromagnetische Spektrum im Überblick.....	3
2.1.1 Natürliche Quellen.....	5
2.1.2 Künstliche Quellen.....	6
2.1.2.1 Niederfrequenzbereich.....	6
2.1.2.2 Hochfrequenzbereich.....	7
2.2 Das elektrische Feld.....	7
2.2.1 Statische elektrische Felder.....	7
2.2.1.1 Influenz.....	13
2.2.1.2 Dielektrika.....	14
2.2.2 Elektrische Wechselfelder.....	15
2.3 Das magnetische Feld stromdurchflossener Leiter.....	16
2.3.1 Statische magnetische Felder.....	17
2.3.1.1 Magnetische Feldstärke eines Einzelleiters.....	18
2.3.1.2 Magnetische Feldstärke einer Doppelleitung.....	19
2.3.2 Wirkungen magnetischer Felder.....	21
2.3.2.1 Kraft im magnetischen Feld.....	21
2.3.2.2 Induktionswirkung des magnetischen Feldes.....	23
2.3.2 Magnetische Wechselfelder.....	24
2.4 Elektromagnetische Felder.....	25
2.4.1 Wichtige Parameter elektromagnetischer Wellen.....	25
2.4.1.1 Frequenz.....	25
2.4.1.2 Modulation.....	26
2.4.1.3 Polarisierung.....	27
2.4.2 Ausbreitung elektromagnetischer Wellen.....	27
2.4.3 Dämpfung.....	27
2.4.4 Leistungen.....	28
2.4.5 Antennen.....	29
2.4.5.1 Isotroper Strahler.....	30
2.4.5.2 Vertikale Rundstrahler.....	30
2.4.5.3 Antennen mit ausgeprägter Richtwirkung.....	31
2.4.6 Antennenparameter.....	34
2.5 Leistungs- und Spannungsberechnungen.....	35

3 Physikalische Wirkungen	37
3.1 Allgemeine Grundlagen.....	37
3.2 Kopplungswege elektromagnetischer Störsignale.....	39
3.2.1 Galvanische Kopplung.....	40
3.2.2 Kapazitive Kopplung.....	42
3.2.3 Induktive Kopplung.....	44
3.2.4 Strahlungskopplung.....	46
4 Biologische Wirkungen	53
4.1 Allgemeines.....	53
4.2 Indirekte Wirkungen.....	54
4.3 Gesicherte Erkenntnisse und diskutierte Wirkungen.....	56
4.3.1 Niederfrequenzbereich.....	57
4.3.2 Hochfrequenzbereich.....	58
4.3.3 Der aktuelle Stand im Überblick.....	60
4.4 Bewertung aus Sicht der Messtechnik.....	62
5 Gesetze, Normen, Verordnungen und Empfehlungen	65
5.1 Übersicht.....	65
5.2 BImSchG und BImSchV.....	66
5.2.1 Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG).....	66
5.2.2 26.Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz (26. BImSchV).....	69
5.2.2.1 Anwendungsbereich.....	69
5.2.2.2 Grenzwerte für Hochfrequenzanlagen.....	70
5.2.2.3 Grenzwerte für Niederfrequenzanlagen.....	70
5.2.2.4 Ermittlung der Feldstärke- und Flussdichtewerte.....	71
5.2.2.5 Anzeige von Anlagen.....	71
5.2.2.6 Ausnahmeregelungen.....	71
5.3 LAI-Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektro- magnetische Felder.....	71
5.3.1 Hinweise zur Umsetzung der Verordnung.....	72
5.3.1.1 Anwendungsbereich der 26. BImSchV.....	72
5.3.1.2 Definitionen.....	72
5.3.2 Anzeige einer Anlage.....	74

5.3.3 Sachverständige Stellen.....	74
5.3.3.1 Grundsätzliche Anforderungen an sachverständige Stellen.....	75
5.3.3.2 Anforderungen an sachverständige Stellen für Hochfrequenzanlagen.....	75
5.3.3.3 Anforderungen an sachverständige Stellen für Niederfrequenzanlagen.....	76
5.3.3.4 Antragsverfahren.....	77
5.4 Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP).....	78
5.4.1 Struktur und Aufgaben der RegTP.....	78
5.4.2 Bundesweite Messaktionen.....	79
5.4.3 Messvorschriften der RegTP.....	82
5.4.3.1 Messvorschrift BAPT 212 MV 20.....	82
5.4.3.2 Messvorschrift BAPT 212 MV 21.....	86
5.4.3.3 Messvorschrift BAPT 212 MV 22.....	88
5.5 DIN VDE 0848.....	88
5.5.1 DIN VDE 0848 Teil 1: Definitionen, Mess- und Berechnungsverfahren..	90
5.5.1.1 Messungen.....	90
5.5.1.2 Berechnungen.....	95
5.5.2 DIN VDE 0848 Teil 2: Schutz von Personen im Frequenzbereich 30 kHz bis 300 GHz.....	98
5.5.3 DIN VDE 0848 Teil 3: Schutz von Personen mit Körperhilfsmitteln. . .	101
5.5.4 DIN VDE 0848 Teil 4: Schutz von Personen im Frequenzbereich von 0 Hz bis 30 kHz.....	104
5.5.5 E DIN VDE 0848 Teil 5 (Explosionsschutz).....	107
5.5.5.1 Einbindung der DIN-VDE 0848 Teil 5 in den Explosionsschutz....	107
5.5.5.2 Normenentwicklung.....	108
5.5.5.3 Wesentliche Merkmale der E DIN VDE 0848-5.....	108
5.5.5.4 Praktische Bedeutung und Bewertung.....	109
5.5.6 DIN VDE 0848 Teil 11: Messung von niederfrequenten magnetischen und elektrischen Feldern.....	110
5.6 DIN VDE 0210 und 0211.....	110
5.7 DIN VDE 0228.....	113
5.8 BfS- und SSK-Empfehlungen.....	115
5.9 BGFE-Veröffentlichungen.....	117
5.10 FGF-Veröffentlichungen.....	119
5.11 WHO, IRP A, INIRC und ICNIRP.....	120
5.12 MPR, TCO und EN 50279.....	122
5.13 EMVG-Gesetz.....	125
5.14 Europaweite und internationale Bestrebungen.....	126

5.15 Kritische Institute und alternative Ansätze.....	127
5.15.1 Kritische Institute.....	128
5.15.2 Baubiologie.....	129
5.15.3 Radiästhesie und Geopathologie.....	131
5.15.4 Bürgerinitiativen und Selbsthilfeorganisationen.....	132
6 Messtechnik.....	133
6.1 Allgemeines.....	133
6.2 Strom und Spannung.....	134
6.2.1 Messtechnik.....	134
6.2.2 Messgeräte.....	138
6.3 Statische elektrische Felder.....	141
6.3.1 Messtechnik.....	141
6.3.2 Messgeräte.....	143
6.4 Statische magnetische Felder.....	144
6.4.1 Messtechnik.....	144
6.4.2 Messgeräte.....	146
6.5 Niederfrequente Wechselfelder.....	148
6.5.1 Messtechnik.....	148
6.5.1.1 Messung niederfrequenter elektrischer Felder.....	148
6.5.1.2 Messung niederfrequenter magnetischer Felder.....	150
6.5.2 Messgeräte.....	153
6.6 Elektromagnetische Felder.....	157
6.6.1 Messtechnik.....	157
6.6.1.1 Effektivwertmessung.....	157
6.6.1.2 Pulsspitzenleistungsmessung.....	158
6.6.1.3 Isotrope Messungen.....	159
6.6.2 Messgeräte.....	160
6.6.2.1 Spektrum-Analysator.....	160
6.6.2.2 Messempfänger.....	161
6.6.2.3 Breitbandige Messgeräte.....	162
6.6.2.4 Detektoren mit grenzwertbezogener Anzeige.....	164
6.6.2.5 Antennen.....	164
6.7 Berechnung, Simulation und Messung.....	168
6.7.1 Allgemeines.....	168
6.7.2 Grundsätzliches zur Simulationstechnik im NF-Bereich.....	169
6.7.3 Grundsätzliches zur Simulationstechnik im HF-Bereich.....	170
6.7.4 Messung oder Simulation?.....	170

6.8 Messgeräteausstattung und Kostenbetrachtung.....	171
6.8.1 Das messtechnisch Notwendige.....	171
6.8.2 Kostenbetrachtung.....	171
7 Messkonzeption.....	173
7.1 Allgemeines.....	173
7.1.1 Spot-Messung und Dauermessung.....	173
7.1.2 Übersichtsmessung.....	173
7.1.3 Analyse der elektromagnetischen Umgebung.....	174
7.1.4 Simulation und Berechnung.....	174
7.2 Angebot und Kostenfragen.....	174
7.3 Messungen im Niederfrequenzbereich.....	177
7.3.1 Allgemeines.....	177
7.3.2 Hochspannungsfreileitungen.....	178
7.3.2.1 Die Freileitung als Messobjekte der EMVU.....	178
7.3.2.2 Messung elektrischer und magnetischer Felder unter Freileitungen.....	178
7.3.2.3 Die Simulation von Hochspannungsfreileitungen.....	194
7.3.2.4 Simulation oder Messung bei Hochspannungsfreileitungen.....	200
7.3.2.5 Beispieluntersuchung für eine Hochspannungsfreileitung.....	201
7.3.3 Trafostation.....	206
7.3.3.1 Allgemeines.....	206
7.3.3.2 Messung von Trafostationen.....	207
7.3.3.3 Die Simulation von Trafostationen.....	215
7.3.3.4 Messung oder Berechnung bei Trafostationen?.....	226
7.3.3.5 Beispieluntersuchung einer Trafostation.....	226
7.4 Messungen im Hochfrequenzbereich.....	231
7.4.1 Allgemeines.....	231
7.4.1.1 Emissionsquellen.....	231
7.4.1.2 Modulationsarten.....	231
7.4.2 Mobilfunkstationen.....	233
7.4.2.1 Technische Parameter.....	233
7.4.2.2 Messkonzeption an einer Mobilfunk-Basisstation.....	235
7.4.2.3 Messungen im Nahbereich der Sendeanlage.....	236
7.4.2.4 Messungen an Mobilfunk-Handys.....	237
7.4.2.5 Berechnungen an einer Mobilfunk-Basisstation.....	237
7.4.3 Messungen an Rundfunksendeanlagen.....	242
7.4.3.1 Messungen.....	242
7.4.3.2 Messbeispiele.....	243
7.4.3.3 Berechnungsgrundlagen.....	245
7.5 Auswertung und Prüfbericht.....	246

7.6 Beispiele aus der Praxis.....	248
7.6.1 Dachständerleitung.....	248
7.6.1.1 Allgemeines.....	248
7.6.1.2 Messergebnisse.....	251
7.6.1.3 Simulationsergebnisse.....	253
7.6.2 Haushaltsgeräte.....	256
7.6.2.1 Allgemeines.....	256
7.6.2.2 Durchführung der Messung.....	257
7.6.2.3 Messergebnisse.....	258
7.6.2.4 Magnetische Feldbelastung durch Haushaltsgeräte.....	265
7.6.3 Elektrische Bahnen.....	267
7.6.3.1 Allgemeines.....	267
7.6.3.2 Messungen.....	268
7.6.4 Vagabundierende Erdströme.....	270
7.6.4.1 Allgemeines.....	270
7.6.4.2 Untersuchungsergebnisse.....	270
7.6.5 Induktionsöfen.....	271
7.6.5.1 Allgemeines.....	271
7.6.5.2 Messungen.....	273
7.6.5.3 Untersuchungsergebnisse.....	274
7.6.6 Amateurfunkstationen.....	276
7.6.6.1 Frequenzbereich des Amateurfunkdienstes.....	276
7.6.6.2 Selbsterklärung nach 26.BImSchV.....	277
7.6.6.3 Messungen an Amateurfunkanlagen.....	277
8 Abhilfemaßnahmen.....	279
8.1 Allgemeines.....	279
8.2 Schirmung.....	280
8.2.1 Wirkmechanismen.....	280
8.2.1.1 Metallische Gehäuseschirmung gegen elektrostatische Felder.....	280
8.2.1.2 Dielektrische Gehäuseschirmung gegen elektrostatische Felder.....	281
8.2.1.3 Ferromagnetische Gehäuseschirmungen gegen magnetostatische Felder.....	281
8.2.1.4 Gehäuseschirmung gegen niederfrequente elektrische Felder.....	281
8.2.1.5 Gehäuseschirmung gegen niederfrequente magnetische Felder.....	281
8.2.1.6 Gehäuseschirmung gegen hochfrequente elektromagnetische Felder.....	281
8.2.2 Schirmausführung.....	282
8.2.2.1 Aufbau von Gehäuseschirmen.....	282
8.2.2.2 Aufbau von Kabelschirmen.....	284
8.2.2.3 Aufbau geschirmter Räume.....	285
8.2.2.4 Raumauskleidung mit „EMV-Tapeten“.....	286
8.2.2.5 EMV-Schutzanzüge.....	286

8.3 Filterung.....	287
8.4 Aktive Kompensation.....	288
8.5 Abstand.....	288
8.6 Beispiele aus der Praxis.....	289
8.6.1 Monitorstörungen.....	289
8.6.2 Haushaltsgeräte.....	291
8.6.3 Gebäudeinstallation.....	293
8.6.3.1 Netzformen mit Erdungen.....	294
8.6.3.2 Gängige Installationspraktiken.....	297
8.6.3.3 Gegenmaßnahmen.....	300
8.6.3.4 Hochfrequente Feldbelastung durch die Elektroinstallation.....	301
8.6.3.5 Anforderungen an die Blektroinstallation.....	301
9 Literaturverzeichnis.....	307
10 Anhang.....	313
10.1 Ministerien und Landesbehörden.....	313
10.2 Staatliche Einrichtungen.....	313
10.3 Universitäten und Forschungseinrichtungen.....	314
10.4 Interessensgemeinschaften / Normungsarbeit.....	315
10.5 Messgerätehersteller und Anbieter von Simulationsprogrammen.....	315
10.6 Außenstellen der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post.....	316
11 Sachwortverzeichnis.....	319